

POLITECNICO DI TORINO

**Dipartimento di Ingegneria dell’Ambiente, del
Territorio e delle Infrastrutture**

**Corso di Laurea Magistrale
Ingegneria per l’Ambiente e il Territorio**



**Valutazione dell’integrità dell’habitat fluviale attraverso la
metodologia MesoHABSIM e applicazione al caso studio
del Torrente Saint Barthelemy (Aosta)**

Relatore:
Prof. Paolo Vezza

Co-relatori:
Ing. Giovanni Negro
Ing. Roberto Arnesano

Studente:
Maria Gabriella Pilloni
Matr. 256918

A.A: 2020 - 2021

Indice	
<u>Abstract</u>	5
<u>Estratto</u>	6
<u>Introduzione</u>	7
<u>1. Modellazione dell’Habitat fluviale</u>	9
<u>1.1 Approccio multi-scala dei modelli di habitat fluviale</u>	10
<u>1.1.1 Le unità morfologiche</u>	13
<u>1.2 Metodologia MesoHABSI</u>	16
<u>1.2.1 Il mesohabitat</u>	17
<u>1.2.2 Descrizione dell’habitat a diverse condizioni di deflusso</u>	17
<u>1.2.3 Applicazione dei modelli biologici</u>	21
<u>1.2.4 Analisi delle variazioni spazio-temporali di habitat</u>	23
<u>2. Indice d’Integrità d’Habitat fluviale</u>	25
<u>2.1 Indice di disponibilità spaziale dell’Habitat fluviale (ISH)</u>	26
<u>2.2 Indice di disponibilità temporale dell’Habitat fluviale (ITH)</u>	26
<u>3. Il software SimStream</u>	29
<u>3.1 Descrizione del software</u>	30
<u>3.1.1 Formato dati input</u>	33
<u>3.1.2 Formato degli output</u>	35
<u>4. Elaborazione e Standardizzazione del dato</u>	37
<u>4.1 Riclassificazione delle UMI</u>	38
<u>4.2 Verifica coerenza interna del dato</u>	40
<u>4.3 Analisi variazione habitat/portata tramite SimStream</u>	41
<u>4.3.1 Elaborazione dati per sottotratto 1 del torrente Lys</u>	43
<u>5. Caso Studio del Saint Barthelemy</u>	57
<u>5.1 La centrale idroelettrica di Nus</u>	58
<u>5.2 Calcolo dell’Indice d’Integrità d’Habitat fluviale</u>	60
<u>5.3 Analisi variazioni spazio-temporali di Habitat</u>	63
<u>5.3.1 Analisi variazioni spazio-temporali di habitat con influenza CVA</u>	72

<u>6. Conclusioni</u>	79
<u>7. Appendice</u>	81
<u>7.1 Grand'Eyvia</u>	81
<u>7.2 Lys - Sotto-tratto 2</u>	83
<u>7.3 Lys - Sotto-tratto 3</u>	85
<u>7.4 Lys - Sotto-tratto 4</u>	87
<u>7.5 Marmore - Sotto-tratto 1</u>	89
<u>7.6 Marmore - Sotto-tratto 2</u>	91
<u>7.7 Marmore - Sotto-tratto 3</u>	96
<u>7.8 Savara</u>	98
<u>7.9 Urtier</u>	102
<u>7.10 Valgrise</u>	104
<u>Ringraziamenti</u>	107
<u>Bibliografia</u>	109

Abstract

Hydro-morphological alterations caused by river damming lead to habitat deterioration and loss of biodiversity in freshwater ecosystems.

The MesoHABSIM approach is a physical habitat modelling system widely used to design river restoration measures to mitigate the impacts of hydro-power and water withdrawals. The modelling system allows a user to compute how much habitat is available for selected aquatic fauna under specific environmental conditions.

The MesoHABSIM approach has been applied and adapted by the Polytechnic University of Turin (PoliTo) for its application within the Italian territory. It is currently used to quantify habitat availability and assess the habitat integrity through the use of the habitat integrity Index (IH). The SimStream software has been developed by PoliTo for the MesoHABSIM application and includes a number of tools facilitating the interpretation and presentation of the model results and the IH calculation.

This thesis presents an accurate description and application of the MesoHABSIM methodology. In addition, it shows an elaboration of the hydro-morphological data, collected in twelve rivers located in the Aosta Valley.

Thanks to the ongoing collaboration with the Compagnia Valdostana delle Acque (CVA), a simulation and analysis of the habitat availability for fish in a regulated reach of the Saint Barthelemy Stream, is presented as an example of the model application. The Saint Barthelemy Stream is currently exploited to generate hydroelectric power, and support a irrigation systems. Different water resources management scenarios were developed to assess the IH index to identify the current habitat alteration, and to propose best practices to mitigate environmental impacts on the fish fauna. Results showed that increasing the current minimum environmental flow will provide more habitat for fish and will probably reduce negative impacts on the fish community.

Estratto

L'approccio MesoHABSIM è un sistema di modellazione dell'habitat fisico ampiamente utilizzato per progettare misure di ripristino dei fiumi per mitigare l'impatto causato dalla produzione di energia idroelettrica e dai prelievi d'acqua. Il sistema di modellizzazione consente all'utente di calcolare la quantità di habitat disponibile per la fauna acquatica selezionata in condizioni ambientali specifiche.

La metodologia MesoHABSIM è stato applicato e adattato dal Politecnico di Torino (PoliTo) nel territorio italiano. Attualmente è utilizzato per quantificare la disponibilità di habitat e valutare l'integrità dell'habitat attraverso l'uso dell'Habitat Integrity Index (IH). Il software SimStream è stato sviluppato da PoliTo per l'applicazione della metodologia MesoHABSIM e include una serie di strumenti che facilitano l'interpretazione e la presentazione dei risultati del modello e il calcolo dell'IH.

Questa tesi presenta una descrizione accurata e un esempio di applicazione della metodologia MesoHABSIM. Inoltre, mostra un'elaborazione dei dati idro-morfologici, raccolti in dodici fiumi situati in Valle d'Aosta.

Grazie alla collaborazione con la Compagnia Valdostana delle Acque (CVA), si presenta come esempio di applicazione del modello una simulazione e un'analisi della disponibilità di habitat per la fauna ittica in un tratto regolato del torrente Saint Barthelemy. Il torrente Saint Barthelemy è attualmente sfruttato per generare energia idroelettrica e fornire risorsa idrica per scopi irrigui. Diversi scenari di gestione della risorsa idrica disponibile sono stati sviluppati per valutare l'indice IH al fine di identificare l'attuale alterazione dell'habitat e per proporre buone pratiche di mitigazione degli impatti ambientali sulla fauna ittica. I risultati hanno mostrato come un contenuto aumento del rilascio del deflusso minimo vitale fornirà più habitat per la fauna ittica e contribuirà a ridurre gli impatti negativi dovuti a limitate disponibilità di habitat.

Introduzione

Il presente lavoro di tesi di laurea magistrale è stato svolto nell'ambito della disciplina dell'eco-idraulica, che si occupa dello studio delle interazioni tra l'idraulica fluviale e gli ecosistemi acquatici, al fine di analizzare eventuali misure di riabilitazione ecologica dei corsi d'acqua.

I corsi d'acqua possono essere interessati da opere di derivazioni idriche, sbarramenti, interventi di sistemazione idraulica e/o opere di difesa.

A valle di queste opere il regime di deflusso e la morfologia del corpo idrico si modificano provocando dei cambiamenti all'ecosistema fluviale, in particolare all'habitat fisico delle specie acquatiche presenti all'interno dei corsi d'acqua. In eco-idraulica, la fauna ittica viene considerata come un ottimo indicatore biologico per definire lo stato di qualità di un corso d'acqua in quanto possiede una relazione significativa con le strutture idro-morfologiche dei corsi d'acqua e una notevole risposta negativa alle alterazioni del regime idrologico ([Poff & Zimmerman 2010](#)). Lo studio delle interazioni tra ecosistema acquatico fluviale e l'idro-morfologia locale è di notevole importanza al fine di quantificare l'habitat disponibile di una specie o comunità, gli impatti ambientali e quindi, lo stato di qualità del fiume.

La modellazione spazio-temporale dell'habitat fluviale è un approccio ampiamente utilizzato per la descrizione delle interazioni tra comunità biologiche e idro-morfologia fluviale. Esistono numerose metodologie che studiano le interazioni sopracitate e differiscono tra loro principalmente per la dimensione della scala spaziale adottata e le tecniche analitiche utilizzate; tra le quali si distinguono: l'approccio a micro-scala, il quale identifica come area di studio delle celle dell'ordine di grandezza dei centimetri (micro-habitat), la cui descrizione fisica è eseguita da un modello idraulico uni- o bi-dimensionale e la disponibilità dell'habitat ad ospitare una determinata specie da un modello biologico o una serie di curve d'idoneità d'habitat (ad esempio la metodologia PHABSIM (Physical HABitat SIMulation system, [Bovee et al. 1998](#))), o l'approccio meso-scala che utilizza, invece, come unità di analisi il meso-habitat, ossia le unità morfologiche e/o idrauliche dell'ordine di grandezza da 10 m a 103 m e volge l'analisi delle interazioni su una determinata zona del corso d'acqua, in cui le specie acquatiche possono essere osservate in maniera significativa.

Questa metodologia garantisce una rappresentazione più adeguata e più specifica del corso d'acqua esaminato. Infatti, nella modellazione biologica richiede l'analisi di diversi descrittori ambientali caratteristici dell'ecosistema acquatico e permette la modellazione del comportamento delle specie biologiche a più vasta scala spaziale e temporale ([Veza et al. 2014](#)).

Il modello a meso-scala può provvedere alle problematiche legate alla gestione dei corsi d'ac-

qua superficiali e alla valutazione degli impatti ambientali per particolari specie, stadi vitali o intere comunità acquatiche. La parziale perdita nel dettaglio dell'informazione raccolta causata dalla diminuzione della risoluzione di scala, può essere comunque considerata positivamente in quanto permette di ottenere un modello in grado di rappresentare il comportamento della fauna a più vasta scala spaziale. Tra i più importanti approcci presenti in letteratura si può citare la metodologia MesoHABSIM (MesoHABitat SIMulation Model, [Parasiewicz 2001, 2007](#)).

L'oggetto del presente lavoro di tesi è l'applicazione della metodologia MesoHABSIM per studiare queste interazioni idro-morfologiche e per valutare le variazioni spatio-temporali della disponibilità d'habitat per delle specie target in dodici corsi d'acqua della Valle d'Aosta. È importante evidenziare che recentemente la metodologia MesoHABSIM è stata presa in considerazione come possibile strumento di valutazione nella sperimentazione sul deflusso minimo vitale (DMV) della compagnia Valdostana delle Acque (CVA spa) e per la definizione della 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

La metodologia è composta da tre modelli principali: il primo è il modello idro-morfologico per la rappresentazione della distribuzione spaziale dei meso-habitat e dei principali parametri fisici dell'ambiente acquatico; il secondo è il modello d'idoneità d'habitat utilizzato per descrivere le variabili ambientali più considerevoli per l'assenza, la presenza o l'abbondanza di una determinata specie; il terzo è il modello d'habitat costruito al fine di valutare l'area disponibile per la fauna all'interno del tratto fluviale considerato.

A partire dal modello si è sviluppato l'indice d'Integrità Habitat fluviale (IH), che valuta la variabilità spatio-temporale dell'habitat disponibile di una specie confrontando condizioni di riferimento (senza pressioni antropiche) e condizioni alterate (con pressioni antropiche) e allo stesso tempo simulando impatti di future alterazioni. L'indice IH definisce così un indicatore numerico ottimale ai fini della gestione ambientale dei corsi d'acqua e consente di valutare l'integrità dell'habitat in presenza di pressioni antropiche in ambito idrologico e morfologico. Nel seguente lavoro di tesi si descrive l'approccio alla metodologia MesoHABSIM e l'elaborazione e la standardizzazione dei dati idro-morfologici storici dei dodici corsi d'acqua valdostani al fine di applicare correttamente il modello. Infatti, uno degli obiettivi del lavoro di tesi è dimostrare come il dato storico, a seguito di un processo di elaborazione, sia utilizzabile per l'applicazione della metodologia a meso-scala. Inoltre, si propone un'applicazione completa della metodologia al caso studio del torrente Saint Barthelemy analizzando le variazioni spatio-temporali di habitat di tre specie acquatiche e determinando l'indice d'integrità d'habitat fluviale attraverso l'utilizzo del software SimStream. Lo studio del torrente Saint Barthelemy continua con la creazione di diversi scenari idro-morfologici alterati, caratterizzati da un diverso valore di DMV, al fine di individuare l'impatto ambientale e il grado di alterazione attuale del fiume.

1. Modellazione dell'Habitat Fluviale

L'habitat fisico è definito come l'insieme delle risorse e condizioni presenti in un'area che generano la presenza in termini di utilizzo, la sopravvivenza e la riproduzione di un determinato organismo ([Hall et al., 1997](#)).

Un'evoluzione metodologica per il rilevamento o valutazione degli habitat fisici nel campo della geomorfologia fluviale è lo sviluppo di strumenti che li caratterizzano attraverso la loro modellazione: i modelli di habitat fluviale.

I modelli di habitat appartengono alla disciplina dell'eco-idraulica ([Maddock et al., 2013](#)) ed eseguono una modellazione di tipo idro-morfologica.

Essi mettono in relazione la descrizione fisica di un corso d'acqua con i criteri di preferenza per il mantenimento e sviluppo di specie acquatiche, al fine di individuare la quantità di habitat che risulta più o meno idonea alla presenza delle stesse, in funzione della portata transitante.

La loro applicazione studia la variazione nel tempo e nello spazio di parametri idraulici, tra cui la velocità di deflusso, la profondità dell'acqua e il substrato, e di parametri geometrici, in funzione della portata, in modo da connettere le caratteristiche idro-morfologiche di un corso d'acqua con la presenza al suo interno di una determinata comunità biologica.

L'obiettivo della modellazione dell'habitat fluviale si concentra sull'identificazione di specifici ranges di preferenza dei descrittori ambientali da parte delle specie acquatiche, da implementare come modelli previsionali (modelli di distribuzione delle specie) per la determinazione dell'habitat fluviale disponibile.

I metodi precedentemente applicati per il rilevamento o valutazione di habitat fisici hanno importanti limiti, tra cui l'uso di una terminologia inadeguata e non sono opportunamente integrati all'interno di un quadro metodologico che tenga conto degli avanzamenti della ricerca nel campo della geomorfologia fluviale. Si ha la necessità di disporre di metodi che siano in grado di raccogliere e comprendere le informazioni necessarie in scale spaziali appropriate, e di interpretarle nel contesto dei processi geomorfologici in modo da valutare la variabilità spazio-temporale delle forme fluviali e comprendere la creazione e il mantenimento degli habitat fisici.

I modelli, infatti, si classificano in funzione della propria risoluzione spaziale.

Esistono i modelli di idoneità di habitat a micro-scala, fondati sulla definizione di curve di preferenze specie-specifiche per singoli variabili idrauliche (ad es., PHABSIM) o modelli di idoneità d'habitat a meso-scala (ad es., il MesoHABSIM) che applica tecniche statistiche per descrivere l'utilizzo di habitat da parte delle specie acquatiche.

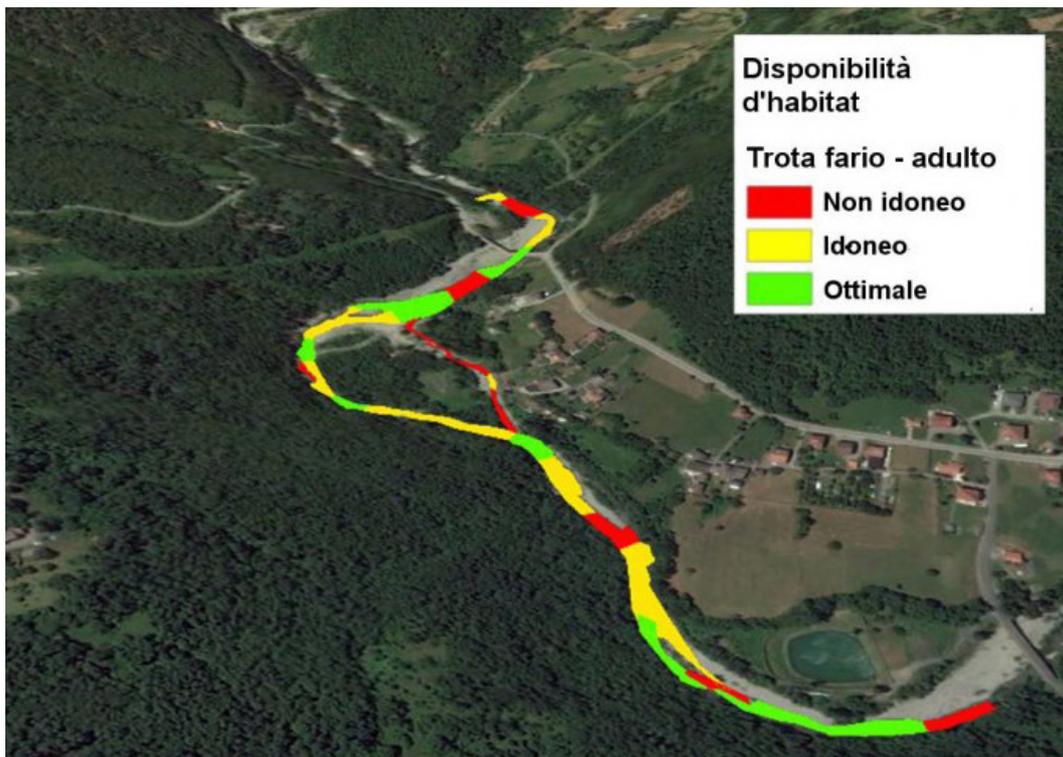


Figura 1- Esempio applicazione MesoHABSIM, origine Web

Da questi modelli, si calcolano gli indici di habitat e idro-morfologici che valutano la variabilità spazio-temporale degli habitat, come l'indice d'Integrità dell'Habitat fluviale (IH). Questi indici sono utilizzati in fase di progettazione di interventi (riabilitazione, opere) o per la valutazione del successo o dell'impatto degli stessi interventi su un corso d'acqua.

1.1 Approccio multi-scala dei modelli di habitat fluviale

I corsi d'acqua sono sistemi complessi costituiti dall'insieme di componenti abiotiche e biotiche che interagiscono tra loro a differenti scale spaziali e temporali. Lo studio di questi sistemi deve essere eseguito alle appropriate scale al fine di comprenderne il funzionamento.

I sistemi fluviali sono considerati come un insieme di livelli gerarchicamente organizzati costituiti da variabili e processi specifici. I livelli sono così suddivisi:

- Bacino
- Segmento
- Tratto
- Unità morfologica

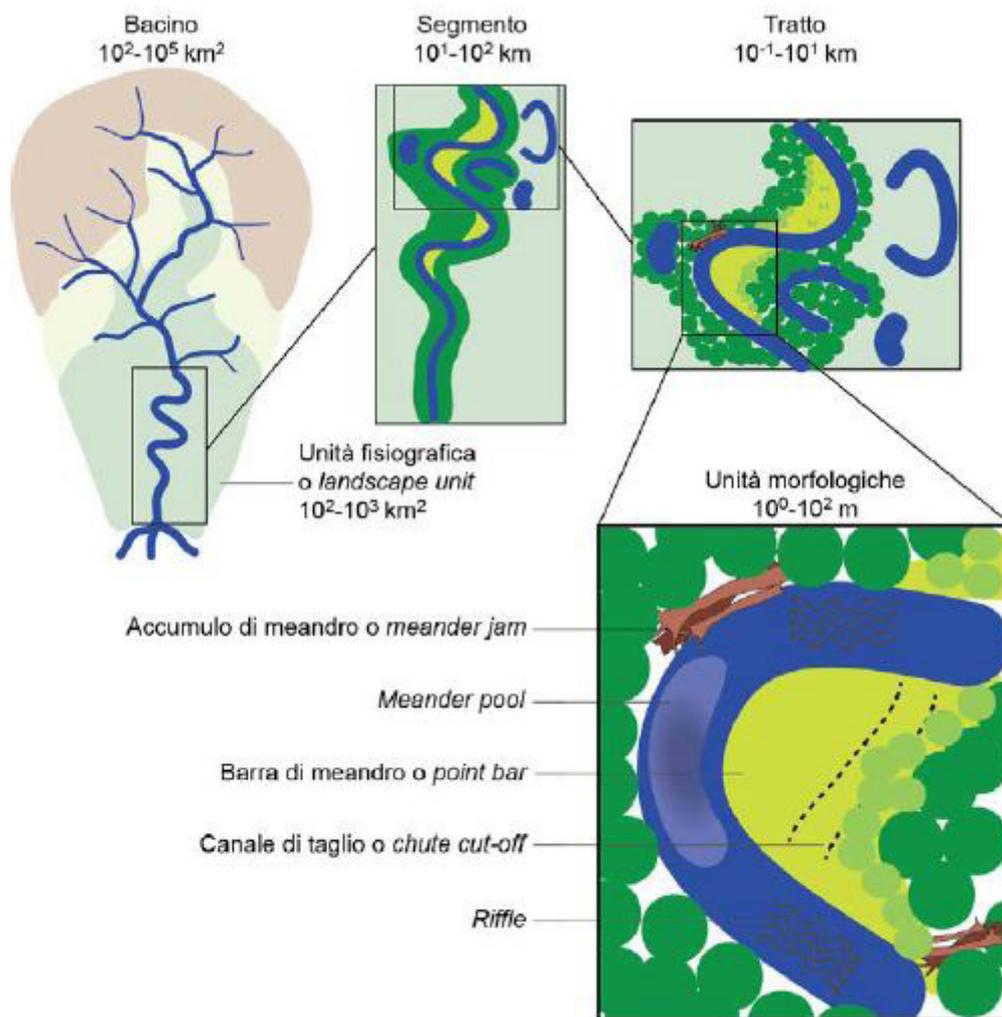


Figura 2- Estratto dell'approccio gerarchico dalla scala del bacino fino alla scala delle unità morfologiche (in basso sono riportate come esempio alcune unità morfologiche, origine [Manuale 132/2016](#)).

Le unità morfologiche sono l'espressione delle interazioni che esistono tra processi erosivi e deposizionali, i quali dipendono da fattori che agiscono alla scala del tratto e a quelle superiori. Il tratto rappresenta la scala spaziale di livello direttamente superiore a quella delle unità morfologiche, il segmento invece a quella del tratto e successivamente il bacino a quella del segmento. Una singola unità morfologica può includere una o più unità idrauliche, ovvero porzioni di corso d'acqua caratterizzate da condizioni di flusso di superficie e da substrato relativamente omogenee, ognuna delle quali può a sua volta includere una serie di singoli elementi fluviali. Nel dettaglio, è riportato nella tabella 1 l'approccio gerarchico multi-scala dei modelli fluviali.

Unità spaziali (termini alternativi equivalenti)	Scale spaziali e temporali	Descrizione	Criteri di delimitazione
Regione (Ecoregione, Regione biogeografica)	$> 10^4 \text{ km}^2$ $> 10^4$ anni	Aree molto estese che contengono l'insieme caratteristico delle comunità e specie naturali che risentono dell'influenza di condizioni climatiche	Differenze nelle principali variabili climatiche e distribuzione dei principali tipi vegetazionali.
Bacino	$10^2 - 10^5 \text{ km}^2$ $10^3 - 10^4$ anni	Area di territorio drenata da un corso d'acqua	Linea di spartiacque.
Unità fisiografica (Unità di paesaggio)	$10^2 - 10^3 \text{ km}^2$ $10^2 - 10^3$ anni	Porzione di un bacino con simili caratteristiche topografiche, morfologiche, geologiche	Differenze topografiche (quote, rilievo) e geologiche
Segmento (Settore)	$10 - 10^2 \text{ km}$ $10 - 10^2$ anni	Porzione di un corso d'acqua con condizioni omogenee in termini di unità fisiografica, configurazione della valle e condizioni di energia	Variazioni di unità fisiografica Affluenti maggiori (variazioni importanti di area di drenaggio e portata)
Tratto	$10^{-1} - 10 \text{ km}$ (≥ 20 volte la larghezza alveo) $10 - 10^2$ anni	Porzione del corso d'acqua caratterizzata da variabili guida e condizioni al contorno uniformi e tali da determinare un'interazione tra forme e processi relativamente omogenea.	Morfologia dell'alveo e confinamento Altre discontinuità quali variazioni di portata pendenza, dimensione dei sedimenti, alterazioni artificiali della continuità longitudinale
Unità morfologica (Mesohabitat, sottotratto)	$10^0 - 10^2 \text{ m}$ (0.1-20 volte larghezza alveo) $10^0 - 10$ anni	Forma fluviale creata da erosione o deposizione di sedimenti, spesso in associazione con vegetazione.	Unità morfologiche in alveo e nella pianura identificabili in base a caratteristiche morfologiche, sedimentarie e/o vegetazionali distinte
Unità idraulica (Mesohabitat)	$10^{-1} - 10 \text{ m}$ (5-20 D_{50}) $10^{-1} - 10$ anni	Porzioni (<i>patches</i>) di un'unità morfologica spazialmente distinte con condizioni di flusso e substrato omogenee.	Porzioni caratterizzate da condizioni omogenee di profondità e velocità del flusso, per un dato livello idrometrico, e da un range ristretto di dimensioni granulometriche
Unità sedimentaria (Elemento fluviale, Microhabitat)	$10^{-2} - 10 \text{ m}$ ($10^0 - 10 D_{50}$) $10^{-2} - 10^0$ anni	Elementi dell'ambiente fluviale comprendenti singoli individui o gruppi di sedimenti, piante, legname.	Elementi isolati significativi che creano microhabitat specifici.

Tabella 1- Unità spaziali che costituiscono l'approccio gerarchico multi-scala (fonte, [Manuale 132/2016](#)).

1.1.1 Le unità morfologiche

Si definisce unità morfologica (geomorphic unit) un'area sommersa o emersa (ad es., barre, riffle, piana inondabile) creata da processi di deposizione e/o erosione e situata all'interno dell'alveo (bankfull) o al suo esterno (nella pianura alluvionale).

Percorrendo un corso d'acqua da Nord a Sud, si può individuare una teorica distribuzione spaziale delle unità morfologiche in funzione della variabilità delle condizioni al contorno tra cui pendenza dell'alveo, portata, dimensione e quantità di sedimento.

A pendenze elevate ricadono unità di tipo erosivo (ad es., plunge pool, step) o unità costituite da substrato roccioso di grosse dimensioni (ad es., cascade, rapid). A pendenze medie si trovano unità deposizionali quali barre centrali e isole e a pendenze basse, dove la pianura alluvionale domina, prevalgono riffle, glide e pool. La distribuzione spaziale delle unità non è uguale per tutti i corsi d'acqua perché può essere influenzata da fattori esterni quali presenza di un affluente o elementi di discontinuità.

La scala spaziale delle unità morfologiche e delle unità a scale inferiori (unità idrauliche e sedimentarie) sono le più appropriate ai fini della valutazione degli habitat fisici. Infatti, le diverse componenti fisiche fluviali (i cosiddetti descrittori ambientali) all'interno di un'unità morfologica e/o idraulica e gli elementi fluviali costituiscono i criteri per la definizione degli habitat per la flora e la fauna fluviale acquatica e terrestre, specifici per le diverse fasi del ciclo vitale dei diversi organismi fluviali. Le unità morfologiche e le unità idrauliche appartengono alla scala del mesohabitat (circa 101 - 103 m); gli elementi fluviali corrispondono invece alla scala del microhabitat (in media 10 cm).

I mesohabitat sono fattori di controllo che ci informano sulle interazioni idro-morfologiche e sulle caratteristiche del substrato di un alveo in funzione del tempo e dello spazio; i microhabitat sono, invece sensibili, alle condizioni idrauliche dell'alveo ed entrambi sono strettamente legati alle componenti biotiche di un corso d'acqua.

Di seguito viene riportata la principale classificazione delle unità morfologiche applicata nella metodologia MesoHABSIM, tratta dal manuale SUM 132/2016 edito dall'ISPRA ([Rinaldi et al. 2016](#)):

Pothole (“marmitta”)

Si tratta di unità d'erosione tipica di alvei in roccia, spesso alquanto incise, di forma circolare, scavate nella roccia in zone, dove vi è una concentrazione di flusso a elevata energia. Sono unità comunemente associate a livelli litologici meno resistenti o alla presenza di discontinuità strutturali.

Cascade (“rapida a gradino”)

Si tratta di 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. Queste unità sono tipiche di alvei confinati a forte pendenza ($S > 7\%$).

Rapid (“rapida a scivolo”)

Si tratta di unità di alvei alluvionali caratterizzate da massi e ciottoli di grandi dimensioni par-

zionalmente organizzati in linee irregolari orientate perpendicolarmente od obliquamente all'alveo, lunghe circa quanto la larghezza dell'alveo. 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”)

Si tratta di 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 tipiche dei corsi d'acqua ad elevata pendenza alluvionali, semi-alluvionali 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 non vengono sommersi almeno fino ad eventi di piena ordinaria. 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. Le glide sono 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

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.

Nella Fig. 3 viene riportata una rappresentazione schematica della loro manifestazione fenotipica più classica.

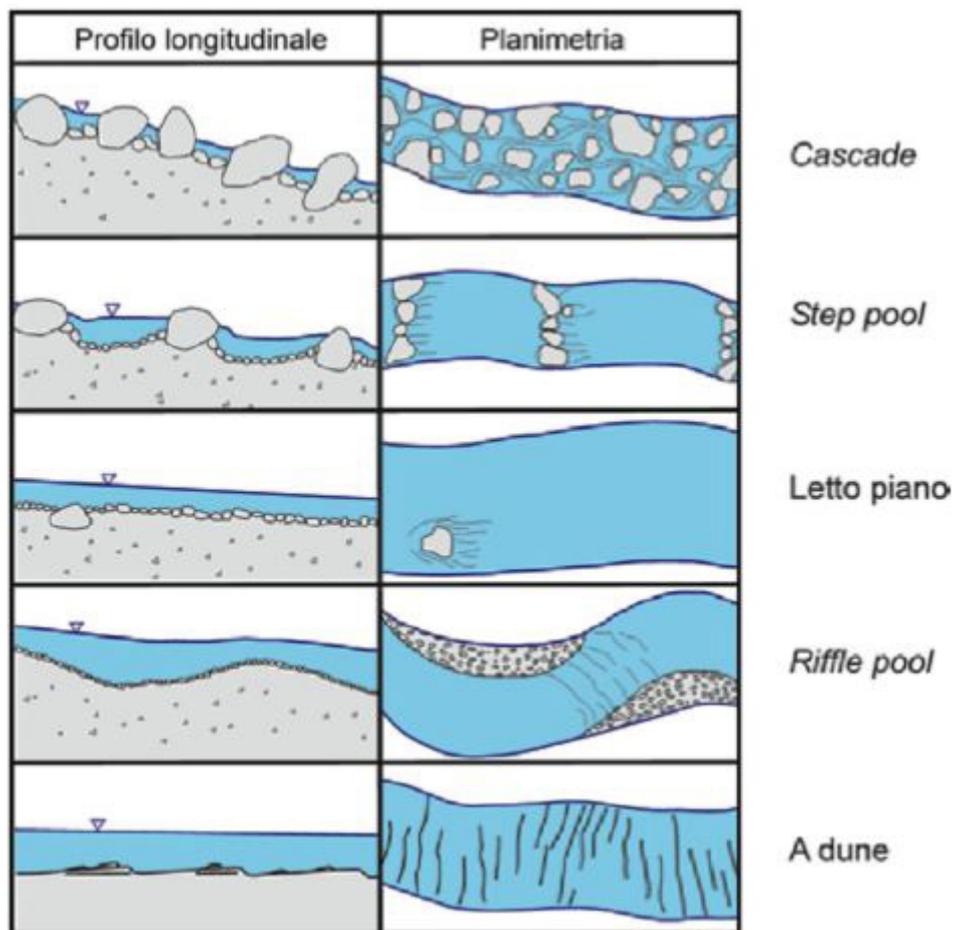


Figura 3- Morfologie di alvei alluvionali a scala di tratto (modificato da [Montgomery & Buffington, 1997](#), origine [Manuale 132/2016](#) edito dall'ISPRA ([Rinaldi et al. 2016](#)))

1.2 Metodologia MesoHABSIM

La metodologia MesoHABSIM (MesoHABitat SIMulation Model) è stata sviluppata a partire dall'anno 2000 come complemento del modello fisico PHABSIM, ed è stata descritta e pubblicata da Piotr Parasiewicz nel 2001 ([Parasiewicz 2001](#)). Nel 2007 e 2008 venne definitivamente formalizzata attraverso una serie di articoli scientifici e vennero definite le linee guida per la sua applicazione.

La metodologia MesoHABSIM rappresenta una tecnica completa per la valutazione e modellazione dell'habitat fluviale a meso-scala, che ha trovato larga applicazione nei paesi europei, tra cui l'Italia.

Il Politecnico di Torino, in particolare il Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, ha adottato MesoHABSIM per lo studio dei corsi d'acqua nel territorio nazionale ([Veza et al. 2012a](#), [2012b](#), [2014a](#), [2014b](#)). Il metodo è definito nel "Manuale tecnico-operativo per la modellazione e la valutazione dell'integrità dell'habitat fluviale", Manuale n° 154/2017, redatto dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e rappresenta il modello di riferimento nazionale di idoneità dell'habitat fluviale.

Essa è particolarmente appropriata per diversi scopi, quali: quantificazione e modulazione del deflusso minimo vitale (DMV), definizione dei deflussi ecologici o ambientali, monitoraggio dei rilasci e delle operazioni di svasso da opere di presa, progettazione e riqualificazione fluviale, stima della vocazionalità ittica di un corso d'acqua, la conservazione di particolari specie acquatiche protette e il calcolo dell'indice di Integrità dell'Habitat fluviale (IH).

Il MesoHABSIM rappresenta un sistema di modellazione fisico dell'habitat instream e consiste nella valutazione della quantità di habitat fluviale idoneo per una determinata specie in funzione di particolari condizioni ambientali.

Il concetto base della metodologia è che l'idro-morfologia locale è considerata l'unico fattore limitante per la crescita di una popolazione acquatica in un corso d'acqua, anche se esistono altri fattori determinanti di shock per lo sviluppo delle specie acquatiche, quali la qualità dell'acqua o le attività antropiche. L'idro-morfologia locale è sicuramente una componente necessaria ma non sufficiente allo studio dell'habitat fluviale.

Tuttavia a seguito delle limitazioni degli indici biologici utilizzati nei metodi precedenti, MesoHABSIM viene utilizzato per diagnosticare l'habitat fluviale in modo da aiutare nelle decisioni in fase di pianificazione della gestione delle risorse idriche superficiali, del rilascio dei deflussi ecologici e della riqualificazione fluviale.

L'approccio a meso-scala comporta dei vantaggi rispetto ai tradizionali metodi di modellazione:

- La raccolta dei dati è basata su una struttura gerarchica di classificazione morfologica (Cap.1.1.1) e può essere facilmente eseguita su qualsiasi tipologia di corso d'acqua;
- La risoluzione a meso-scala permette di considerare variabili ambientali per la descrizione dell'habitat fluviale in modo da eseguire un'analisi su una singola specie target o sull'intera comunità;
- La possibile applicazione in corsi d'acqua a regime torrentizio.

Le fasi procedurali della metodologia possono essere distinte in:

- Descrizione dell'habitat tramite rilievo idro-morfologico per diverse condizioni di deflusso
- Applicazione dei modelli biologici di idoneità d'habitat
- Analisi delle variazioni spazio-temporali dell'habitat fluviale

Ogni fase necessita di dati input e restituisce risultati in output.

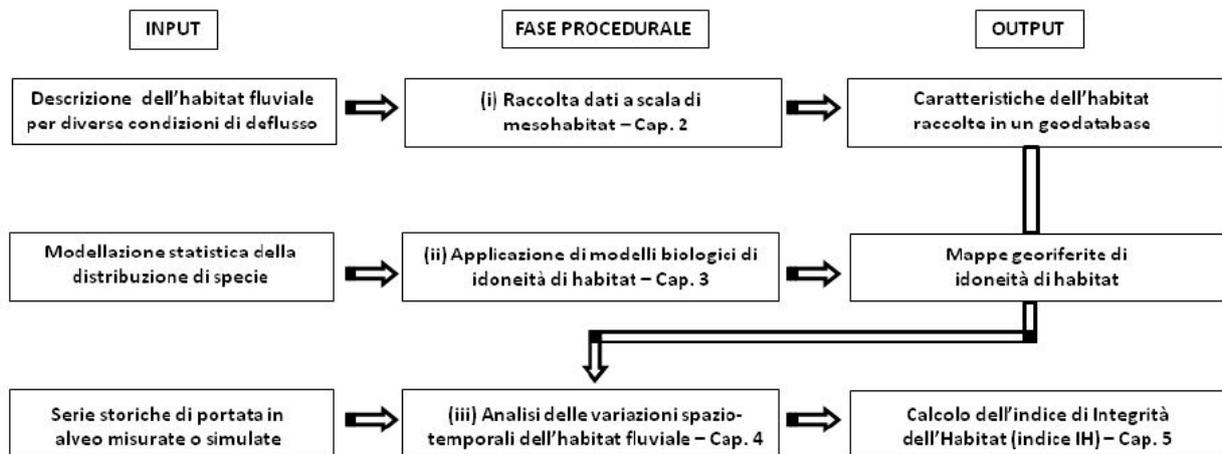


Figura 4 - Diagramma di flusso procedurale di riferimento per il MesoHABSIM, origine Manuale 154/2017 edito dall'ISPRA (Veza et al.)

1.2.1 Il mesohabitat

I mesohabitat corrispondono per estensione alle unità morfologiche o alle unità idrauliche. L'ordine di grandezza di un mesohabitat varia da 10 m a 103 m mentre le unità spaziali più piccole corrispondono alla scala del microhabitat. Le caratteristiche fisiche di un insieme di microhabitat possono definire le distribuzioni di frequenza delle variabili ambientali di un mesohabitat. Il mesohabitat può essere considerato come un fattore di controllo spaziale e temporale specifico ed è riconosciuto come la componente spaziale del sistema fiume che influenza la presenza e la diversità degli habitat fisici; per questo motivo il mesohabitat è considerato rappresentativo per stabilire relazioni tra le specie acquatiche e i descrittori ambientali di un sistema fiume. I mesohabitat sono classificati secondo la classificazione delle unità morfologiche descritta dal Manuale e linee guida 132/2016 dell'ISPRA, riportata nel capitolo precedente.

1.2.2 Descrizione dell'habitat a diverse condizioni di deflusso

La prima fase del MesoHABSIM è la definizione e quantificazione dell'habitat fluviale disponibile per una specie attraverso la mappatura delle unità morfologiche e sub unità idrauliche, UMI, che consiste nel definire il contorno di ogni UMI da rilevare.

Questa operazione è caratterizzata dalla misura dei descrittori ambientali per ogni UMI tra-

mite apposita strumentazione, i quali influenzano maggiormente la presenza o l'abbondanza di una specie target in una UMI. Questa fase rappresenta il rilievo idro-morfologico che viene eseguito lungo un sotto-tratto, cioè quella porzione di tratta fluviale che per omogeneità delle caratteristiche idro-morfologiche, risulta rappresentativo del tratto di un corso d'acqua che si vuole analizzare. La scelta del tratto dipende dagli obiettivi di applicazione del metodo per es. un tratto sotteso da un'opera di derivazione idrica o interessato dal rilascio di DMV. In questo caso, il rilievo per essere rappresentativo deve avere una lunghezza nella direzione predominante di flusso compresa tra le 10 e le 20 volte la larghezza dell'alveo inciso e contenere almeno 10 UMI, nel caso dei sistemi fluviali complessi la lunghezza del rilievo può ridursi fino ad un minimo di 2 volte l'estensione dell'alveo. La strumentazione è composta da un telemetro laser installato su di un cavalletto fotografico e collegato via Bluetooth a un computer palmare o tablet dotato di GPS e di software GIS, un correntometro elettromagnetico attaccato ad un'asta graduata e una bussola.



Figura 5 e 6 – Esempi di telemetro laser e correntometro elettromagnetico

I parametri o descrittori ambientali da raccogliere durante il rilievo per ogni UMI sono riassunti nella tabella 2 in funzione di quanto appare nella guida 154/2017 dell'ISPRA:

Nome descrittore ambientale	Tipologia	Classi/Categorie
Data di effettuazione del rilievo	valore tipo data	-
Portata al momento del rilievo	valore numerico	-
Nomi delle HMU mappate	testo	POTHOLE, CASCADE, RAPID, RIFFLE, STEP, GLIDE, POOL, SISTEMA DI DUNE, VEGETAZIONE ACQUATICA, CANALE SECONDARIO, BACKWATER, ARTIFICIAL ELEMENT, ZONA UMIDA
Pendenza media superficie libera per ogni HMU	valore numerico	z_max / z_min (quota massima e minima punti perimetro bagnato di ogni HMU)
Connettività longitudinale alla portata per passaggio fauna ittica per ogni HMU	valore binario (presenza/assenza, True/False)	CONNECTIVITY
Presenza di zone di rifugio/riparo (covers) per ogni HMU	valore binario (presenza/assenza, True/False)	BOULDERS, CANOPY SHADING, OVERHANGING VEGETATION, ROOTS, SUBMERGED, VEGETATION, EMERGED VEGETATION, UNDERCUT BANKS, WOODY DEBRIS, RIPRAP, SHALLOW MARGINES
Tipologie di substrato rilevate in ogni HMU tramite campionamento in vari punti	testo	GIGALITHAL (roccia), MEGALITHAL (> 40 cm), MACROLITHAL (20-40 cm), MESOLITHAL (6-20 cm), MICROLITHAL (2-6 cm), AKAL (ghiaia), PSAMMAL (sabbia), PELAL (limo, argilla), DETRITUS (materiale organico), XYLAL (detriti di legno/radici), SAPROPEL (fango anossico), PHYTAL (piante sommerse)
Profondità rilevate in ogni HMU tramite campionamento in vari punti	valore numerico	Statisticamente rielaborate in classi con intervalli di 0,15 m. D_15, D15_30, D30_45, D45_60, D60_75, D75_90, D90_105, D105_120, D_120
Velocità rilevate in ogni HMU tramite campionamento in vari punti	valore numerico	Statisticamente rielaborate in classi con intervalli di 0,15 m/s. CV_15, CV15_30, CV30_45, CV45_60, CV60_75, CV75_90, CV90_105, CV105_120, CV_120
Il numero di Froude per ogni HMU	valore numerico	Media sull'area della UMI

Tabella 2- Caratteristiche fisiche utilizzate per la descrizione dell'habitat fluviale secondo la metodologia Me-soHABSIM ([Manuale ISPRA 154/2017](#))

Inoltre, si devono eseguire i rilievi a differenti condizioni di portata caratteristiche del sottotatto scelto al fine di quantificare correttamente l'habitat disponibile per una specie target. L'habitat, infatti, cambia al variare della portata defluente in quanto si modificano l'estensione areale e la distribuzione spaziale delle UMI. Si devono eseguire un minimo di tre rilievi, ma è fortemente consigliato un numero maggiore di rilievi (4 o 5). La scelta delle condizioni di portata alle quali eseguire il rilievo avviene a seguito di uno studio idrologico e in modo da ottenere intervalli regolari di portata.

Il rilievo inizia con una fase di settaggio e calibrazione della strumentazione e il posizionamento del telemetro montato sul treppiede in un Ground Control Point seguendo il principio topografico per la realizzazione di una poligonale. Da questo punto si inizia la mappatura delle unità identificate lungo il corso d'acqua tramite analisi visiva da valle verso monte. L'acquisizione spaziale delle UMI, avviene mediante la delineazione del perimetro bagnato di una di esse, per rilevamento di successivi punti, attraverso il telemetro, e la loro registrazione sul software GIS del palmare in formato shapefile tipo Polygon ZM.

Individuata la UMI, si procede alla raccolta dei suoi descrittori ambientali, quali valori di velocità, profondità e substrato, tramite una puntuale misurazione degli stessi secondo una distribuzione random di punti rappresentativi, all'interno dell'unità idro-morfologica mappata, in tal modo si rappresenta la reale distribuzione dei parametri di una UMI. L'acquisizione dei descrittori ambientali deve avvenire in almeno 7 punti di misurazione distinti.



Figura 7 – Misura della velocità attraverso il correntometro elettromagnetico, foto scattata durante il rilievo idro-morfologico presso il torrente Chalamy, Valle d'Aosta, Italia.

Per la misura dei valori di velocità e profondità si utilizza il correntometro elettromagnetico e l'asta graduata (vedasi Fig.7), e per la definizione del substrato è sufficiente l'attenta osservazione delle caratteristiche della morfologia del fondo nella zona circostante al punto di misura (intorno al metro cubo).

La portata viene misurata all'inizio e alla fine del rilievo in sezioni adeguate, sempre utilizzando il correntometro.

I seguenti passaggi vengo ripetuti per tutte le UMI identificate muovendosi lungo il corso d'acqua.

1.2.3 Applicazione dei modelli biologici



Figura 8 – Trota Marmorata e Trota Fario adulte

La metodologia MesoHABSIM richiede l'utilizzo di modelli di distribuzione di specie per la stima della quantità di habitat disponibile per una determinata comunità target.

La fauna ittica è la comunità target scelta per lo studio della risposta ecologica. Diversamente da altre componenti biotiche dell'ecosistema fluviale, la fauna ittica può manifestare una risposta ecologica, in termini di abbondanza e diversità, negativa o positiva e dipendente dal contesto morfo-climatico del corso d'acqua (Poff e Zimmerman 2010). I pesci, infatti, dipendono direttamente per il loro sviluppo, crescita e mantenimento dall'habitat fluviale in cui si trovano e inoltre sono presenti in quasi tutte le tipologie di ambienti acquatici. Pertanto rappresentano un importante strumento di valutazione della qualità ambientale sia come indicatore biotico e sia come indicatore per la gestione dei corsi d'acqua. La scelta della specie della fauna ittica dipende dalla regione idrografica (in base alle diverse caratteristiche idro-morfologiche si sviluppano differenti specie) e dalla pubblica amministrazione interessata alla tutela di particolari specie.

I modelli statistici di distribuzione di specie stabiliscono i criteri di idoneità di habitat per la specie ittica target in funzione degli stadi vitali, considerando dati biologici quantitativi raccolti in campo a scala di unità morfologica in condizioni di riferimento.

La pratica statistica utilizzata all'interno del MesoHABSIM è denominata Random Forest (RF). La seguente è una tecnica statistica ad apprendimento automatico basata sulla combinazione di alberi di decisione.

Essa permette di identificare i parametri che influenzano la presenza e l'abbondanza delle specie e di determinare la probabilità di presenza o di abbondanza all'interno di ogni unità morfologica (Veza et al., 2014a, 2014b, 2015). In particolare, per ogni specie e stadio vitale di essa vengono applicati all'interno del Software SimStream due modelli statici binari per distinguere l'assenza/presenza e la presenza/abbondanza della specie considerata. Il risultato è una probabilità di presenza (>0.5 habitat idoneo) e una probabilità di abbondanza (>0.5 habitat ottimale). I modelli di idoneità di habitat costruiti con questa tecnica sono disponibili per l'applicazione della metodologia MesoHABSIM attraverso il software SimStream che opera in ambiente QGIS, e sono tarati per le principali specie ittiche locali in ambienti alpini e appenninici dell'Italia centro-settentrionale.

Il risultato dell'algorithm RF è rappresentato graficamente mediante la tecnica Partial Dependence Plot (PDP).

In ogni grafico sono riportate delle curve che spiegano la relazione parziale tra la probabilità di presenza e di abbondanza per ogni singolo descrittore di habitat.

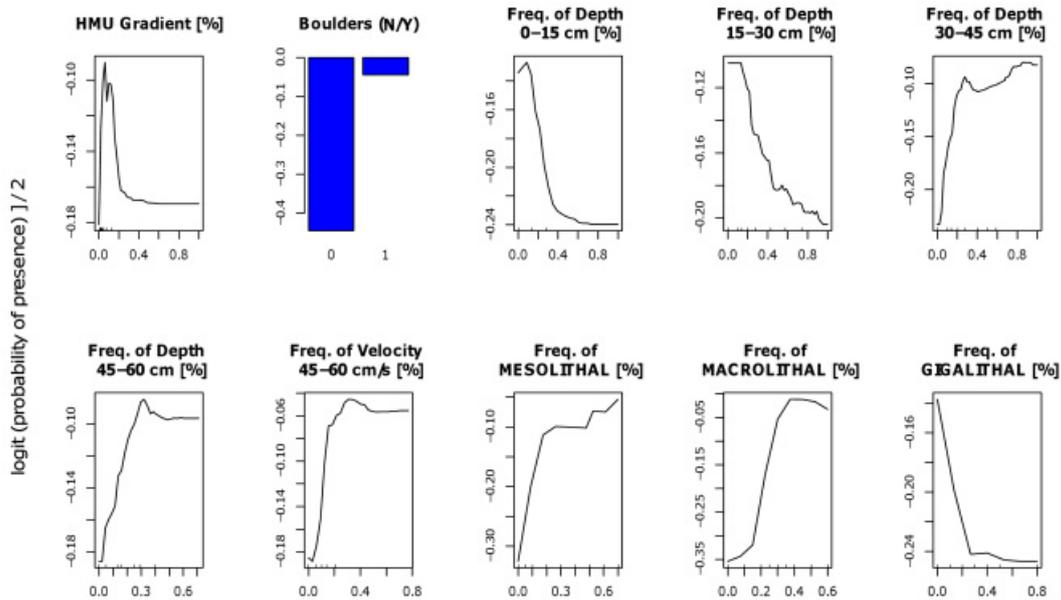


Figura 9 – Modello Biologico della presenza per la trota fario adulta, originata dal software SimStream

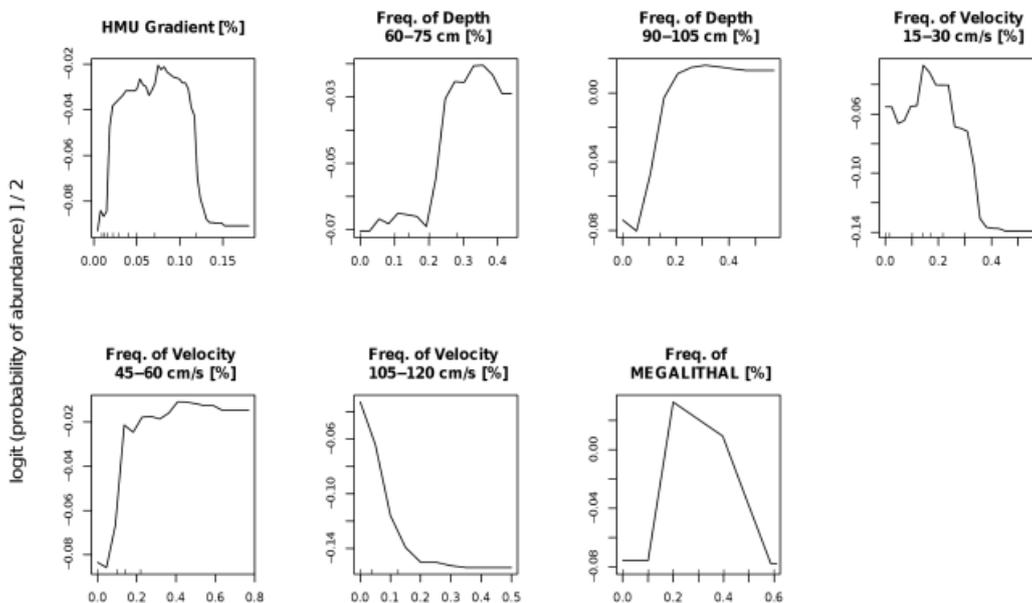


Figura 10 – Modello Biologico dell'abbondanza per la trota fario adulta, originata dal software SimStream

La rappresentazione delle probabilità nelle curve PDP è tramite funzione logit per mettere in evidenza l'importanza dell'analisi dell'andamento della funzione rispetto al singolo valore numerico.

Come mostra la figura, gli andamenti monotoni crescenti rappresentano una maggior possibilità di vita per quella specie o stadio vitale della stessa per quel relativo parametro; il contrario, per gli andamenti monotoni decrescenti.

Tutti i modelli biologici e i grafici PDP si possono consultare all'interno del software SimStream per ogni specie o stadio vitale e parametro ambientale.

1.2.4 Analisi delle variazioni spazio-temporali di habitat

Il passo successivo della metodologia MesoHABSIM è l'analisi delle variazioni spatio-temporali di habitat disponibile per una comunità target in funzione delle condizioni di deflusso. A seguito della validazione dei modelli biologici, è possibile classificare i diversi mesohabitat secondo tre diverse categorie di idoneità al fine di calcolare l'area disponibile a ospitare la fauna ittica target:

- Idoneo (Suitable)
- Non idoneo (Not Suitable)
- Ottimale (Optimal)

La divisione di habitat disponibile viene eseguita per i diversi stadi vitali degli organismi considerati.

Un mesohabitat definito “non idoneo” non implica un'interruzione della continuità longitudinale del fiume, ma rappresenta un ambiente caratterizzato da parametri idro-morfologici non congrui allo sviluppo o crescita della specie target (probabilità di presenza minore di 0.5); il contrario, per un mesohabitat classificato come “idoneo”.

Un mesohabitat ottimale, invece, è caratterizzato da descrittori ambientali ottimali per il mantenimento della specie e portano il modello biologico a definire una probabilità di abbondanza maggiore di 0.5.

I mesohabitat categorizzati come ottimali o idonei vengono aggregati per la costruzione della curva Habitat-Portata che mette in relazione la portata transitante del corso d'acqua con l'habitat disponibile per la specie considerata. L'habitat disponibile viene ottenuto secondo la seguente relazione riportata in Parasiewicz (2007) e in Vezza et al. (2014b):

$$H_d = 0.25 * H_i + 0.75 * H_o$$

I termini H_i e H_o indicano la quantità di habitat, rispettivamente, idoneo e ottimale. Nella Figura 11 è rappresentata una curva Habitat-Portata per il fiume Lys, situato in Valle d'Aosta, in cui l'habitat disponibile (H_d) è espresso in percentuale sull'asse delle ordinate ed è determinato rispetto al totale dell'area bagnata relativa al valore massimo di portata defluente misurata.

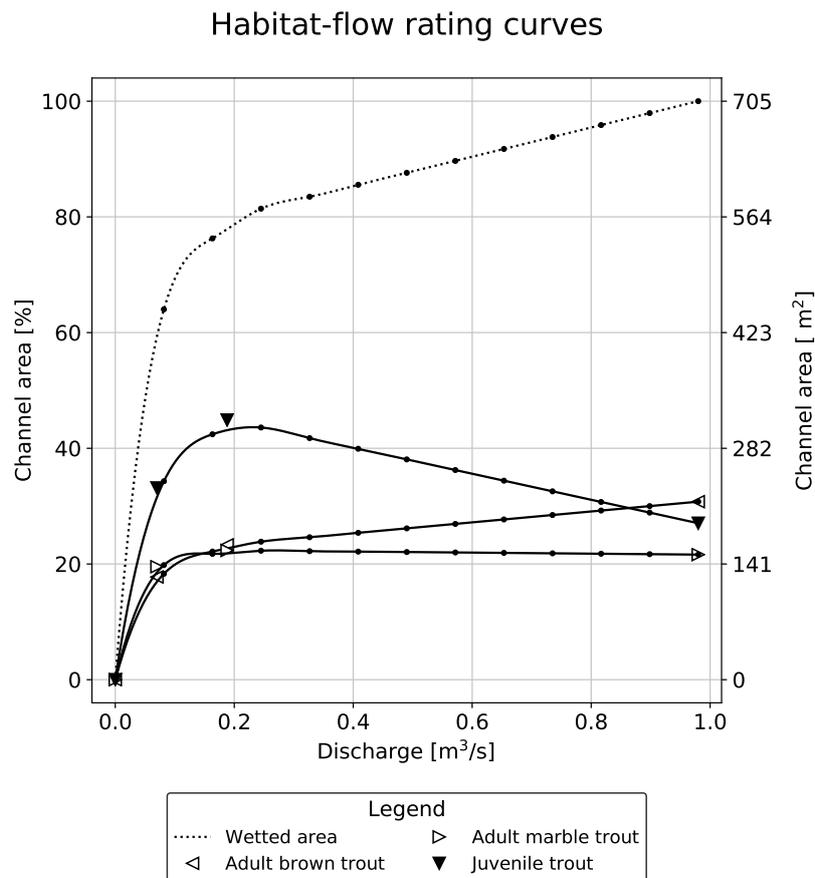


Figura 11 - Esempio curva habitat-portata.

L'andamento della curva fornisce importanti informazioni sull'assetto morfologico del corso d'acqua, tra cui l'andamento dell'area bagnata in funzione della portata defluente.

La curva Habitat-Portata rappresenta la variazione spaziale dell'habitat disponibile in relazione alla portata mentre la variazione temporale è rappresentata dalle serie storiche di habitat ottenute dalle serie di portata in alveo. La relazione utilizzata per definire l'habitat disponibile al tempo t è riportata di seguito:

$$H_d(t) = H(Q(T))$$

Si identificano $H_d(t)$ come Habitat disponibile al tempo t , H come la relazione Habitat-Portata per una determinata specie o stadio e $Q(T)$ come portata defluente al tempo t .

Le serie di portata in alveo tradotte in serie temporali di habitat vengono utilizzate dal MesoHABSIM in base agli scopi di applicazione.

In particolare, la metodologia MesoHABSIM permette di quantificare la disponibilità di habitat nelle condizioni idro-morfologiche di interesse attraverso il confronto fra condizioni idro-morfologiche di riferimento (ad es., un tratto senza opere di derivazione idrica) e condizioni alterate (lo stesso tratto sotteso dall'opera). Per eseguire questo confronto e quindi ottenere una valutazione d'impatto ambientale dell'opera di presa, è stato sviluppato l'indice d'Integrità dell'Habitat fluviale IH. Lo scopo dell'indice IH è quello di valutare, quindi, la variabilità spazio-temporale degli habitat in condizioni attuali e future e associare un indicatore numerico per la gestione ambientale dei corsi d'acqua.

2. Indice d'Integrità d'Habitat fluviale

L'indice d'Integrità d'Habitat Fluviale (IH) viene sviluppato a partire dalla metodologia MesoHABSIM e permette di valutare la variabilità spazio-temporale degli habitat delle specie acquatiche in condizioni attuali e future. L'indice IH mette a confronto una condizione idro-morfologica di riferimento e una alterata in modo da valutare il grado di alterazione esistente nel fiume a causa delle attività antropiche presenti. La condizione idro-morfologica di riferimento è quella condizione del fiume senza pressioni antropiche mentre la condizione alterata è la condizione di esistenza attuale del fiume. Le condizioni di riferimento e alterate possono definire una quantità di habitat disponibile diversa per la specie analizzata e l'indice IH permette di spiegare questa alterazione attraverso un indicatore numerico.

Lo scopo dell'indice d'integrità d'habitat fluviale è quello di fornire uno strumento efficace per la gestione ambientale dei corsi d'acqua e valutare l'integrità dell'habitat in presenza di pressioni antropiche in ambito idrologico e morfologico.

L'indice IH deriva da due sub-indici, l'indice di disponibilità spaziale di habitat (ISH) e l'indice di disponibilità temporale di habitat (ITH). Dal valore minimo di questi due sub-indici, si ricava il valore dell'indice IH che può variare tra 0 e 1. Il valore zero indica un grado elevatissimo di alterazione e il valore 1 invece rappresenta una condizione di assenza di alterazioni idro-morfologiche pari alla condizione di riferimento.

IH	CLASSE
$IH \geq 0.80$	ELEVATO
$0.60 \leq IH < 0.80$	BUONO
$0.40 \leq IH < 0.60$	SUFFICIENTE
$0.20 \leq IH < 0.40$	SCADENTE
$IH < 0.20$	PESSIMO

Figura 12 - Classi d'integrità dell'Habitat secondo l'indice IH ([Manuale ISPRA 154/17](#))

La soglia di suddivisione delle classi è stata scelta a seguito di simulazioni in casi studio per una durata di 15 anni. I due sub-indici ISH e ITH sono calcolati utilizzando le serie storiche di habitat generate dalle serie di portata in alveo e basandosi su di queste si tiene in considerazione le alterazioni spaziali e temporali della struttura degli habitat (Rinaldi 2016 a). Infatti, il calcolo dell'indice di Integrità d'Habitat fluviale (IH) deriva dall'analisi delle variazioni spazio-temporali di habitat disponibile per le specie acquatiche. Nel capitolo 5 verrà esposto, a titolo di esempio il calcolo dell'indice IH per il caso studio del Saint Barthelemy. Al fine del calcolo, si utilizzano i dati idro-morfologici corretti secondo il capitolo 4, relativi ai rilievi idro-morfologici, per quantificare la variabilità spaziale di habitat e i dati idrometrici storici per definire la variabilità temporale di habitat. In particolare, si inseriscono i dati idro-morfologici e le serie temporali di portata nel software SimStream e si ottiene come output l'indice d'integrità d'habitat fluviale come spiegato nel capitolo 3. L'analisi delle variazioni spazio-temporali degli habitat disponibile per le specie target nel tratto del Saint Barthelemy ha come scopo l'individuazione di una condizione di rilascio di DMV che comporti un indice IH corrispondente a una classe sufficiente o buona.

2.1 Indice di disponibilità spaziale dell'Habitat fluviale (ISH)

L'indice di disponibilità spaziale dell'Habitat fluviale (ISH) quantifica l'alterazione della quantità spaziale di habitat in un determinato periodo di tempo. Per la valutazione di impatto e definizione dei deflussi, il periodo di riferimento è annuale e si confronta la quantità di habitat disponibile media sul periodo in condizioni idro-morfologiche di riferimento ($A_{Hd,r}$) e alterate (A_{Hd}). Il valore dell'indice è il valore minimo tra i valori ottenuti per tutte le specie target in modo da tutelare tutte le specie.

$$ISH = \min \left(\left(\begin{array}{l} 1 - \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}}, \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}} \leq 1 \\ 0, \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}} > 1 \end{array} \right) \right)_{specie}$$

Figura 13 - Formula per il calcolo dell'indice ISH

2.2 Indice di disponibilità temporale dell'Habitat fluviale (ITH)

L'indice di disponibilità temporale di Habitat fluviale (ITH) valuta la variazione temporale nella durata di eventi di stress per le specie ittiche. Un evento di stress è contraddistinto dal perdurare nel tempo di limitate condizioni di disponibilità di habitat ed è espresso come un numero di giorni in cui un valore di habitat disponibile sta sotto una determinata soglia. La soglia è rappresentata dalla quantità di habitat corrispondente al percentile 97° di portata (pari alla Q355, superata 355 giorni l'anno) denominata AQ97.

L'Analisi statistica per la determinazione della durata degli eventi di stress rappresentanti habitat sotto soglia è definita dalla costruzione delle curve di durata continua sotto-soglia (CDS, in inglese UCUT). La costruzione delle curve UCUT avviene attraverso l'utilizzo del software SimStream partendo dalle serie temporali storiche di habitat generate dalle serie di portata in

alveo. Le curve vengono costruite sia per le condizioni idro-morfologiche di riferimento sia per le condizioni alterate. Operativamente, si deve valutare per ogni valore di durata continua sotto-soglia la differenza tra il corrispondente numero di giorni di durata cumulata continua per la curva in condizioni alterate ($d_{c,AQ97}$) rispetto a quella in condizioni non alterate ($d_{c,r,AQ97}$). L'alterazione complessiva nel numero di giorni di stress (AGS o inglese SDA) viene calcolata come media su tutto l'intervallo di durate continue sotto-soglia nelle due condizioni in esame.

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

Figura 14 - Formula per il calcolo del AGS

L'indice ITH è infine, determinato tramite una funzione di valore che trasforma il parametro AGS nell'indice ITH compreso nell'intervallo fra 0 e 1.

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

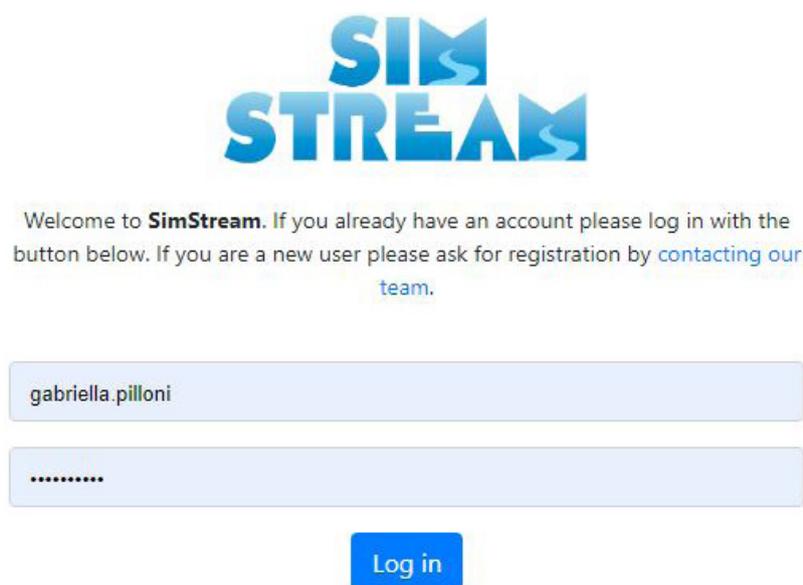
Figura 15 -Formula per il calcolo dell'indice ITH

Per valori di AGS pari a zero, corrisponde un ITH pari a 1 (senza giorni di alterazione); per valori di AGS pari a uno, corrisponde un ITH pari a 0.7 (aumento dei giorni di stress del 100%) e per valori di AGS pari a dieci, corrisponde un ITH pari a zero (aumento dei giorni di stress del 1000%). Il minimo tra l'indice ITH e ISH definisce l'indice IH ([Parasiewicz 2012 b](#)).

3. Il software SimStream

Il software SimStream è stato sviluppato e messo a disposizione dal Rushing Rivers Institute (<http://www.rushingrivers.org/>), ed è un plugin operante in ambiente QGIS. La versione del software 1.0.0 è programmata appositamente per l'applicazione della metodologia MesoHAB-SIM sul territorio italiano e per il calcolo dell'indice IH, rappresentando così lo strumento informatico di riferimento a livello internazionale per lo studio degli ecosistemi fluviali. Il software presenta un'interfaccia grafica a navigazione condizionata suddivisa in diverse pagine che richiedono ciascuna l'inserimento di specifiche tipologie di input ([VeZZa et. al 2017](#))
La formattazione dei dati input è di fondamentale importanza per l'esecuzione del programma e l'ottenimento dei risultati in output.

Ad oggi, è stata completata la nuova versione 1.1.1, pubblicata da ISPRA a maggio 2018. La seguente è stata implementata al fine di migliorare la versione precedente per quanto riguarda la visualizzazione degli output e l'accessibilità dell'informazione tramite connessione internet. Inoltre, tra i miglioramenti è stata introdotta la possibilità di applicazione della metodologia al caso dei corsi d'acqua intermittenti.



**SIM
STREAM**

Welcome to **SimStream**. If you already have an account please log in with the button below. If you are a new user please ask for registration by [contacting our team](#).

Figura 16 - Interfaccia iniziale del Software SimStream versione 1.1.1

3.1 Descrizione del software

Nella fase iniziale, il software richiede l'inserimento di dati input correttamente formattati al fine di eseguire le analisi richieste relative a un rilievo fluviale.

Una volta effettuato il login, si apre la finestra della Homepage con due sezioni "Calculate Session", per iniziare un nuovo progetto, e "Download Session", per scaricare i risultati del progetto.

Nella "Calculate Session" la fase di inserimento dei dati input è obbligata dalla richiesta delle informazioni sulle finestre di dialogo che consequenzialmente si aprono a mano a mano che i dati vengono inseriti nel software. Completato il caricamento dei dati input, si avvia la fase di download degli output che richiederà all'incirca trenta secondi.

L'utente è in grado di finalizzare il caricamento dei dati del proprio progetto all'interno di un server connesso in remoto, utilizzato automaticamente dal software per svolgere tutti i calcoli e le analisi necessarie al completamento dei risultati scaricabili sotto forma di output nella sezione di download.

Gli output prodotti sono funzione univoca delle informazioni immesse come input per ogni progetto. I dati di input per l'applicazione della metodologia MesoHABSIM sul software SimStream derivano da rilievi idro-morfologici e sono formattati secondo le indicazioni del Manuale Tecnico [154/2017](#) dell'ISPRA.

Si raggruppano in tre macro-categorie:

- Un file vettoriale delle unità morfologiche mappate per un rilievo fluviale con la rispettiva tabella attributi correttamente formattata.
- Un file di testo contenete per ogni UMI i valori di velocità, profondità e substrato.
- Un file di testo contenete le serie temporali di portata di riferimento e alterate per il calcolo dell'indice IH.

L'informazione della comunità ittica target viene inserita semplicemente selezionando tramite menu a tendina le specie e i relativi stadi vitali che si vogliono studiare.

Gli output generati dal software possono essere:

- Valutazione dell'idoneità di habitat
- Relazione habitat-portata
- Serie storiche di habitat
- Indice di integrità dell'habitat fluviale (IH)

Nelle seguenti immagini sono riportate le finestre di dialogo del software relative alla fase di inserimento degli input.

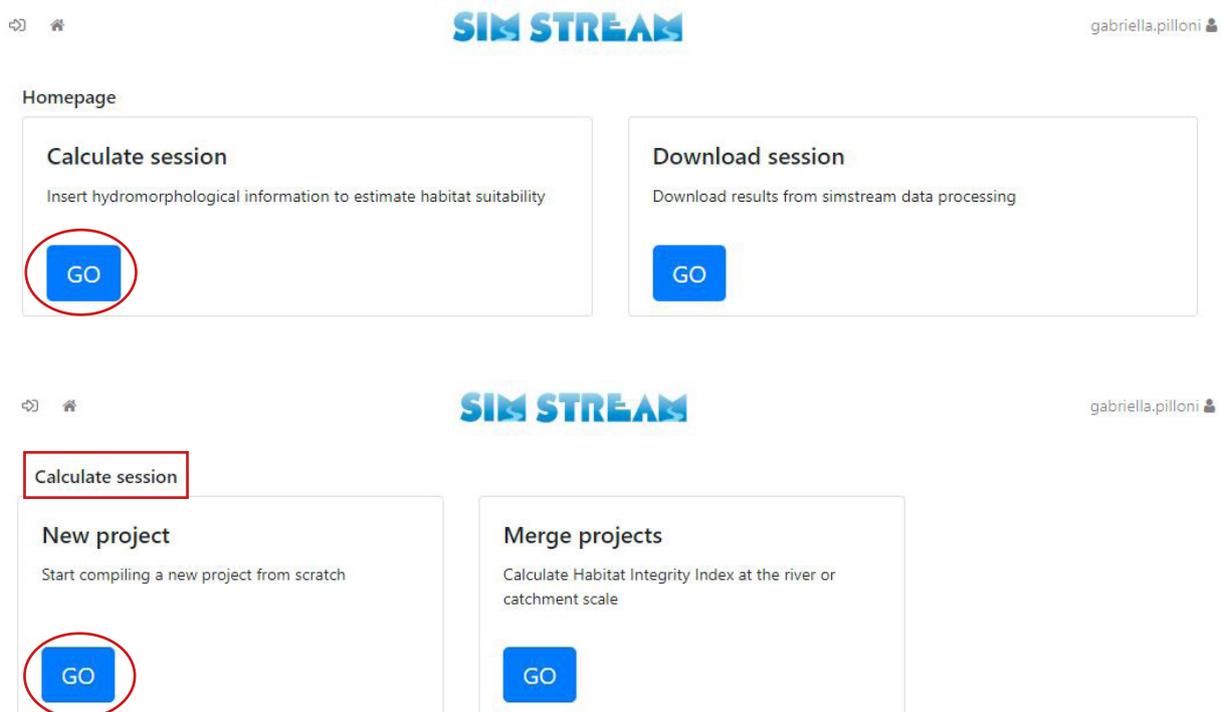


Figura 17 - Scelta "Calculate Session"

The image shows the 'Create Project' form in the SIM STREAM web application. The form is divided into tabs: Site data, Surveys, Series, Species, and Output. The 'Site data' tab is active. The form includes the following fields and options:

- (*) Project**: Text input field.
- (*) River**: Text input field.
- (*) Site**: Text input field.
- Country**: Text input field.
- Municipality**: Text input field.
- Region**: Text input field.
- Province**: Text input field.
- Intermittent / ephemeral stream?**: Dropdown menu with the selected option: "No, the stream flows continuously during the year".
- Habitat-flow rating curve available?**: Dropdown menu with the selected option: "I have no previous project from which to take the curve".

A green button labeled "Create Project" is located at the bottom left. A note at the bottom right indicates "(*) Mandatory fields".

Figura 18 - Inserimento informazioni generali del progetto.

The screenshot shows the SimStream software interface. At the top, there are navigation tabs: Site data, Surveys, Series, Species, and Output. The 'Surveys' tab is active. Below the tabs, there is a section titled 'Hydro-morphological data (perennial streams)'. Underneath, there is a 'New Survey' form. The form has a step indicator '1' on the left. It contains several input fields: 'Date' (with a calendar icon and 'No date selected'), 'Discharge [m³/s]' (with a red box around it), 'Habitat maps' (with a red box around it and a 'Browse' button), and 'Point measurements' (with a red box around it and a 'Browse' button). Below these fields, there are instructions: 'You have to select the 4 files collected as a shapefile (file extensions are .shp, .shx, .dbf, .prj, any order is valid)' and 'You have to select 1 file (file extension is .txt)'. At the bottom of the form, there are two green buttons: 'Save survey and add new one' and 'Save survey'. Below the form, there are two blue buttons: 'Previous' and 'Next'. In the top right corner, the user's name 'gabriella.pilloni' is displayed.

Figura 19 - Inserimento dati idro-morfologici del progetto.

Nella figura 18 vengono riportate le informazioni da inserire per la creazione di un progetto. Si individuano cinque sezioni: Site data, Surveys, Series, Species e Output. Le informazioni per la creazione di un'indagine, "New Survey", sono contenute nella sezione Surveys e sono costituite dai dati idro-morfologici. Al fine di eseguire una corretta analisi, si inseriscono tre surveys aventi portate differenti in maniera crescente.

The screenshot shows the SimStream software interface. At the top, there are navigation tabs: Site data, Surveys, Series, Species, and Output. The 'Species' tab is active. Below the tabs, there is a section titled 'Species and life stage selection'. Underneath, there are three dropdown menus: 'Species:' (with a red box around it and the value 'Brown trout (Salmo trutta)'), 'Life stage:' (with a red box around it and the value 'adult'), and 'Model:' (with a red box around it and the value 'rearing and growth'). To the right of these dropdowns is a green 'Add' button. In the top right corner, the user's name 'gabriella.pilloni' is displayed.

Figura 20 - Sezione Species

Output selection

- Hydro-morphological unit data
- Biological model results
- Habitat suitability
- Habitat-flow rating curve
- Streamflow-habitat time series
- UCUT curves
- Habitat integrity index

Previous Submit

Figura 21 - Sezione Output

3.1.1 Formato dati input

Il file vettoriale contenente il mosaico delle unità morfologiche di cui si compone il sotto-tratto del corso d'acqua considerato è una delle informazioni primarie per l'implementazione del software. Per la loro mappatura è doveroso utilizzare appositi sistemi GIS di registrazione del dato ricavato dal telemetro laser durante il rilievo fluviale. I sistemi utilizzati maggiormente sono ArcPad e MapStream. Quest'ultimo è un plug in di QGIS sviluppato appositamente per facilitare la raccolta del dato di campo per l'applicazione della metodologia MesoHABSIM. Il shapefile così ottenuto è di tipo Polygon ZM e contiene le unità morfologiche e le informazioni sui parametri ambientali nella relativa tabella degli attributi.

	HMU_NUM	HMU_TYPE	CONNECTIV	BOULDER	CANOP_SHAD	OVERHA_VEG	ROOTS	SUBMER_VEG	EMERG_VEG	UNDERC_BAN	WOODY_DEBR	RIPRAP	SHALL_MARG
1	1	RAPID	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	POOL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	POOL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	4	POOL	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	STEP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	6	POOL	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	7	RAPID	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	POOL	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	9	GLIDE	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	CASCADE	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	11	RIFFLE	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	12	POOL	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 22- Esempio Tabella degli attributi per le unità morfologiche del Lys 4

Il file di testo contenente le distribuzioni dei descrittori ambientali obbligatorie per l'implementazione del software SimStream deve essere formattato come esposto nella figura 23, nella quale a titolo di esempio viene riportata un file txt del corso d'acqua Lys per una portata pari a 0.975 m³/s. Si possono osservare il numero identificativo dell'unità (HMU_NUM), la tipologia dell'unità (HMU_TYPE), la profondità, la velocità e il tipo di substrato (DEPTH, VELOCITY, SUBSTRATE).

HMU_NUM	HMU_TYPE	PNTNUM	DEPTH	VELOCITY	SUBSTRATE
1	RAPID	1	0.43	0.9	GIGALITHAL
1	RAPID	2	1.2	0.12	GIGALITHAL
1	RAPID	3	0.45	1.8	GIGALITHAL
2	POOL	1	0.56	0	GIGALITHAL
3	POOL	1	1.2	0.2	GIGALITHAL
3	POOL	2	0.8	0.1	MESOLITHAL
3	POOL	3	1.7	0	GIGALITHAL
3	POOL	4	2	0.3	GIGALITHAL
3	POOL	5	1.1	0.2	MEGALITHAL
4	POOL	1	2.8	0.08	GIGALITHAL
4	POOL	2	2	0	GIGALITHAL
4	POOL	3	3.4	0	MEGALITHAL
4	POOL	4	1.8	0	MEGALITHAL
4	POOL	5	0.61	0	GIGALITHAL
5	STEP	1	0.21	2	GIGALITHAL
5	STEP	2	0.32	2	GIGALITHAL
5	STEP	3	0.12	2.6	GIGALITHAL
5	STEP	4	0.13	2.5	GIGALITHAL
5	STEP	5	0.76	0.9	GIGALITHAL
6	POOL	1	0.5	0.45	GIGALITHAL
6	POOL	2	1	0.15	AKAL
6	POOL	3	2	0.13	GIGALITHAL
6	POOL	4	1.8	0	GIGALITHAL
6	POOL	5	3	0	GIGALITHAL
6	POOL	6	3.3	0	MEGALITHAL
6	POOL	7	3.4	0	MEGALITHAL
6	POOL	8	2.3	0	MEGALITHAL
7	RAPID	1	0.15	1.7	GIGALITHAL
7	RAPID	2	0.6	1	GIGALITHAL
7	RAPID	3	0.5	1	GIGALITHAL
7	RAPID	4	0.45	0.5	GIGALITHAL
8	POOL	1	0.85	0.11	MEGALITHAL
8	POOL	2	1.5	0.15	MEGALITHAL
8	POOL	3	1.3	0	AKAL
8	POOL	4	1.1	0.1	MACROLITHAL

Figura 23 – Esempio file di testo per il Lys, Valle d'Aosta, Italia.

Come si può vedere nella figura 23, le varie UMI sono disposte in ordine crescente del valore identificativo HMU_NUM corrispondente a quello della tabella attributi del file vettoriale. La colonna PNTNUM identifica il numero di punti misurati all'interno di ogni UMI, a cui corrisponde un valore di velocità, di profondità e di substrato. È di notevole importanza l'ordine, la tipologia e la sintassi dei dati in quanto devono rispettare vincoli molto restrittivi. Il software impedisce l'upload dei dati se questi vincoli non vengono rispettati ma allo stesso tempo fornisce una chiara spiegazione sulla natura dell'errore. Inoltre il software controlla anche la veridicità fisica del dato, per esempio se la superficie bagnata mappata decresce all'aumentare della portata.

Una gran parte del lavoro della presente tesi è stata la formattazione e correzione dei dati di input di dodici fiumi della Valle d'Aosta necessaria all'implementazione della nuova versione del software, come si parlerà nel capitolo 4. Infine, il file input di testo relativo alla serie temporale di portata, che contiene le serie storiche di riferimento e alterate, e la scelta dei modelli biologici sono gli ultimi dati di input da inserire.

3.1.2 Formato degli output

La quantità e la consistenza degli output dipende esclusivamente dai dati di input e in base a questi si esplicano differenti categorie di output.

Il software SimStream organizza gli output elaborati in sottocartelle in funzione della natura del risultato. Le tipologie di output possono essere rappresentazioni grafiche, file di testo e file vettoriali; per esempio:

- Rappresentazione grafica della curva Habitat-Portata in formato pdf con un ulteriore file txt comprendente i valori numerici della simulazione dell'utilizzo dell'habitat delle UMI;
- Rappresentazione grafica delle serie temporali di habitat, per ogni scenario altered considerato e per ogni specie;
- Rappresentazione grafica delle curve di durata continua sotto soglia, CDS;
- I file vettoriali delle mappe geo-riferite di idoneità dell'habitat (Suitability Map) con il relativo file txt;
- I file vettoriali delle mappe geo-riferite, caricate nella "Calculate Session", contenti il mosaico delle UMI del rilievo morfologico rielaborate secondo una precisa colorazione;
- Le classi statistiche in cui sono rielaborati i valori di profondità, velocità e substrato per ciascuna survey presentate in formato pdf per una miglior interpretazione della loro distribuzione.
- I modelli biologici di presenza/assenza e di presenza/abbondanza in formato shapefile e di testo.
- Indice d'Integrità dell'Habitat fluviale (IH).

4. Elaborazione e Standardizzazione del dato



Figura 24 - Inquadramento territoriale dei fiumi analizzati

Una gran parte del lavoro della presente tesi è stata l'elaborazione e la standardizzazione dei dati di dodici corsi d'acqua situati in Valle d'Aosta al fine di implementare il software SimStream per la corretta applicazione della metodologia MesoHABSIM. I corsi d'acqua interessati dalla seguente trattazione sono: Grand' Eyvia, Lys, Marmore, Saint Barthelemy, Savara, Urtier e Valgrise. Per una maggior accuratezza dell'analisi, lo studio del Lys e del Marmore è stato eseguito rispettivamente in quattro (Lys1, Lys2, Lys3 e Lys4) e in tre (Marmore1, Marmore2 e Marmore3) sotto-tratti che verranno considerati come fiumi distinti dal punto di vista dell'elaborazione dei dati, per un totale di dodici corsi d'acqua analizzati.

Come è detto, i dati di input, da inserire nel software, hanno vincoli molto restrittivi che devono essere assolutamente rispettati per ottenere output di qualità necessari allo studio degli ecosi-

stemi fluviali. I vincoli possono riguardare la formattazione del dato (geometria dei poligoni rappresentanti le UMI, sintassi e ortografia) o la coerenza fisica del dato (superficie bagnata mappata che decresce all'aumentare della portata in rilievi successivi).

Pertanto, la preparazione dei dati comprende la validazione e correzione sia dei file vettoriali contenenti le unità morfologiche sia i file di testo aventi le distribuzioni dei descrittori ambientali per ogni UMI. I dati interessati dalla correzione sono dati storici che derivano da rilievi fluviali eseguiti in campo nell'arco temporale tra il 2008 e il 2012, fatta eccezione per alcuni realizzati nel 2013 o 2014.

Ogni fiume dispone di dati relativi a tre o quattro rilievi aventi portate differenti comprendenti file di testo, di calcolo e shapefile.

La procedura attuata si può esplicitare in tre fasi che sono state realizzate per ciascun fiume:

- Riclassificazione delle UMI secondo la metodologia MesoHABSIM
- Verifica coerenza interna del dato
- Variazione habitat in linea con variazione di portata tramite l'utilizzo di SimStream

4.1 Riclassificazione delle UMI

Il primo passo nella procedura di correzione dei dati è stato la validazione della classificazione delle UMI eseguita in precedenza. A seguito di un'implementazione di un codice Matlab, che forniva un processo automatico di classificazione delle UMI in base ai loro parametri geometrici e fisici, alcune unità morfologiche sono state definite erroneamente. L'errore principale era nella classifica dell'unità Step. Lo Step è individuato come un salto (gradino) verticale o fortemente inclinato che occupa l'intera larghezza dell'alveo. Tali gradini non vengono sommersi almeno fino ad eventi di piena ordinaria e determinano accelerazione e convergenza del flusso, che comportano limitate fluttuazioni turbolente ed un pelo libero piuttosto regolare ([Manuale ISPRA 152/2016](#)).

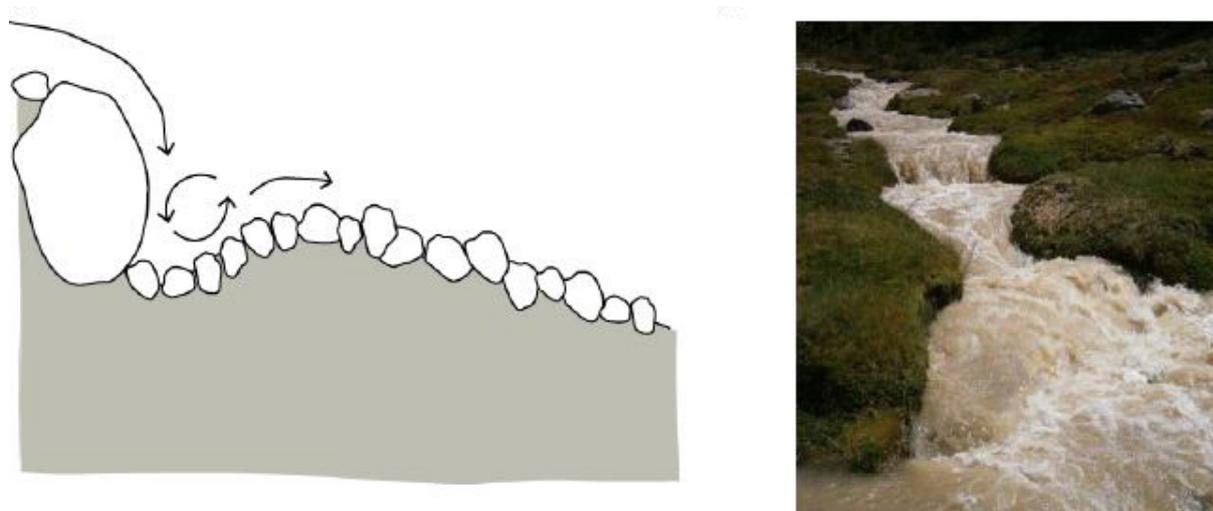


Figura 25 – Unità Step (profilo longitudinale e foto), origine Manuale ISPRA 152/2016 ([Rinaldi et al. 2016](#))

L'unità Step ha delle particolari caratteristiche geometriche. Come si può vedere nella figura 25, la sua larghezza è maggiore della sua lunghezza e la sua altezza è più piccola rispetto a una UMI classificata come Cascade.

Rispetto a una Rapid o a una Cascade presenta delle pendenze minori, la Cascade ha una organizzazione più caotica dei clasti e la Rapid presenta risalti idraulici ben formati solo per portate medio-basse poiché i clasti di maggiori dimensioni sono sommersi in condizioni di portata a piene rive. Inoltre, la forma della Step può essere assimilata a quella di un rettangolo o un quadrato. La prima fase della correzione, dunque, ha previsto l'analisi delle caratteristiche geometriche confrontando i file originali con quelli modificati erroneamente dal codice Matlab e riproponendo in caso di errore la classificazione corretta per ogni rilievo di ogni fiume. Il confronto viene eseguito considerando i seguenti attributi:

- la pendenza di ogni UMI, ricavata dalla tabella attributi del file vettoriale contenente il mosaico delle UMI per quel fiume;
- il carico idraulico, calcolato dalla differenza delle quote massime e minime della UMI;
- la lunghezza di ogni UMI, calcolata sia analiticamente che misurata tramite strumento di misura (righello) caricando il file vettoriale contenente il mosaico delle UMI per quel fiume su QGIS;
- la larghezza, anch'essa misurata su QGIS.

Al fine di realizzare una corretta ripartizione e validare la nuova classifica delle UMI, sono state prese in esame e consultate le foto scattate durante i rilievi fluviali per eseguirne un'analisi visiva.

Una volta individuato l'errore, la correzione viene eseguita puntualmente modificando tramite un codice Matlab i file Excel contenenti la descrizione delle unità morfologiche. I file Excel vengono trasformati in file di testo e quest'ultimi sovrascritti a quelli già esistenti.

```

clc
clear all

filename='lysl_tabella_testo_0.13m3s-04-12-2010.xlsx';

[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)== 13 && isequal(HMU_TYPE(i),'STEP')
        HMU_TYPE(i) = {'CASCADE'}; % modifico le variabili testo, ottenendo quelle corrette
    else
        HMU_TYPE(i)=HMU_TYPE(i);
    end
end
end

```

Figura 26 - Esempio del codice Matlab utilizzato per la modifica delle unità morfologiche per il sotto-tratto 1 del Lys

4.2 Verifica coerenza interna del dato

Il secondo passo della correzione è stata la verifica della coerenza interna dei dati dei valori di profondità, di velocità e di substrato presenti nelle UMI, aventi, in questa fase, una corretta classificazione.

La verifica è stata eseguita producendo per ogni rilievo di ogni fiume un grafico di distribuzione della frequenza relativa e cumulata dei tre parametri citati sopra. I grafici sono stati prodotti attraverso l'implementazione di un codice Matlab appositamente formulato. Come si è detto, la metodologia MesoHABSIM si avvale di determinati descrittori ambientali e ranges per caratterizzare le unità morfologiche. I valori di profondità e di velocità devono essere raggruppati in 10 classi con rispettivamente intervalli regolari di 0.15 m e 0.15 m/s mentre i valori di substrato devono essere suddivisi in 12 classi in base alla dimensione geometrica (tabella 3).

Parametro	Classi
Profondità	D_15, D15_30, D30_45, D45_60, D60_75, D75_90, D90_105, D105_120, D_120
Velocità	CV_15, CV15_30, CV30_45, CV45_60, CV60_75, CV75_90, CV90_105, CV105_120, CV_120
Substrato	GIGALITHAL (roccia), MEGALITHAL (> 40 cm), MACROLITHAL (20-40 cm), MESOLITHAL (6-20 cm), MICROLITHAL (2-6 cm), AKAL (ghiaia), PSAMMAL (sabbia), PELAL (limo, argilla), DETRITUS (materiale organico), XYLAL (detriti di legno/radici), SAPROPEL (fango anossico), PHYTAL (piante sommerse)

Figura 23 – Esempio file di testo per il Lys, Valle d'Aosta, Italia.

Prendendo in considerazione gli opportuni range per ogni parametro, si sono realizzate le distribuzioni di frequenza dei valori di profondità e di velocità tramite un grafico a punti e un grafico a gradini, mentre le distribuzioni di frequenza dei substrati tramite un grafico a barre.

Nelle ascisse dei grafici compaiono, dunque, le classi dei rispettivi parametri, mentre nelle ordinate la loro frequenza in percentuale.

La verifica della coerenza interna dei valori di profondità e velocità consiste nel controllare se la distribuzione di frequenza cumulata del rilievo avente maggior portata rispetto ad un altro “stia sotto” quest'ultimo. Se così fosse, si avrebbe coerenza interna del dato e non si deve eseguire nessuna correzione, viceversa se non è rispettata tale condizione. Infatti, fisicamente, non è possibile che un rilievo a portata maggiore abbia più valori di profondità o velocità bassi rispetto a uno a portata minore.

La verifica della coerenza interna dei valori di substrato si compone, invece, di due fasi:

- definire se le aree bagnate dalle portate dei rilievi fluviali sono confrontabili tra loro (sono simili)
- confrontare i grafici a barre rappresentanti le distribuzioni di frequenza

La prima fase è stata eseguita confrontando dalle curve Habitat-Portata, ottenute da precedenti studi, il valore d'area bagnata corrispondente alla portata dei tre rilievi fluviali del fiume analizzato. Inoltre, si può affermare che portate vicine non implicano aree bagnate simili e portate lontane non garantiscono aree bagnate non confrontabili. Questa prima fase è molto importante in quanto se l'area bagnata è simile tra due rilievi di uno stesso fiume, si può eseguire il confronto tra le distribuzioni di frequenza di substrato e passare alla fase successiva. La comparazione della seconda parte della verifica è effettuata basandosi sul seguente principio: a portate maggiori, avviene in maggior misura il fenomeno del trasporto solido (ovvero la capacità di un corso d'acqua di trasportare a valle materiali solidi). Questo fenomeno fisico si traduce nei grafici di distribuzione di frequenza relativa a una traslazione verso la parte destra del grafico riguardante i substrati di minor dimensione.

Pertanto, in questo modo il dato sarebbe reputato coerente.

Essendo i dati utilizzati, derivanti da una misura diretta in campo, si è deciso di prendere in considerazione l'eventualità di errori da parte della strumentazione adoperata e da parte degli operatori, introducendo una tolleranza del 10 % per i valori di profondità e velocità e del 20 % per i valori di substrato.

4.3 Variazione habitat in linea con variazione di portata tramite l'utilizzo di SimStream

Il terzo e ultimo passo nella correzione dei dati di input è stata la verifica della coerenza interna delle curve di Habitat-Portata prodotte in output dal software SimStream utilizzando i dati modificati nelle prime due fasi. La curva Habitat-Portata mostra la relazione esistente tra l'habitat disponibile per una determinata specie e la portata defluente e rappresenta, anche, l'andamento dell'area bagnata in alveo. Per ogni rilievo di ciascun fiume considerato, è stata prodotta la curva Habitat-Portata in uno stesso grafico, restituita in output dal software SimStream.

In questo caso, la corrispondenza consiste nell'individuare se la variazione di habitat disponibile per una stessa specie è in linea con la variazione della portata dei rilievi fluviali del fiume analizzato. Questo significa che l'andamento della curva Habitat-Portata deve essere monotono crescente o monotono decrescente all'aumentare della portata.

Si è proceduto sequenzialmente come riportato di seguito per ogni fiume:

- Inserimento dati di input nel software SimStream
- Selezione degli output necessari: Hydro-morphological unit data, Suitability Map, Biological Model results e Habitat-flow rating curve
- Download degli output
- Analisi visiva della curva Habitat-Portata e individuazione dell'errore
- Correzione dell'errore

L'andamento anomalo della curva può presentarsi per uno o più rilievi e per più specie. Per comprendere la motivazione del trend inconsueto della curva, bisogna consultare simultaneamente le Suitability Map e i Biological Model results dei rilievi interessati nella sezione degli output.

Le Suitability Map mostrano la quantità di habitat disponibile per una determinata specie o stadio vitale in funzione della portata transitante e si esplicano in un file vettoriale comprendente il mosaico delle unità morfologiche in colorazione semaforica a seconda della relativa disponibi-

lità di habitat (verde Optimal, giallo Suitable e rosso Not-Suitable). I Biological Model results, invece, ci indicano la probabilità di assenza, presenza e abbondanza della specie target in base alle distribuzioni dei parametri ambientali presenti per ogni unità morfologica. Un'unità morfologica classificata "Not-Suitable" si identifica con una probabilità di presenza, secondo i modelli biologici, minore del 0.5. Questo significa che quella specie o stadio vitale non è in grado di utilizzare quella porzione di corso d'acqua per il suo sviluppo e crescita. La UMI "Suitable" è caratterizzata da una probabilità di presenza maggiore di 0.5, che rappresenta la possibilità di vita per quella specie o stadio vitale, e invece, la UMI "Optimal" è contraddistinta da una probabilità di abbondanza maggiore di 0.5 denotante una capacità di mantenimento della specie. Pertanto la correzione è stata eseguita aumentando o diminuendo l'habitat disponibile di un rilievo inesatto, a seconda del tipo di errore nell'andamento della curva, modificando i valori dei descrittori ambientali all'interno delle UMI dello stesso e di conseguenza variando la classificazione delle UMI nelle Suitability Map. Le possibili modifiche per aumentare o diminuire l'habitat disponibile sono in funzione della specie o stadio vitale. Infatti, la variazione dei descrittori ambientali è in funzione dei valori di profondità, velocità e di substrato preferiti dalla specie o stadio vitale analizzato riportati nei modelli biologici di presenza o di abbondanza. Se si vuole trasformare una UMI da "Suitable" a "Optimal" o viceversa, si deve analizzare il modello biologico dell'abbondanza di quella specie, mentre se si vuole trasformare una UMI da "Not-Suitable" a "Suitable" o viceversa, si deve consultare il modello biologico della presenza sempre di quella specie. Le specie adulte prediligono un habitat "Optimal" o "Suitable" a elevate portate, mentre le specie giovani a basse portate a causa del loro incompleto sviluppo. Inoltre, le modifiche devono interessare le UMI con area maggiore e devono essere eseguite secondo un senso logico considerando la portata del rilievo che si deve correggere (minore, media o maggiore); per esempio una UMI classificata "Optimal" per il rilievo a portata maggiore contenente l'errore, non può essere trasformata in "Suitable" per diminuire l'habitat disponibile se la stessa UMI è classificata "Optimal" anche nel rilievo a media portata. Questo perché, come è detto, l'area bagnata cresce al crescere della portata, quindi cresce anche la quantità di habitat disponibile e di conseguenza se l'habitat era ottimale a una portata media dovrebbe esserlo anche a una portata maggiore (fatta eccezione se la portata media e maggiore non si distaccano di svariati metri cubi al secondo). Nella tabella 4 sono riportati alcuni esempi di utilizzo dell'Habitat disponibile di tre rilievi a portate crescenti per una specie nel suo stadio adulto e giovane considerati corretti.

Rilievo	Portata minore	Portata media	Portata maggiore
Adulto	Not Suitable	Suitable	Optimal
	Suitable	Optimal	Optimal
Giovane	Optimal	Optimal	Not Suitable
	Optimal	Suitable	Not Suitable

Tabella 4 – Esempi corretti di utilizzo di habitat disponibile per una generica specie

Modificati i valori dei parametri ambientali coerentemente ai modelli biologici per aumentare o diminuire l'habitat disponibile al fine di eliminare l'errore, si ricaricano sul software SimStream i file aventi i valori corretti e si riproduce la curva Habitat-Portata.

Di seguito, verrà mostrato un caso della correzione dei dati appena esposta applicata a un fiume.

4.3.1 Esempio applicazione dell'elaborazione dei dati per il sottotratto 1 del torrente Lys

Il Lys è un torrente della Valle d'Aosta ed è un affluente in sinistra idrografica della Dora Baltea. Nasce dal Monte Rosa ed è sfruttato per produrre energia idroelettrica da due centrali poste rispettivamente nel comune di Grand Praz e nel comune di Gaby.

La sua analisi è stata divisa in quattro sotto-tratti Lys1, Lys2, Lys3 e Lys4, ciascuno avente tre rilievi fluviali. In questo sotto-capitolo verrà esposta la correzione dei dati appartenenti al sotto-tratto Lys1.

I dati storici idro-morfologici sono relativi a tre rilievi fluviali aventi portate rispettivamente di 0.13 m³/s, 0.22 m³/s e 0.694 m³/s. È molto importante sottolineare come dei dati storici, raccolti prima dell'applicazione della metodologia MesoHABSIM, sono utilizzabili ai fini della stessa.

Q = 130 l/s		Q = 220 l/s		Q = 694 l/s	
HMU_NUM	HMU_TYPE	HMU_NUM	HMU_TYPE	HMU_NUM	HMU_TYPE
1	RIFFLE	1	RIFFLE	1	RAPID
2	RAPID	2	RIFFLE	2	CASCADE
3	RAPID	3	GLIDE	3	RIFFLE
4	RIFFLE	4	RAPID	4	RAPID
5	POOL	5	POOL	5	RIFFLE
6	POOL	6	POOL	6	RAPID
7	RAPID	7	RIFFLE	7	RIFFLE
8	RIFFLE	8	GLIDE	8	POOL
9	POOL	9	POOL	9	GLIDE
10	RIFFLE	10	GLIDE	10	GLIDE
11	POOL	11	POOL	11	POOL
12	GLIDE	12	CASCADE	12	RAPID
13	CASCADE	13	RAPID	13	POOL
14	POOL			14	CASCADE
15	POOL			15	RAPID
16	RAPID				

Figura 27 – Numero identificativo e tipologia di unità per ogni rilievo del Lys1

Come spiegato in precedenza, la prima fase riguarda la verifica della classificazione delle unità morfologiche. Essa è stata eseguita per ogni UMI di ogni rilievo del sottotratto confrontando i dati originali con quelli modificati erroneamente dal codice Matlab. Nel caso del Lys1 sono state classificate scorrettamente dal codice un'unità per il primo e per il secondo rilievo e due per il terzo (vedi fig. 28)

Lys 1										
1	Data				04/12/2010					
	Portata [l/s]				130					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
13	Step pools	13	Step	-1.366	0.055	24.8	24.7	7.6	Cascade	
2	Data				26/11/2011					
	Portata [l/s]				220					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
12	Step pool	12	Step	-1.19	0.048	24.8	25	10.3	Cascade	
3	Data				16/05/2012					
	Portata [l/s]				694					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
14	Step pool	14	Step	-0.589	0.037	15.9	15	10.3	Cascade	
2	Step pool	2	Step	-0.283	0.026	10.9	11.3	5.5	Cascade	

Figura 28 – Riclassificazione unità per i tre rilievi del Lys1

Come si vede dalla figura 28, in tutti e tre i casi l'unità Step-pool del file originale è stata modificata in unità Step dal codice. Si può affermare con certezza che le unità in questione hanno una lunghezza maggiore della larghezza perciò non potranno mai essere delle unità Step. Per la correzione di queste incongruenze, sono stati calcolati il carico idraulico e la lunghezza. Il carico idraulico è stato ricavato per differenza tra la quota massima e minima delle unità e la lunghezza dividendo in valore assoluto il carico idraulico con la pendenza. Al fine di verificare se il calcolo è stato eseguito correttamente si è misurata la lunghezza delle unità direttamente dal file vettoriale su QGIS.

A seguito di un'attenta analisi dei parametri geometrici e delle foto, si è stimato che il profilo di queste unità corrispondeva a quello dell'unità Cascade, descritto nel [Manuale 154/2016](#) di ISPRA. L'unità Cascade si differenzia, infatti, dall'unità Step per la sua lunghezza (maggiore della larghezza) e per la sua larghezza (non occupa tutto l'alveo).

La seconda fase comprende la correzione dei grafici delle distribuzioni di frequenza ottenuti dall'implementazione di un codice Matlab appositamente ideato. Di seguito viene riportato il codice per la creazione dei grafici di distribuzione di frequenza di profondità, velocità e substrato per il primo rilievo del Lys1:

```
%% Q=0.13 m3/s
```

```
[Num, TYPE, Pntinum, depth, velocity, substrate]=textread('C:\Users\MariaGabriella\Desktop\UNIVERSITA\POLITO\2 ANNO 2 semestre\tesi GABY\tesi Erika - Copia\CVA_GIOVANNI modificate - Copia\input\Lys 1\lys1_tabella_testo_0.13m3s-04-12-2010.txt', '%f%s %f %f %f %s', 'headerlines', 1);
```

```
m=[Num, depth, velocity];
```

```
s=[substrate];
```

```
%Profondità
```

```
edges_depth=[0:0.15:1.20 2];
```

```
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;
end
freq_cum_depth=cumsum(freq_rel_depth);
%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 2];
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_vel=length(m(:,3));
for j=1:length(n_vel)
    freq_rel_vel(j)=n_vel(j)./dim_vel;
end
freq_cum_vel=cumsum(freq_rel_vel);
%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);
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 * 100.0;
CumulativePercentOfText = cumsum(PercentOfText); %frequenza cumulata.

```

La correzione dei descrittori ambientali per il Lys1 si è incentrata sui valori della profondità per il secondo rilievo di portata 0.22 m³/s. Il grafico delle distribuzioni di frequenza cumulata a gradini della profondità prima della correzione è rappresentato nella figura 29.

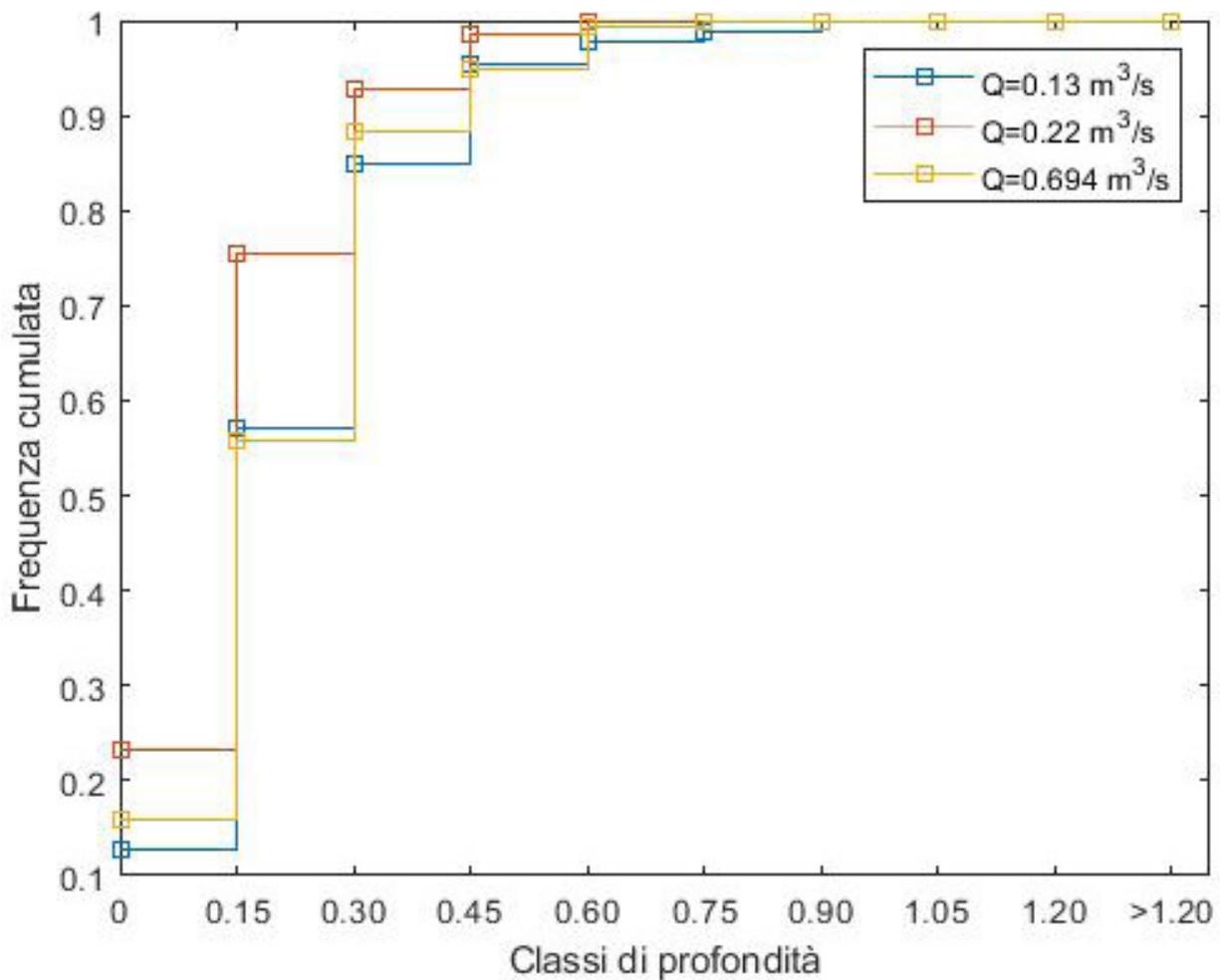


Figura 29 - Distribuzioni di frequenza cumulata delle profondità del Lys1

Le tre distribuzioni di frequenza, per essere reputate coerenti fisicamente, dovrebbero essere dall'alto verso il basso: blu, rosso e giallo, ovvero la più alta di tutte dovrebbe essere la curva blu di portata minore, poi a seguire la rossa e la gialla di portate maggiori (Cap. 4.2). Dalla Figura 29 si evince che per le classi 0-0.15 m e 0.15-0.30 m, il dato non è coerente fisicamente, pertanto è stato soggetto a correzione. La curva blu a portata minore è scelta come curva di riferimento.

La correzione è stata realizzata puntualmente tramite un codice Matlab, appositamente elaborato, che utilizza un ciclo for per individuare un punto di misurazione di una UMI e cambiare il suo valore di profondità. Di seguito riportato a titolo di esempio per un valore di profondità modificato per il secondo rilievo:

```

HMU_NUM1 = num1(:,1);
HMU_TYPE1 = txt1(2:end,2);
PNTNUM1 = num1(:,3);
DEPTH1 = num1(:,4);
VELOCITY1 = num1(:,5);
SUBSTRATE1 = txt1(2:end,6);

for i=1:length(HMU_NUM1)
    if HMU_NUM1(i)== 2 && PNTNUM1(i)== 7
        DEPTH1(i)=0.16;
    else
        DEPTH1(i)=DEPTH1(i);
    end
end
end

```

I dati da modificare per raddrizzare la curva sono scelti secondo regole ben definite. La regola principale è quella di trasformare i valori delle UMI che hanno un numero maggiore o uguale a sette punti di misurazione. Infatti, la probabilità di un errore di misura su una UMI che comprende molti punti di misurazione è maggiore rispetto a una che ne ha di meno, quindi si ha più possibilità di cambiare il valore di un dato inesatto. Un'altra caratteristica per la scelta delle UMI, è se sono sovrapponibili per due rilievi (quello da modificare e uno di riferimento). Consultando il file vettoriale di input contenente il mosaico della distribuzione delle unità morfologiche per i rilievi scelti del fiume, si è eseguito un confronto visivo a livello geometrico e logico sulle UMI aventi un numero maggiore di sette punti: se queste risultavano sovrapponibili tra i rilievi, venivano definite modificabili. Per ogni UMI modificabile, si è elaborato un grafico a barre rappresentante la distribuzione di frequenza per ciascun parametro per i due rilievi a confronto e dall'analisi di quest'ultimi si decide la correzione da operare.

Questo confronto, però, non è possibile effettuarlo per tutti i fiumi in quanto nonostante le UMI fossero modificabili, non vi era corrispondenza tra gli istogrammi prodotti dei due rilievi oppure le UMI individuate erano troppo poche per determinare la correzione da eseguire (come nel Lys1). Infatti, questo tipo di discussione è stata attuata solo per i sotto-tratti del Marmore2 e Marmore3 (si rimanda la trattazione nell'appendice).

Una volta individuate le UMI modificabili o le UMI aventi sette o più punti di misurazione, i parametri venivano modificati in base al range dei valori delle classi nel quale si trovava l'errore della curva cercando di rimanere il più possibile fedeli al valore misurato.

Nel Lys1, la modifica venne eseguita sui valori di profondità del rilievo a portata 0.22 m³/s per le UMI 2 e 12, aventi rispettivamente otto e dieci punti di misurazione (vedi Fig. 31).

Lys 1				
Profondità				UMI modificabili
Riferimento		Modifica		
Portata	0.13	Portata	0.22	
Data	04/12/2010	Data	26/11/2011	
N.UMI	Tipo UMI	N.UMI	Tipo UMI	
16	Rapid	13	Rapid	
13	Cascade	12	Cascade	si
11	Pool	11	Pool	
12	Glide	10	Glide	
9	Pool	9	Pool	
6	Pool	5	Pool	
5	Pool	6	Pool	
1	Riffle	1	Riffle	

Figura 30 - Unità morfologiche modificabili del Lys1 (portata in m³/s)

ORIGINALI				MODIFICATI			
HMU_NUM	HMU_TYPE	PNTNUM	DEPTH	HMU_NUM	HMU_TYPE	PNTNUM	DEPTH
2	RIFFLE	1	0.1	2	RIFFLE	1	0.16
2	RIFFLE	2	0.1	2	RIFFLE	2	0.16
2	RIFFLE	3	0.1	2	RIFFLE	3	0.16
2	RIFFLE	4	0.3	2	RIFFLE	4	0.31
2	RIFFLE	5	0.25	2	RIFFLE	5	0.31
2	RIFFLE	6	0.05	2	RIFFLE	6	0.05
2	RIFFLE	7	0.15	2	RIFFLE	7	0.16
2	RIFFLE	8	0.34	2	RIFFLE	8	0.34
12	CASCADE	1	0.65	12	CASCADE	1	0.65
12	CASCADE	2	0.3	12	CASCADE	2	0.31
12	CASCADE	3	0.2	12	CASCADE	3	0.2
12	CASCADE	4	0.35	12	CASCADE	4	0.35
12	CASCADE	5	0.25	12	CASCADE	5	0.31
12	CASCADE	6	0.25	12	CASCADE	6	0.31
12	CASCADE	7	0.2	12	CASCADE	7	0.31
12	CASCADE	8	0.2	12	CASCADE	8	0.31
12	CASCADE	9	0.25	12	CASCADE	9	0.31
12	CASCADE	10	0.15	12	CASCADE	10	0.16

Figura 31 - Dati di profondità del Lys 1 modificati (in giallo)

I dati sono stati variati profondamente per alcuni punti di misurazione e leggermente per altri. Per esempio il valore della profondità del punto 10 dell'unità 12 è stato modificato solo di un centimetro, da 0.15 m a 0.16 m, mentre il valore del punto 7 dell'unità 12 di undici centimetri, da 0.20 m a 0.31 m. A seguito di queste variazioni il grafico risultante è corretto e riportato nella figura 27. In realtà, nella seconda classe comprendente i valori tra 0.15 e 0.30 m di profondità, la percentuale di distacco della frequenza tra la portata 0.13 m³/s e 0.22 m³/s è del 11%, ma è considerata trascurabile a fronte dell'entità dell'errore e della vicinanza con la soglia di tolleranza (10 %).

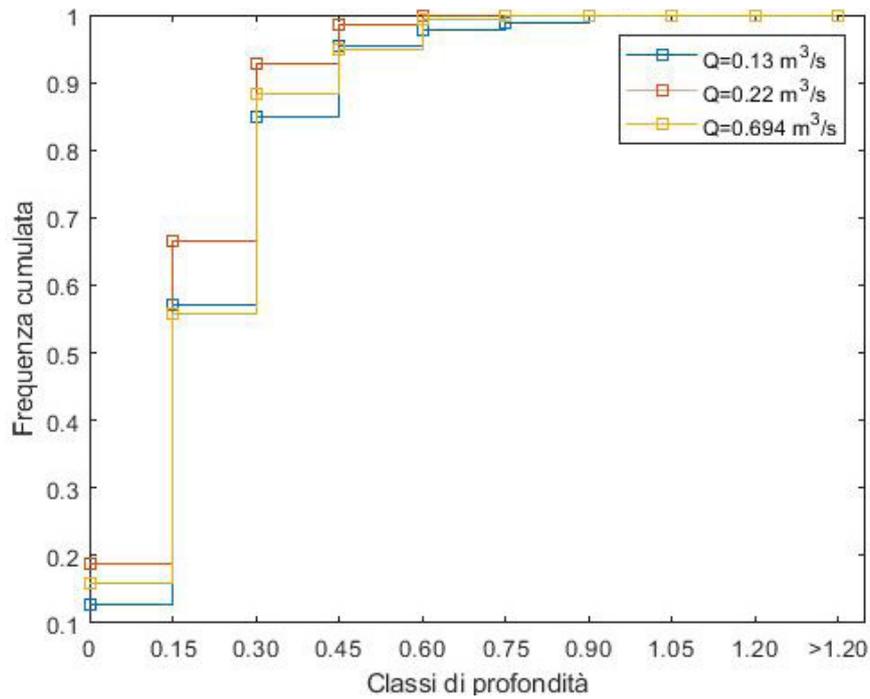


Figura 32 - Grafico corretto della frequenza cumulata del Lys1

Per completezza vengono proposti i grafici delle distribuzioni di frequenza di velocità e substrato, non soggetti a correzione in quanto coerenti fisicamente.

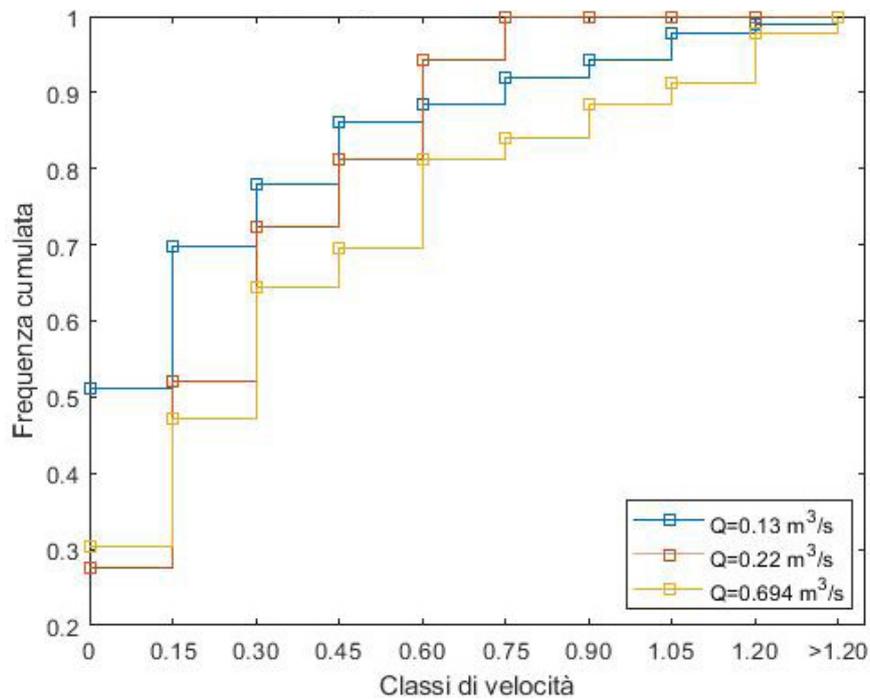


Figura 33 - Grafico delle distribuzioni di velocità del Lys1

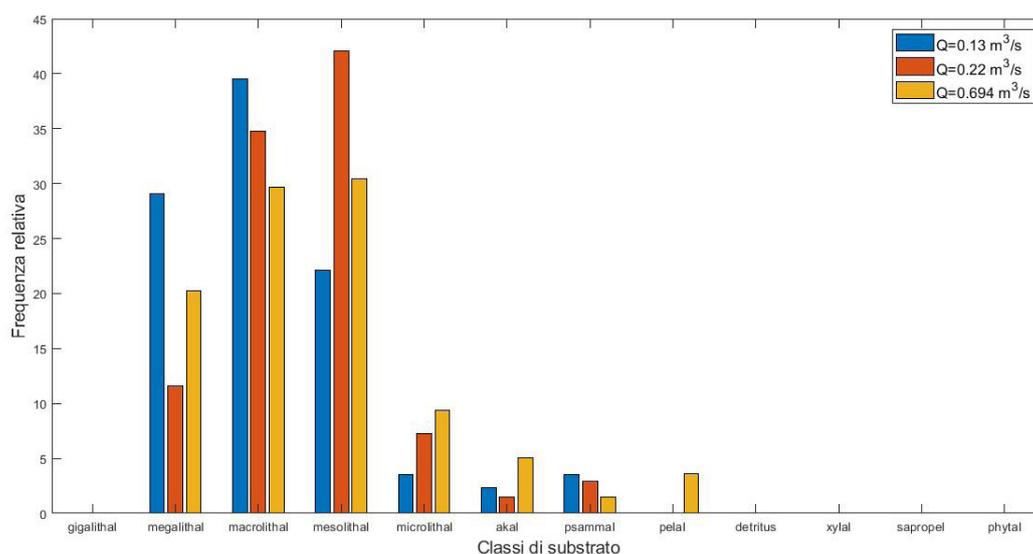


Figura 34 – Frequenza relativa delle distribuzioni di substrato del Lys1

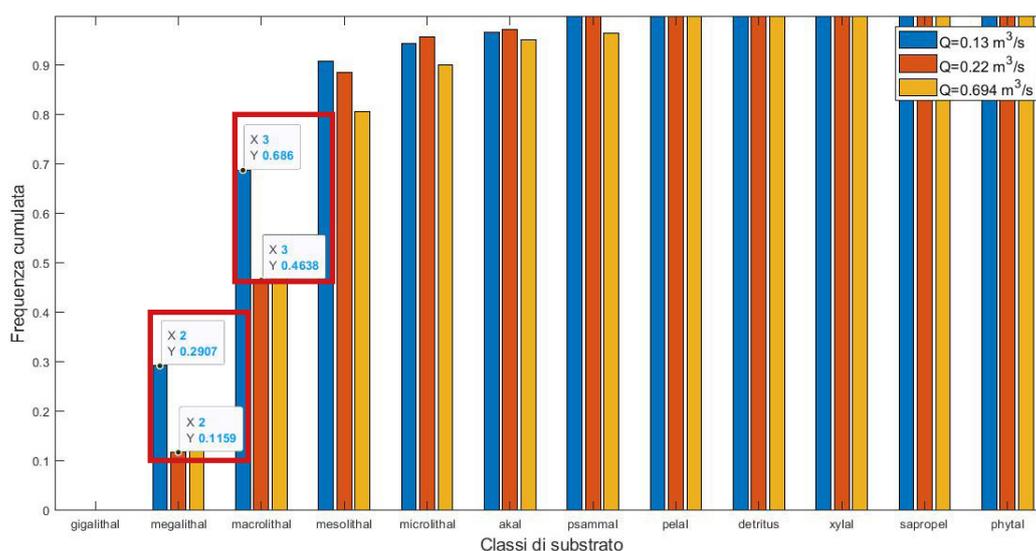


Figura 35 - Frequenza cumulata delle distribuzioni di substrato del Lys1

In figura 35, i rettangoli in rosso della figura 30 mostrano il distacco in % della frequenza tra il rilievo di portata 0.13 m³/s e di 0.22 m³/s per le classi Megalithal e Macrolithal maggiore della soglia di tolleranza fissata pari al 20%. Essi sono comunque considerati corretti poiché in seguito al confronto delle aree bagnate dei due rilievi dalla curva di Habitat-Portata ottenuta da precedenti studi, si evince che non sono confrontabili. Come indicato dalle frecce blu nella figura 36, l'area bagnata dalla portata 0.13 m³/s è pari a 61% mentre quella bagnata dalla portata 0.22 m³/s è pari a 80%.

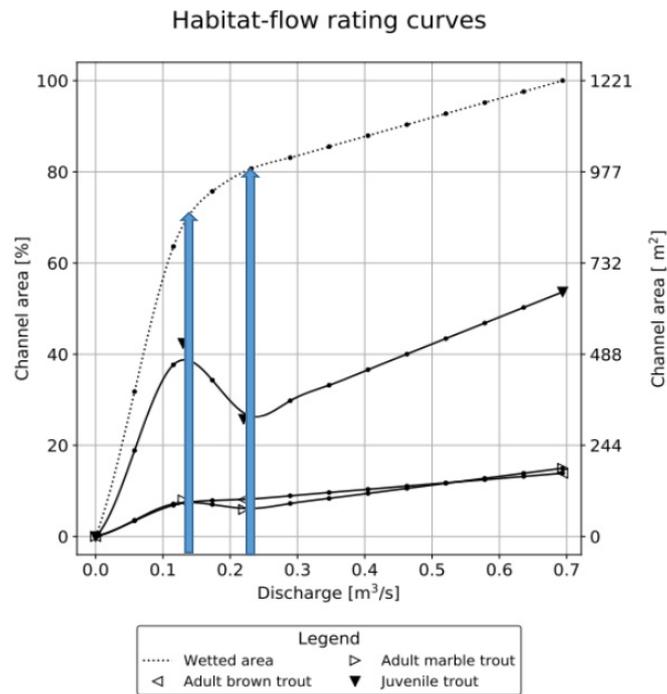


Figura 36 - Curva Habitat-Portata del Lys 1

L'ultima e terza fase della correzione dei dati è la verifica della coerenza interna delle curve di Habitat-Portata prodotte in output dal software SimStream utilizzando i dati modificati nelle prime due fasi.

Come spiegato nel capitolo 3, si inseriscono i dati all'interno del software SimStream, versione 1.1.1, e si scelgono gli output che si vogliono analizzare. La curva di Habitat-Portata così ottenuta per i tre rilievi fluviali del Lys1 è rappresentata in figura 37.

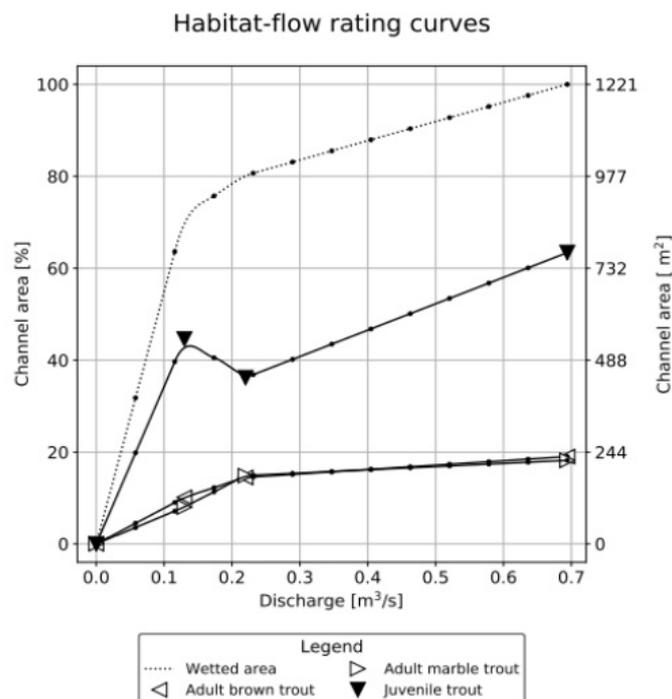


Figura 37 - Curva Habitat-Portata ottenuta dai nuovi dati dei rilievi del Lys1 tramite utilizzo software SimStream, versione 1.1.1

L'errore principale è nella curva Habitat-Portata del rilievo a portata 0.22 m³/s per lo stadio giovane (Juvenile trout). Infatti, la curva non mostra un andamento monotono crescente e alla portata 0.22 m³/s è presente un flesso. L'indagine dell'anomalo trend della curva è iniziata esaminando le Map Suitability e i Biological Model results, ottenuti in output dal software, come indicato nel capitolo 4.3. Di seguito, sono riportate tre immagini relative alle Map Suitability del sotto-tratto Lys1 per lo stadio giovane alle tre portate di deflusso, rispettivamente 0.13, 0.22 e 0.694 m³/s.

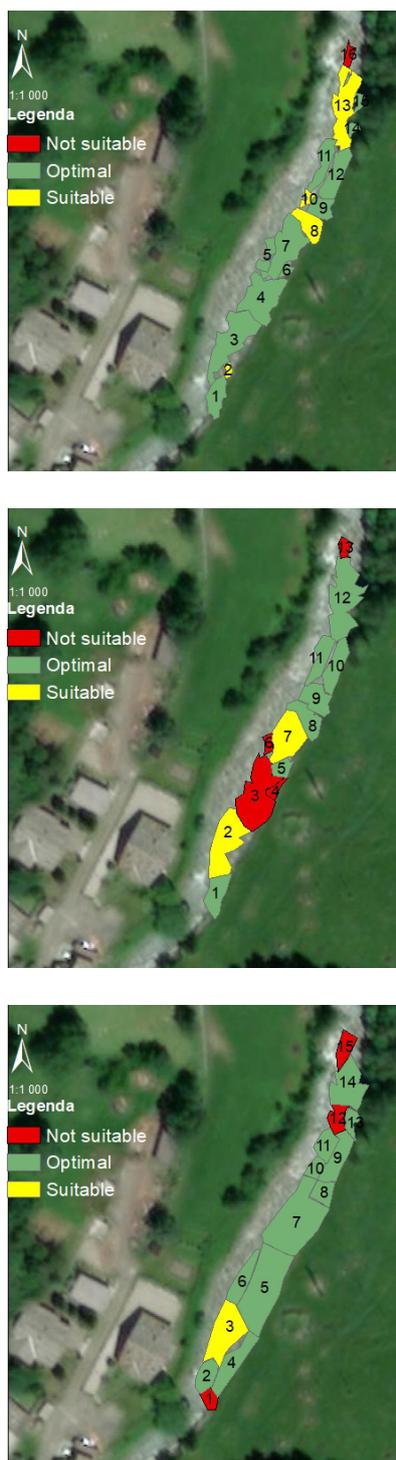


Figura 38 - Suitability Map del Lys1 per lo stadio giovane alle tre portate

La modifica da eseguire è aumentare l'habitat disponibile per la portata 0.22 m³/s in modo da annullare il flesso corrispondente. Per farlo, bisogna individuare le UMI del secondo rilievo aventi un'area grande e un utilizzo anomalo dell'habitat. Le UMI individuate sono l'unità 2 e l'unità 7 classificate entrambe come Riffle.

L'unità 2 è classificata per i tre rilievi in ordine crescente, Optimal, Suitable, Suitable, mentre l'unità 7 Optimal, Suitable, Optimal. A questo punto, si modificano i parametri delle UMI scelte del secondo rilievo per cambiarne la classificazione da Suitable a Optimal consultando i modelli biologici dell'abbondanza dello stadio giovane (Fig.39).

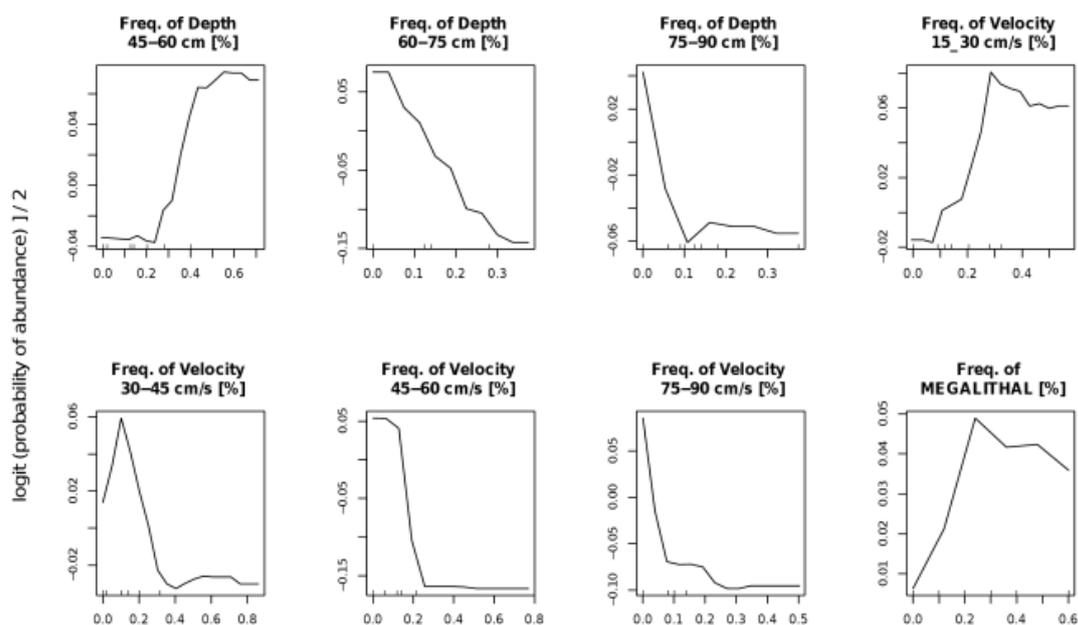


Figura 39 - Modello biologico dell'abbondanza per la trota marmorata giovane

I parametri preferiti dalla juvenile trout per il suo mantenimento sono la classe di profondità compresa tra 0.45 e 0.60 m, la classe di velocità tra 0.15 e 0.30 m/s e il substrato di tipologia Megalithal, come si vede dagli andamenti delle frequenze riportati nella figura 39.

Le modifiche sono state eseguite modificando i valori in base ai parametri preferiti dello stadio giovane e consultando la tabella degli attributi del modello biologico dell'abbondanza. Esse sono state apportate manualmente nei file Excel di input che sono stati risalvati in file di testo e ricaricati nel software SimStream per verificare la correzione dell'andamento della curva. Le modifiche hanno interessato solo i valori di profondità e di velocità delle due unità, riportate in giallo nella figura 40.

Lys 1						
Q = 0.22 m ³ /s						
UMI	PRE			POST		
	Depth	Velocity	Substrate	Depth	Velocity	Substrate
2	0.16	0.2	MESOLITHAL	0.5	0.1	MESOLITHAL
	0.16	0.4	MESOLITHAL	0.45	0.1	MESOLITHAL
	0.16	0.7	MACROLITHAL	0.3	0.2	MACROLITHAL
	0.31	0.6	MEGALITHAL	0.45	0.2	MEGALITHAL
	0.31	0.8	MACROLITHAL	0.2	0.3	MACROLITHAL
	0.05	0.3	MESOLITHAL	0.2	0.34	MESOLITHAL
	0.16	0.5	MESOLITHAL	0.16	0.1	MESOLITHAL
	0.34	0.2	MACROLITHAL	0.5	0.2	MACROLITHAL
7	0.1	0.2	MICROLITHAL	0.5	0.1	MICROLITHAL
	0.2	0.4	MESOLITHAL	0.45	0.1	MESOLITHAL
	0.15	0.8	MICROLITHAL	0.3	0.2	MICROLITHAL
	0.3	0.5	MESOLITHAL	0.45	0.2	MESOLITHAL
	0.15	0.2	MICROLITHAL	0.2	0.3	MICROLITHAL

Figura 40 - Modifiche apportate ai valori di profondità e di velocità delle due unità

Così facendo le unità 2 e 7 sono state riclassificate in “Optimal” come utilizzo di habitat disponibile per la specie target, infatti la tabella attributi del modello di abbondanza mostra una probabilità di abbondanza maggiore di 0.5.

HMU_NUM	HMU_TYPE	PROB
1	1 RIFFLE	0.692
2	2 RIFFLE	0.722
3	3 GLIDE	0.602
4	4 RAPID	0.802
5	5 POOL	0.798
6	6 POOL	0.610
7	7 RIFFLE	0.646
8	8 GLIDE	0.844
9	9 POOL	0.572
10	10 GLIDE	0.763
11	11 POOL	0.737
12	12 CASCADE	0.572
13	13 RAPID	0.224

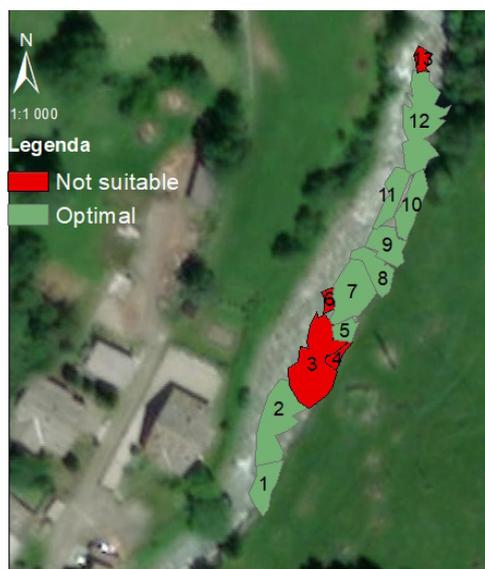


Figura 41 - Tabella del modello biologico dell'abbondanza e Suitability Map del Lys1 dopo la correzione della curva Habitat-Portata

La curva Habitat-Portata è così corretta presentando un andamento monotono crescente come in figura 42.

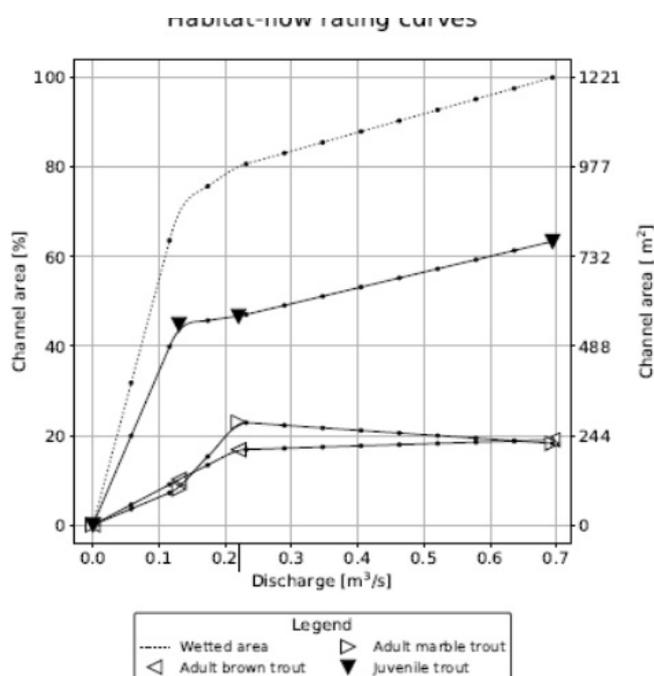


Figura 42 - curva Habitat-Portata corretta per il Lys 1

Infine, si è verificato che le correzioni apportate per la curva Habitat-Portata non abbiano danneggiato i grafici delle distribuzioni di frequenza dei parametri di profondità, velocità e substrato.

5. Caso Studio del Saint Barthelemy

Il calcolo dell'indice d'integrità d'habitat fluviale IH, attraverso l'applicazione della metodologia MesoHABSIM tramite il software SimStream, è esposto per il caso studio del fiume Saint Barthelemy. Attraverso l'utilizzo dei dati idro-morfologici corretti e dei dati idrometrici storici è possibile proporre a titolo di esempio un'applicazione completa della metodologia MesoHABSIM. La simulazione comprende il calcolo dell'indice d'integrità d'habitat fluviale e la creazione di nuovi scenari idro-morfologici per individuare l'impatto ambientale esistente nel fiume Saint Barthelemy. Il Saint Barthelemy è un affluente di sinistra della Dora Baltea, situato nella parte centrale della Valle d'Aosta. Il torrente nasce dal lago Lusency a 2575 m di altezza e finisce il suo percorso gettandosi nella Dora Baltea poco ad est del capoluogo comunale Nus, Aosta. L'indice d'Integrità d'Habitat fluviale permette di valutare la variabilità spazio-temporale degli habitat delle specie acquatiche in condizioni attuali e future e associare un indicatore numerico per la gestione ambientale dei corsi d'acqua. Il torrente Saint Barthelemy è, infatti, sfruttato per produrre energia dall'impianto idroelettrico situato in località Nus (AO) ed è soggetto a un prelievo annuale di acqua per scopi irrigui dal consorzio Crepellaz. Il calcolo dell'indice IH è stato necessario, pertanto, al fine di analizzare le variazioni spazio-temporali di habitat delle specie trota fario e trota marmorata nel loro stadio adulto e giovane, a causa delle pressioni antropiche presenti. Le variazioni sono state studiate per differenti condizioni idro-morfologiche definite da diverse quantità di rilascio del DMV a valle dell'opera di derivazione idrica situata sul torrente.



Figura 43 - il torrente Saint Barthelemy

I dati idro-morfologici del Saint Barthelemy sono stati acquisiti in campo mediante tre rilievi fluviali riferiti alle portate 0.07, 0.188 e 0.98 m³/s mentre i dati idrometrici storici sono relativi alla stazione idrometrica dell'impianto Nus, posta in località Petit Fenis a valle della confluenza di due affluenti, il torrente Deche e il torrente Comba Chaleby. Infatti, la stazione idrometrica raccoglie le acque di tre bacini di deflusso: il bacino del Saint Barthelemy, il bacino del Deche e il bacino dello Comba Chaleby (vedi figura 44). In ognuno dei fiumi è posta un'opera di presa, quella principale nel Saint Barthelemy e quelle sussidiarie negli affluenti, costituendo così l'impianto idroelettrico di Nus. L'applicazione della metodologia è stata eseguita seguendo dettagliatamente le indicazioni del [Manuale ISPRA 154/2017](#).



Figura 44 - L'impianto idroelettrico di Nus

5.1 La centrale idroelettrica di Nus

L'impianto idroelettrico di Nus utilizza, per la produzione di energia idroelettrica, le acque del vallone del Saint Barthelemy, captate in quota da tre opere di presa situate sui torrenti Saint Barthelemy, Chaleby e Comba Deche. La potenza idrica viene convogliata tramite un canale lungo 4 km al bacino artificiale Torre in località Nus con un salto di concessione di 642 m e una portata di concessione di 1.4 m³/s. La centrale di Nus è stata costruita nel 1951 ma nel 2012 è stata sottoposta a un intervento che ha permesso l'installazione di un nuovo gruppo idroelettrico, dotato di una turbina Pelton, capace di erogare 7.5 MW di potenza. L'impianto non è dotato di una stazione elettrica e di un trasformatore ma si appoggia per queste funzioni al vicino impianto di Quart che è collegato con la rete nazionale a 220 kV. Durante il periodo estivo, l'impianto ha una produzione di energia idroelettrica notevolmente ridotta in quanto attraverso una condotta forzata di derivazione viene eseguito un prelievo di acqua a scopo irriguo dal consorzio Crepellaz, nel periodo dal 1 Aprile al 30 Settembre.

Il bacino imbrifero sotteso dall'intero impianto ha un'estensione di circa 69 km² e ha una capacità di 18.000 m³. Esso comprende i tre bacini imbriferi dei tre torrenti sottesi da tre opere di derivazione idrica, una principale e due sussidiarie.

L'opera di presa principale è posta sul torrente St. Barthélemy e sottende un bacino imbrifero di estensione di circa 42 km², posto a un'altitudine media di 2226 m s.l.m. L'opera è costituita da uno sfioratore in calcestruzzo e uno scarico di fondo. La presa è situata in destra orografica ed è costituita da una bocca dotata di griglia. Le acque vengono immesse in un canale modulatore-sghiaiatore dotato di sfioratore laterale al termine del quale è presente una paratoia per il rilascio del deflusso minimo vitale (DMV), (Figura 45). La quantità di DMV che rilascia è pari a 80 l/s, valore garantito dalla regolazione della paratoia avente aperture dell'ordine del cm che comportano in media un deflusso di 81 l/s nel periodo invernale (settembre-marzo) e di 90 l/s nel periodo estivo (aprile-agosto).



Figura 44 - L'impianto idroelettrico di Nus

Le altre due opere di presa sono a trappola e sono situate rispettivamente nel torrente Chaleby e nel torrente Dèche. L'opera di presa sussidiaria sul torrente Chaleby sottende un bacino imbrifero di estensione pari a circa 14 km², posto a un'altitudine media di 2203 m s.l.m.

L'opera di presa è composta da una traversa in muratura dotata di griglia piana sub-orizzontale e da una vasca dissabbiatrice, alimentata dalla portata derivata, al termine della quale viene immessa nel canale derivatore in arrivo dall'opera di presa sul St. Barthélemy. In questo caso non è previsto rilascio di DMV a valle dell'opera. L'opera di presa sussidiaria sul torrente Comba Déche sottende, invece, un bacino imbrifero di estensione di circa 14 km², posto a un'altitudine media di 2157,4 m s.l.m. L'opera di presa è anch'essa caratterizzata da una traversa in muratura e da una vasca dissabbiatrice, alimentata dalla portata derivata che, anche qui, viene immessa nel canale derivatore in arrivo dall'opera di presa sullo Chaleby. Anche in questo caso non è previsto rilascio di DMV a valle dell'opera di presa.

Inoltre, il consorzio Crépellaz ha effettuato un prelievo, tramite la condotta forzata, a fini irrigui pari a 140 l/s nel periodo compreso tra il 1° aprile e il 30 settembre dal 2013 al 2018, mentre nel 2019 e nel 2020 il prelievo è stato rispettivamente pari a 144 l/s e 138 l/s. Il prelievo del consorzio è riconosciuto come un diritto storico ed ha priorità rispetto alla produzione idroelettrica. Pertanto, nel caso in cui si verificasse una situazione di ridotta disponibilità idrica, al fine di garantire la portata necessaria al consorzio, viene attuato il fermo impianto. Questa situazione si verifica principalmente nel periodo estivo in quanto la risorsa idrica risulta essere limitata a

causa degli ingenti ulteriori prelievi lungo l'asta del St. Barthélemy a monte dell'opera di presa. Inoltre se la disponibilità idrica fosse così limitata tale per cui anche con il fermo impianto non si riuscisse a fornire la quantità di acqua richiesta dal consorzio, su segnalazione della regione autonoma della Valle d'Aosta (RAVA), viene ridotto il DMV.

5.2 Calcolo dell'Indice d'Integrità d'Habitat fluviale

Il calcolo dell'indice di Integrità d'Habitat fluviale deriva dall'analisi delle variazioni spatio-temporali di habitat disponibile per le specie target. I dati idro-morfologici corretti, relativi ai tre rilievi idro-morfologici, sono stati utilizzati per quantificare la variabilità spaziale di habitat all'interno del fiume Saint Barthelemy mentre i dati idrometrici storici, raccolti dalla stazione idrometrica e forniti dalla Compagnia Valdostana delle Acque, sono stati usati per definire la variabilità temporale di habitat tramite le serie temporali di portata in alveo. In primo luogo, si è proceduto alla correzione dei dati idro-morfologici per il Saint Barthelemy al fine di inserirli correttamente nel software SimStream, come spiegato per il sottotratto 1 del fiume Lys nel capitolo 4. I dati del Saint Barthelemy sono riferiti alle misurazioni effettuate in tre rilievi fluviali aventi portata di deflusso pari a 0.07, 0.188, 0.98 m³/s. Dai dati idro-morfologici, si ricavano i grafici di distribuzione di frequenza cumulata della profondità, della velocità e del substrato, che a seguito di un'attenta analisi, sono risultati corretti e privi di incoerenza fisica. La classificazione delle unità morfologiche (UMI) e la curva Habitat-Portata presentavano, invece, delle incongruenze e sono stati sottoposti a correzione.

La curva Habitat-Portata è stata modificata per le specie trota fario adulta e trota marmorata adulta alla portata 0.188 m³/s intervenendo sui valori di velocità, profondità e substrato delle UMI secondo il modello biologico della specie interessata e trasformando così le relative Suitability Map. La curva Habitat-Portata, infatti, presentava un flesso, rappresentante un andamento anomalo, in corrispondenza della portata del secondo rilievo e pertanto si è proceduto con l'aumento della disponibilità di habitat per le due specie secondo le correzioni delle Suitability Map esposte nella figura 46. Inoltre, a causa dell'entità dell'errore, è stata controllata, una seconda volta, la classificazione delle unità idro-morfologiche, in particolare quella della portata 0.07 m³/s che è risultata nuovamente errata.

	Adult Marble Trout		
UMI	70 l/s	188 l/s	980 l/s
8	Optimal	Not Suitable--> Optimal	Optimal
10	Optimal	Not Suitable--> Optimal	Optimal
25	Optimal	Not Suitable --> Optimal	Suitable
UMI	Adult Brown Trout		
10	Optimal	Suitable --> Optimal	Optimal
25	Suitable	Not suitable --> Optimal	Suitable

Figura 46 – Modifiche dell'utilizzo dell'habitat per le specie considerate per il secondo rilievo

La riclassificazione delle UMI è riportata in figura 47 per tutti e tre i rilievi.

Saint Barthelemy										
1	Data				11/12/2010					
	Portata [l/s]				70					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	20	Step pools	20	Waterfall	-3.538	0.709	5.0	12	2.5	Cascade
	19	Waterfall	19	Step	-1.901	0.401	4.7	3.9	1.8	Cascade
	18	Step pools	18	Waterfall	-3.812	0.323	11.8	11.7	3.6	Cascade
	17	Waterfall	17	Step	-2.767	0.466	5.9	6.2	4.5	Waterfall
	15	Waterfall	15	Step	-2.572	0.639	4.0	2.5	2.2	Waterfall
	11	Step pools	11	Step	-1.072	0.21	5.1	10.2	3.3	Cascade
3	Step pools	3	Step	-1.461	0.159	9.2	7.2	6	Pool	
2	Data				25/11/2011					
	Portata [l/s]				188					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	3	Waterfall	3	Step	-0.759	0.658	1.2	0.7	0.6	Step
	4	Waterfall	4	Step	-0.916	0.581	1.6	1.8	3.7	Waterfall
	5	Step pools	5	Step	-1.142	0.113	10.1	6.2	8.2	Pool
	7	Waterfall	7	Step	-0.79	0.19	4.2	3	3.2	Step
	9	Waterfall	9	Step	-1.074	0.306	3.5	3	3.2	Step
	16	Waterfall	16	Step	-1.312	0.461	2.8	1.6	2.7	Waterfall
21	Waterfall	21	Step	-2.435	0.371	6.6	5.4	4.6	Cascade	
24	Waterfall	24	Step	-1.923	0.476	4.0	4.3	3.2	Waterfall	
25	Step pools	25	Step	-1.572	0.193	8.1	12	3.5	Cascade	
3	Data				17/05/2012					
	Portata [l/s]				980					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	3	Step pools	3	Step	-1.478	0.152	9.7	5.6	8.6	Step
	5	Step pools	5	Step	-1.701	0.083	20.5	19.3	6.2	Cascade
	7	Step pools	7	Step	-1.736	0.247	7.0	23.7	5	Cascade
	8	Waterfall	8	Step	-1.609	0.37	4.3	5.1	3.3	Step
11	Waterfall	11	Step	-2.401	0.43	5.6	4.4	4.6	Waterfall	
13	Waterfall	13	Step	-1.87	0.336	5.6	6	3	Waterfall	
14	Step pools	14	Step	-0.852	0.103	8.3	9.1	4.5	Cascade	

Figura 47 – Riclassificazione UMI del Saint Barthelemy

Saint Barthelemy		
Q = 0.07 m ³ /s		
UMI	PRE	POST
	Classificazione	Classificazione
5	RAPID	STEP
6	RAPID	STEP
8	RAPID	STEP

Figura 48 - Riclassificazione unità del primo rilievo

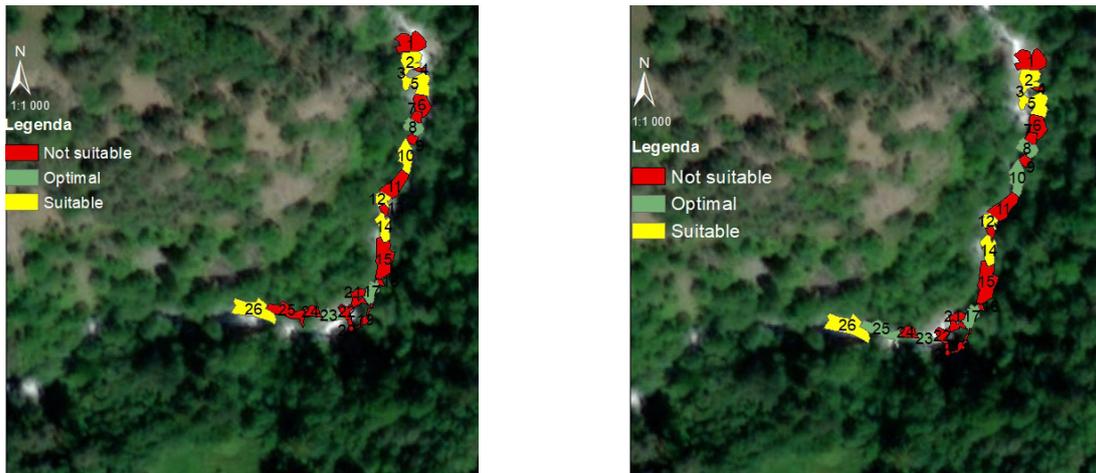


Figura 49 – Suitability Map per la specie trouta fario adulta

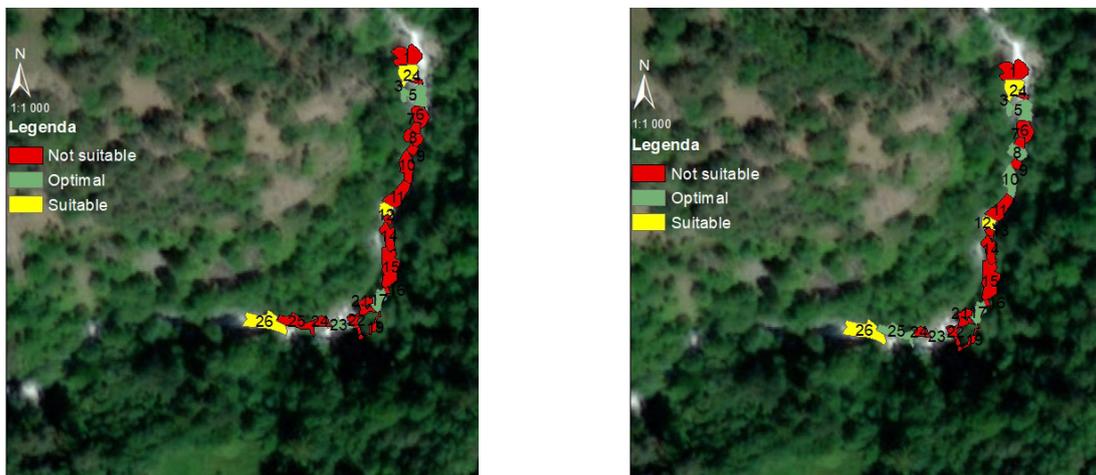


Figura 50 - Suitability Map per la specie trouta marmorata adulta

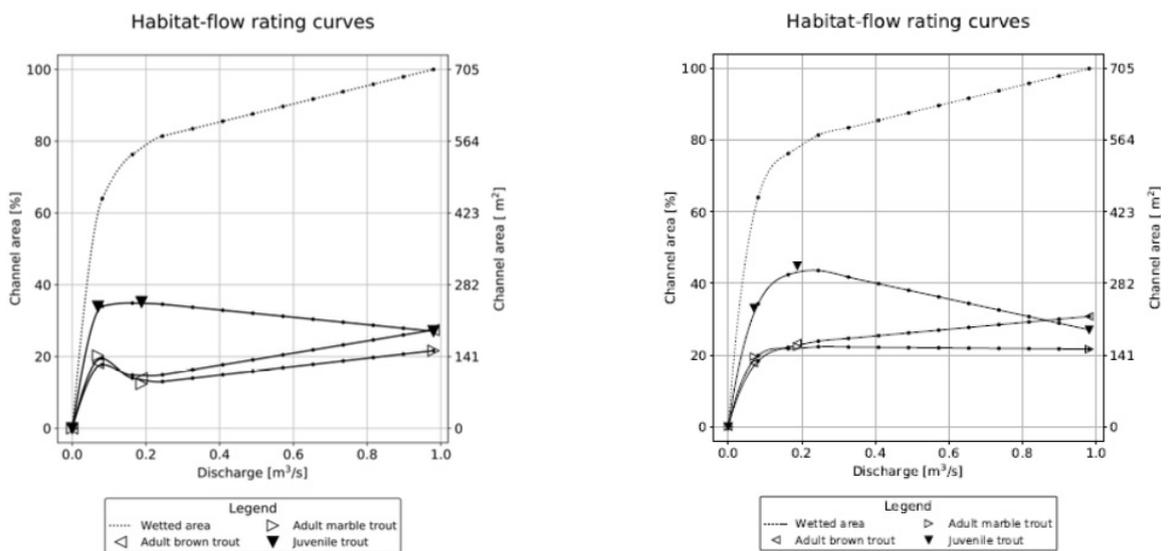


Figura 51 – Curva Habitat-Portata prima e dopo la correzione del Saint Barthelemy

I dati storici così corretti sono utilizzabili per l'applicazione della metodologia nel fiume Saint Barthelemy. La curva Habitat-Portata mette in relazione la portata defluente all'interno del corso d'acqua con l'habitat disponibile per le specie selezionate e pertanto definisce la variazione spaziale di habitat. La variazione temporale di habitat è definita invece dalle serie storiche di habitat ottenute a partire dalle serie storiche di portata in alveo tramite il software SimStream. In particolare è stato eseguito un confronto tra condizioni idro-morfologiche di riferimento e alterate per il calcolo dell'indice IH. Per il Saint Barthelemy, le condizioni idro-morfologiche di riferimento sono quelle condizioni del fiume senza le opere di derivazione idrica e senza il prelievo annuale del consorzio Crepellaz mentre le condizioni alterate sono le condizioni di esistenza attuali del fiume. Inoltre, si è proceduto con l'inserimento dei dati idro-morfologici corretti e idrometrici sul software e con l'analisi degli output restituiti al fine di individuare il grado di alterazione attuale nel fiume analizzato.

5.3 Analisi delle variazioni spazio-temporali di Habitat

Lo studio delle variazioni spazio-temporali di habitat è stato eseguito applicando il modello di MesoHABSIM attraverso il software SimStream. Lo studio ha utilizzato i dati idro-morfologici dei tre rilievi fluviali per quantificare la curva Habitat-Portata e i dati idrometrici per definire le serie temporali storiche di habitat. I dati idrometrici storici sono riferiti a un intervallo di tempo compreso tra febbraio 2013 e agosto 2020 e corrispondono a un rilascio del deflusso minimo vitale (DMV) pari a 80 l/s dall'opera principale di presa posta sul bacino del Saint Barthelemy. La simulazione è stata condotta, inizialmente, per individuare lo stato odierno di qualità del fiume e il possibile grado di alterazione della condizione attuale (alternativa 1) provocato dalla presenza delle opere di derivazione idrica e del prelievo annuale del consorzio Crepellaz. In seguito, si è proseguito con la creazione di numerose condizioni alterate aventi un rilascio di DMV maggiore rispetto alla condizione alterata attuale al fine di diminuire il grado di alterazione esistente. Per ogni condizione alterata e per ogni specie e stadio vitale, il software restituisce gli indici ISH e ITH, le serie temporali di habitat, la curva Habitat-Portata, le curve di durata continua sotto soglia e valuta l'indice IH.

La simulazione per lo scenario attuale è stata eseguita per le specie trota fario e trota marmorata nel loro stadio adulto e giovane e ha prodotto un indice d'integrità d'habitat fluviale pari a 0.19 classificato come pessimo. Questo risultato dimostra che attualmente il fiume Saint Barthelemy è soggetto a uno sfruttamento eccessivo delle sue risorse idriche che compromette la qualità di vita delle specie acquatiche presenti al suo interno.

Pertanto si è proceduto alla definizione di dieci nuovi scenari al fine di ridurre l'attuale impatto ambientale e individuare una condizione idro-morfologica ideale tramite la definizione di una determinata quantità di rilascio del DMV. Il concetto base su cui si fonda la simulazione è che aumentando la portata rilasciata di DMV si ha più possibilità di avere habitat disponibile per le specie target all'interno del fiume.

La creazione delle dieci alternative è stata eseguita aumentando il DMV, la prima volta di 80 l/s rispetto alla condizione attuale (alternativa 1) e le successive di 10 l/s ciascuna rispetto alle precedenti. L'aumento del DMV è stato calcolato solo per i mesi novembre e dicembre di ogni anno in quanto corrispondono al periodo dove è presente un'elevata disponibilità idrica nel bacino e pertanto ci si può permettere di aumentare il DMV senza ridurre eccessivamente la produzione di energia idroelettrica. Ogni alternativa creata è riferita all'intervallo di tempo compreso tra febbraio 2013 e agosto 2020. Le alternative create sono riportate nella figura 52.

Alternative	DMV (l/s): Gennaio - Ottobre	DMV (l/s): Novembre - Dicembre	IH
1	80	80	0.19
2	80	160	0.24
3	80	170	0.24
4	80	180	0.24
5	80	190	0.24
6	80	200	0.24
7	80	210	0.27
8	80	220	0.29
9	80	230	0.3
10	80	240	0.32

Figura 52 – Alternative create riferite al periodo da febbraio 2013 a agosto 2020

Lo scenario di partenza attuale, alternativa 1, è costituito da un rilascio di DMV pari a 80 l/s che si conforma, a seguito della simulazione, con un indice IH pari a 0.19 corrispondente alla classe pessimo, come già detto sopra. L'obiettivo è quello di ridurre la durata dei periodi di stress e l'alterazione della quantità media disponibile di habitat, riscontrati nella condizione alterata attuale per le specie target. Il metodo per raggiungere l'obiettivo è alzare il DMV in modo da aumentare gli indici ITH e ISH e di conseguenza l'indice IH. Percorrendo dall'alto verso il basso la tabella in figura 52, si evince che il valore dell'indice IH aumenta all'aumentare della portata rilasciata. L'alternativa 2 ha un valore di DMV pari al doppio della condizione attuale (alternativa 1), presupposto che permette al valore di IH di aumentare notevolmente passando dalla classe pessimo alla classe scadente (0.19 → 0.24). Dall'alternativa 2 all'alternativa 6, il valore di IH rimane invariato fino a quando il valore di DMV non raggiunge il valore della Q97 pari a 210 l/s. Infatti, dall'alternativa 7 alla 10 si ha una condizione ideale per aumentare l'indice ITH delle specie in quanto il rilascio di DMV è maggiore della Q97, portata che definisce il valore soglia di habitat AQ97 nel calcolo del suddetto indice (0.27 → 0.32). Inoltre, l'alternativa 10 è definita dalla massima portata di rilascio di DMV applicata alla simulazione, pari a 240 l/s e definisce, comunque, una condizione d'integrità d'habitat scadente con indice IH pari a 0.32. Pertanto, dall'analisi dei valori dell'IH, si deduce che bisogna avere una quantità di rilascio ancora maggiore per avere una condizione d'integrità fluviale almeno sufficiente per le specie target. Le condizioni attuali del fiume non permettono una qualità di vita elevata per le comunità ittiche analizzate e anche a seguito di un incremento notevole della portata rilasciata di DMV non c'è un significativo miglioramento.

Per una maggiore accuratezza dell'analisi, si considerano le alternative uno (attuale), sei e dieci. Nella figura 53, è riportata, a titolo di esempio, la serie temporale di portata in alveo raccolta dalla stazione idrometrica per l'anno 2019. Come si può osservare sono presenti le serie temporali della condizione di riferimento e delle tre condizioni alterate considerate. Dal mese di gennaio al mese di ottobre appaiono nel grafico solo le curve relative alla condizione di riferimento (blu) e alla condizione alterata 10 (viola), che coincide con la curva delle condizioni alterate 1 (rosso) e 6 (giallo), mentre nei mesi di novembre e dicembre appaiono distintamente tutte e quattro le curve mettendo in evidenza l'aumento del DMV eseguito. Dal grafico, si nota chiaramente il diverso andamento delle due curve blu e viola nei mesi tra gennaio e ottobre

e si osserva una grande distanza tra la curva rossa e la curva blu nei mesi di novembre e dicembre. Questo andamento definisce un elevato grado di alterazione della condizione alterata attuale (alternativa 1) rispetto alla condizione di riferimento che si esplica nel valore pessimo dell'indice IH restituito dal software. Allo stesso modo, si può vedere come la curva relativa alla condizione alterata 10 (viola) sia quella più vicina alla condizione di riferimento (blu) nei mesi di novembre e dicembre, evidenziando che il solo aumento di DMV in quei mesi porta a un miglioramento del grado di alterazione e a una crescita dell'indice IH. Lo stesso andamento si può osservare in tutti e sette gli anni nella figura 54.

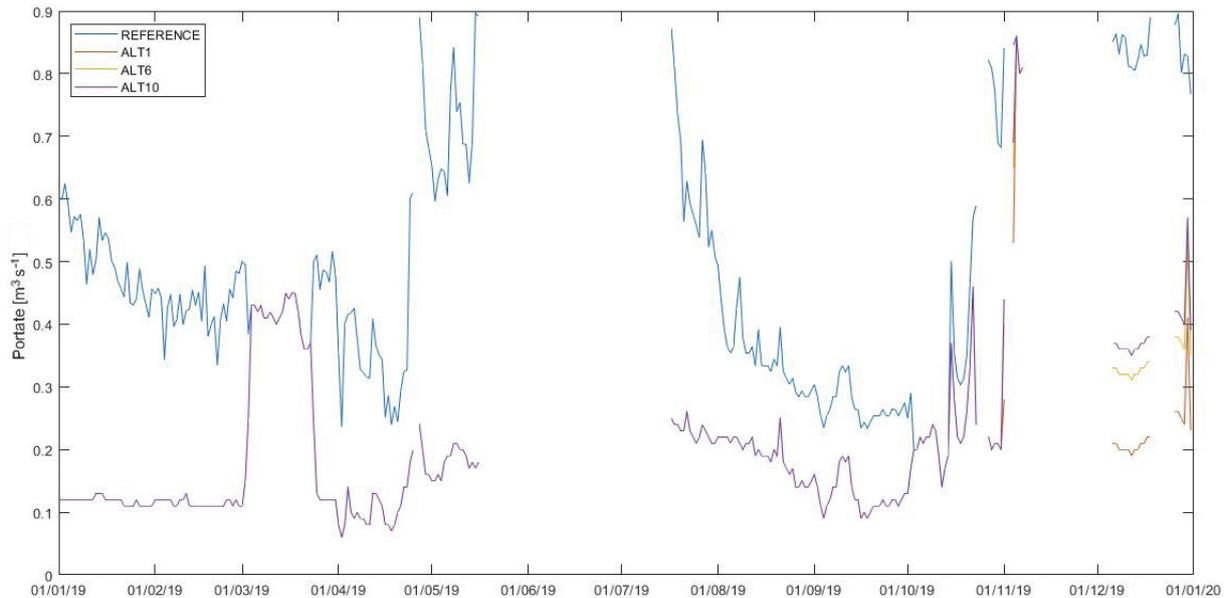


Figura 53 – Serie temporale dell'anno 2019

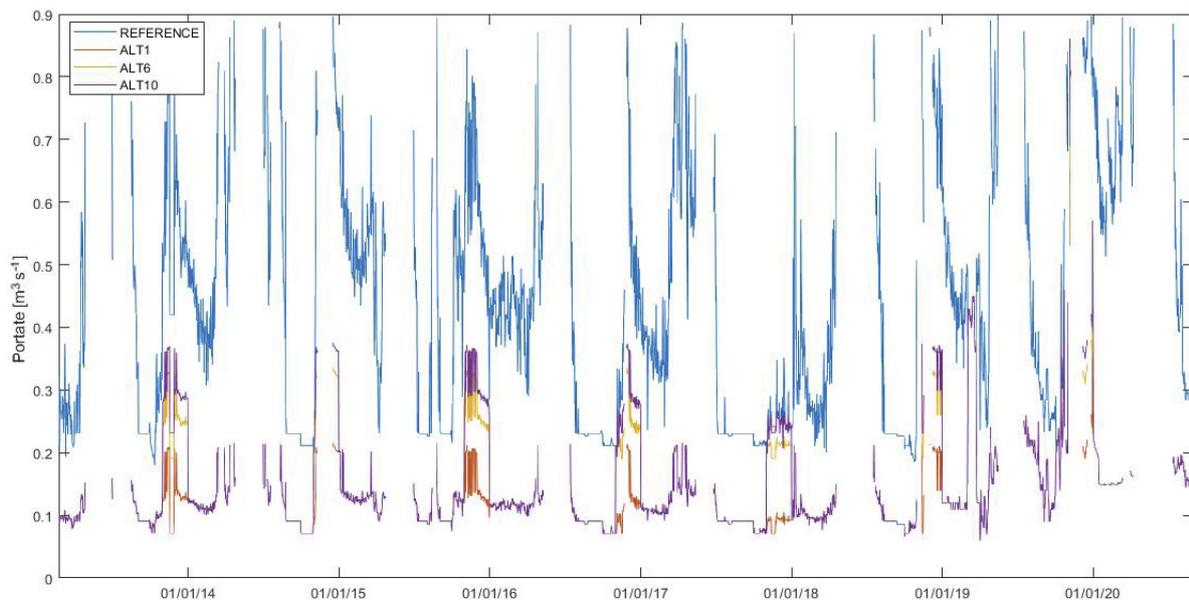


Figura 54 - Serie temporali della condizione di riferimento e delle condizioni alterate per tutti i sette anni

Di seguito, viene riportata un'analisi della variabilità dell'IH basandosi sulla curva Habitat-Portata, sulle serie temporali di Habitat e sui valori degli indici ISH e ITH per ogni specie e per le alternative considerate.

IH =0.19		IH =0.24		IH =0.32	
Alternativa 1		Alternativa 6		Alternativa 10	
Adult Brown		Adult Brown		Adult Brown	
AHdr [%]	22.45	AHdr [%]	25.45	AHdr [%]	25.45
AHd [%]	20.03	AHd [%]	20.56	AHd [%]	20.63
ISH	0.79	ISH	0.81	ISH	0.81
AQ97 [%]	23.15	AQ97 [%]	23.15	AQ97 [%]	23.15
SDA [-]	4.37	SDA [-]	3.77	SDA [-]	2.99
ITH	0.19	ITH	0.24	ITH	0.32
Adult marble trout		Adult marble trout		Adult marble trout	
AHdr [%]	22.08	AHdr [%]	22.08	AHdr [%]	22.08
AHd [%]	20.54	AHd [%]	20.77	AHd [%]	20.78
ISH	0.93	ISH	0.94	ISH	0.94
AQ97 [%]	22.06	AQ97 [%]	22.06	AQ97 [%]	22.06
SDA [-]	0	SDA [-]	0	SDA [-]	0
ITH	1	ITH	1	ITH	1
Juvenile trout		Juvenile trout		Juvenile trout	
AHdr [%]	39.39	AHdr [%]	39.39	AHdr [%]	39.39
AHd [%]	37.65	AHd [%]	38.31	AHd [%]	38.23
ISH	0.96	ISH	0.97	ISH	0.97
AQ97 [%]	43.11	AQ97 [%]	43.11	AQ97 [%]	43.11
SDA [-]	0	SDA [-]	0	SDA [-]	0
ITH	1	ITH	1	ITH	1

Figura 55 - Valori degli indici ISH e ITH e dei rispettivi parametri per le tre specie

Dalla figura 55, si nota che per tutte e tre le alternative, la specie trota fario adulta domina sul valore dell'indice IH, in quanto ha sempre valori minori dei due sub-indici.

Analizzando nel dettaglio i valori di quantità media disponibile di habitat nel periodo scelto della condizione alterata (Ahd) per la trota fario adulta, si nota che si avvicinano ai valori della condizione di riferimento (Ahdr), pari a 22.45%, progredendo con le alternative (20.03% → 20.56% → 20.63 %). Lo stesso vale, per i valori della trota marmorata adulta, aventi Ahdr pari a 22.08 %, con la differenza che il loro avvicinamento procede più lentamente (20.54 % → 20.77% → 20.78%). Al contrario, per lo stadio giovane i valori di Ahd sono molto vicini al valore di riferimento Ahdr, pari a 39.39 %, ma al procedere delle alternative iniziano ad allontanarsi. Inoltre si osserva che gli indici ISH della trota marmorata adulta e dello stadio giovane sono più alti di quelli della trota fario adulta.

La motivazione può essere dedotta dall'analisi dell'andamento della curva Habitat-Portata per le tre specie riportata in figura 56.

La curva Habitat-Portata dello stadio giovane, in generale, ha valori più alti di disponibilità di habitat rispetto alla trota marmorata adulta e trota fario adulta e presenta un picco alla portata 0.2 m³/s. In seguito, il suo andamento diventa decrescente con l'aumentare della portata e la percentuale di habitat disponibile diminuisce provocando la diminuzione del valore Ahd per portate maggiori.

La curva Habitat-Portata della trota marmorata adulta presenta un picco a una portata legger-

mente inferiore di 0.2 m³/s e in seguito rimane costante all'aumentare della portata. Ciò significa che la disponibilità di habitat rimarrà sempre la stessa e si conforma con un lieve aumento del parametro Ahd verso il valore del parametro Ahdr.

Pertanto, dall'andamento dello stadio giovane si può immaginare un decremento dell'indice IH a elevate portate, mentre da quello della trota marmorata adulta una situazione stazionaria. Al contrario la curva Habitat-Portata della trota fario adulta ha un andamento monotono crescente. Infatti, anche se i valori di disponibilità di habitat sono più bassi della trota marmorata adulta a portate inferiori di 0.2 m³/s, la disponibilità di habitat aumenta all'aumentare della portata e di conseguenza l'indice IH.

Pertanto, la specie trota fario adulta ha un'influenza notevolmente maggiore rispetto alla trota marmorata adulta e allo stadio giovane sulla variabilità e in particolare sull'accrescimento dell'indice IH.

Le stesse considerazioni possono essere eseguite per l'indice ITH analizzando le serie temporali di habitat e le curve UCUT (o CDS, curve di durata continua sotto soglia) restituite dal software SimStream per le relative specie.

L'indice ITH per le specie trota marmorata adulta e per lo stadio giovane è sempre pari a 1 con alterazione complessiva del numero di giorni di stress (SDA) uguale a 0. Questo rappresenta una condizione di totale assenza di alterazioni tra la condizione di riferimento e la condizione alterata. L'indice ITH per la trota fario adulta, invece, varia: 0.19 per l'alternativa 1, 0.24 per l'alternativa 6 e 0.32 per l'alternativa 10. Questi valori corrispondono esattamente all'indice IH, restituito dal software, in quanto i minimi tra tutti. Il valore di SDA, infatti, non è pari a zero per nessuna delle tre alternative, ciò implica che sono presenti delle variazioni tra la condizione di riferimento e quella alterata.

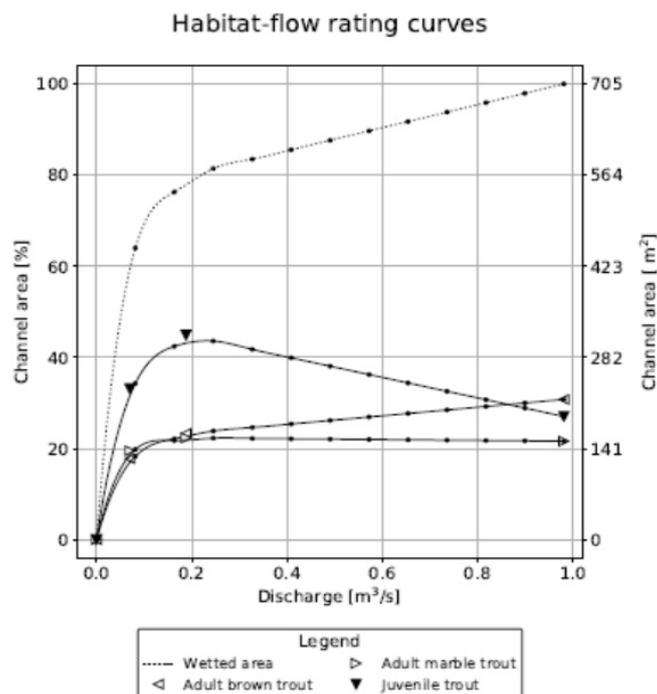
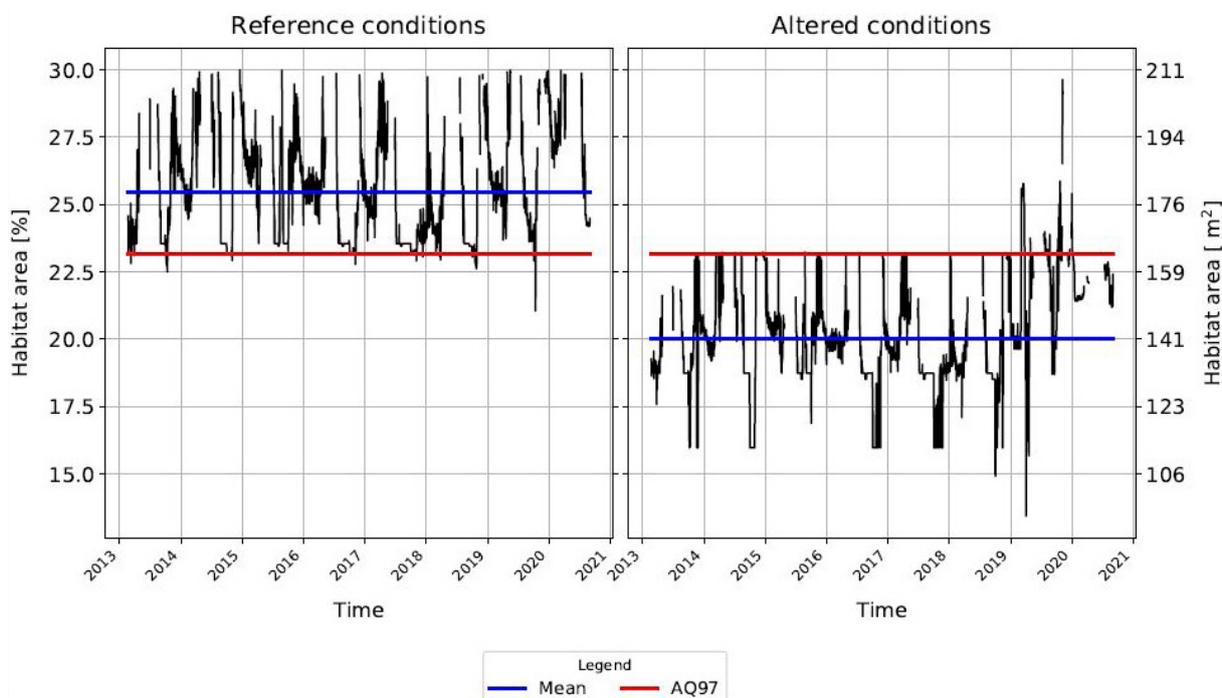


Figura 56 - Curva Habitat-Portata del Saint Barthelemy

Considerando le serie temporali di habitat, riportate in figura 57, per la specie trota fario adulta nelle tre alternative, si osserva un aumento dei valori di habitat sopra soglia e coerentemente un aumento dell'indice ITH all'accrescere del DMV. Per questo motivo, vi è una riduzione della durata degli eventi di stress per la specie in questione e di conseguenza si ha un aumento dell'indice d'integrità d'habitat fluviale IH. In particolare, si osserva che rispetto alla serie temporale di habitat della condizione alterata 1, la serie temporale di habitat della condizione alterata 6 presenta valori di habitat sopra soglia per gli anni 2014, 2015, 2016 e 2017, inesistenti per l'alternativa 1. Inoltre, la serie temporale di habitat dell'alternativa 10, presenta più valori di habitat sopra soglia per quegli stessi anni e ne propone anche per gli anni 2018 e 2019, figura 57. In questo modo, all'aumentare del DMV nei soli mesi di novembre e dicembre, le condizioni alterate si avvicinano sempre di più alla condizione di riferimento che rappresenta una condizione idro-morfologica del fiume senza pressioni antropiche. Le curve UCUT, ottenute a partire dalle serie temporali di habitat esaltano maggiormente quanto spiegato sopra.

Nella figura 58, le curve UCUT delle condizioni alterate sono rappresentate separate dalla curva UCUT di riferimento in base al valore di SDA per ciascuna alternativa. Il valore di SDA diminuisce al progredire delle alternative rilevando un'alterazione complessiva del numero di giorni di stress sempre più bassa. Questa diminuzione può essere osservata considerando la distanza tra la curva UCUT della condizione di riferimento e la curva UCUT alterata per ogni alternativa. Infatti, questa distanza, identificata da una percentuale rispettivamente 437%, 377% e 299% per le alternative 1, 6, 10, diminuisce all'abbassarsi del valore di SDA e all'aumentare dell'ITH.



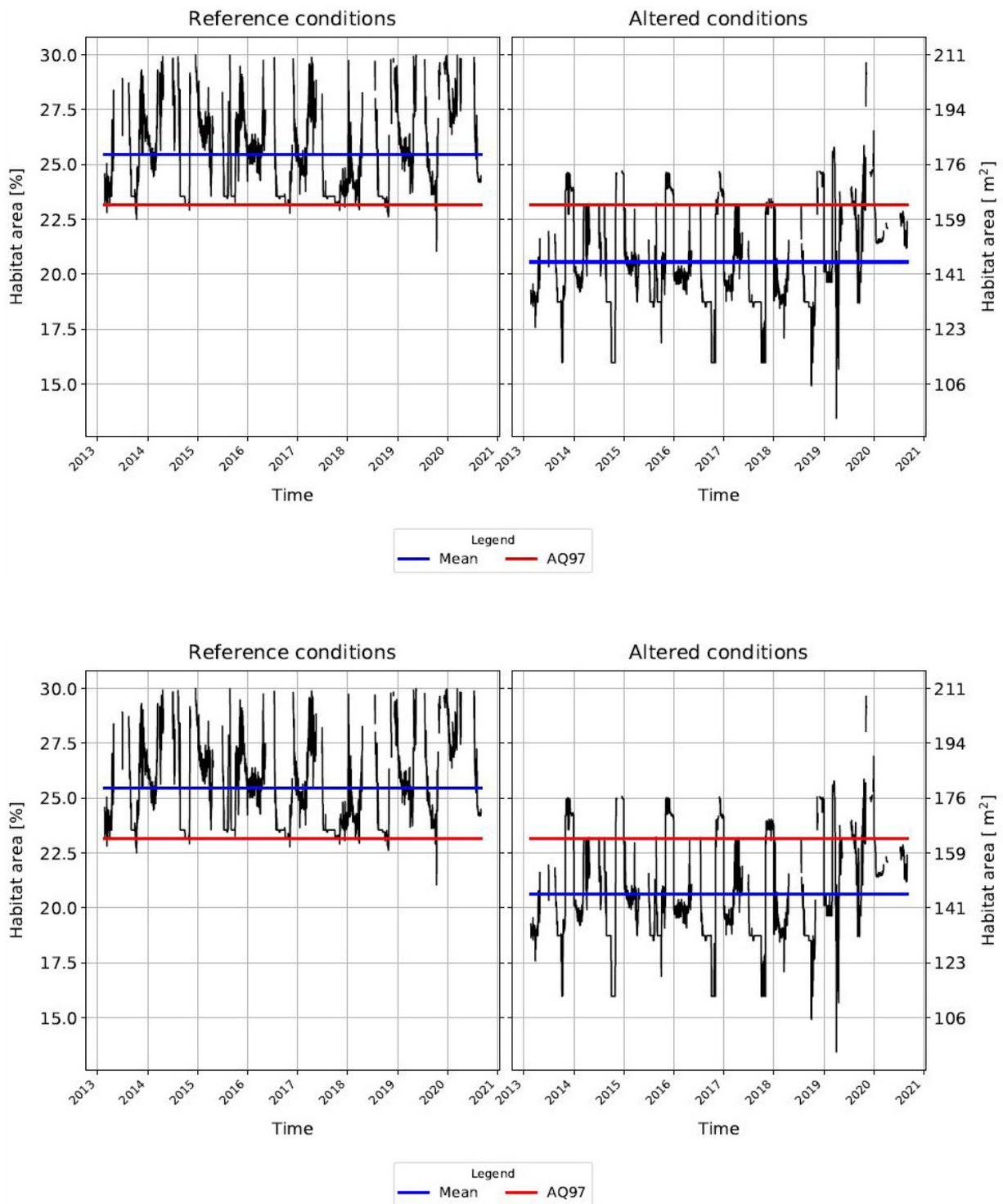


Figura 57 - Serie temporali per le tre alternative per la trota fario adulta

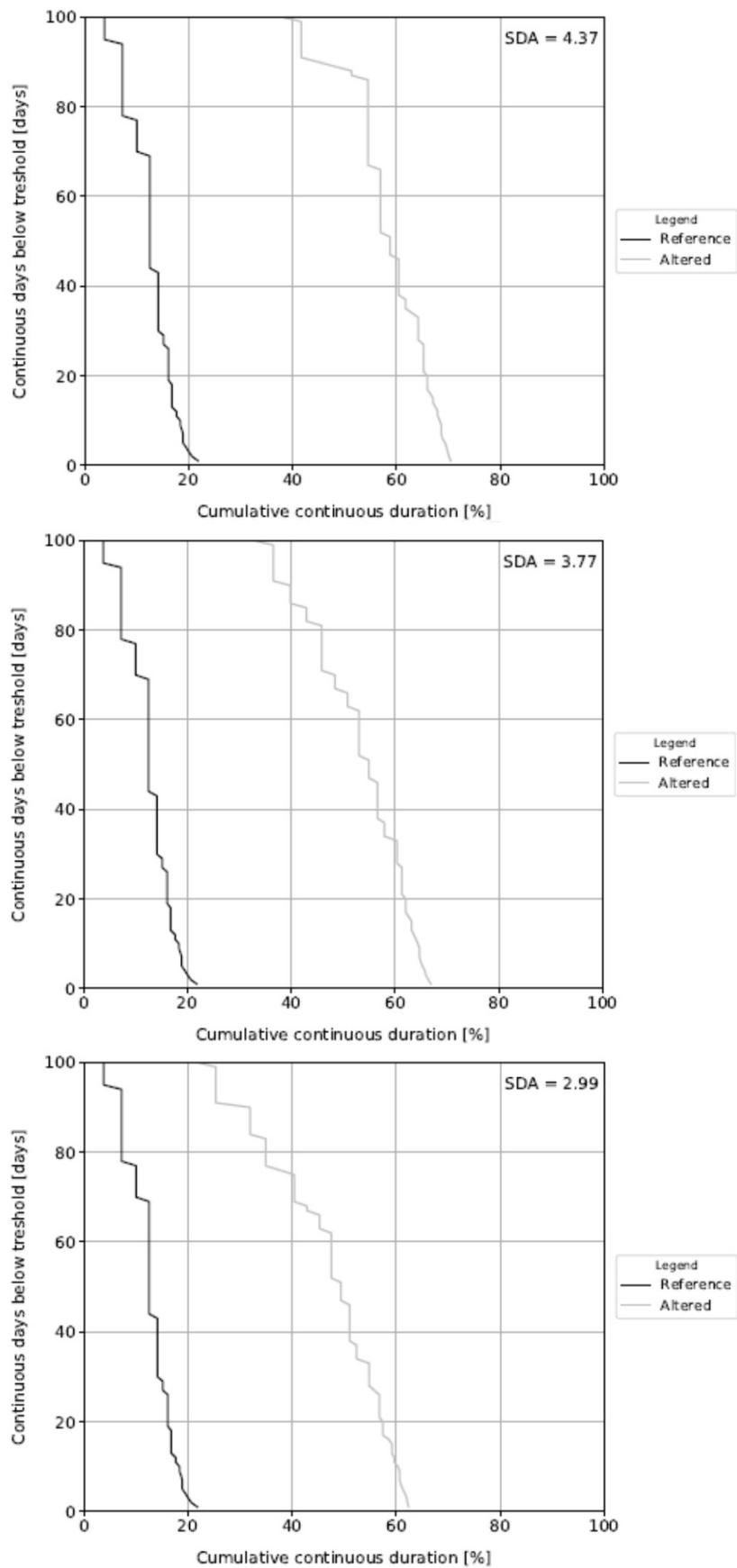


Figura 58 – Curve UCUT delle tre alternative per la trota fario adulta

Al contrario, analizzando le serie temporali di habitat per le specie trota marmorata adulta e lo stadio giovane, non vi è alterazione tra la condizione di riferimento e la condizione alterata. Per la trota marmorata adulta, in tutte le alternative si hanno valori di habitat sotto soglia, come nella condizione di riferimento, e pertanto le curve UCUT non vengono rappresentate dal software.

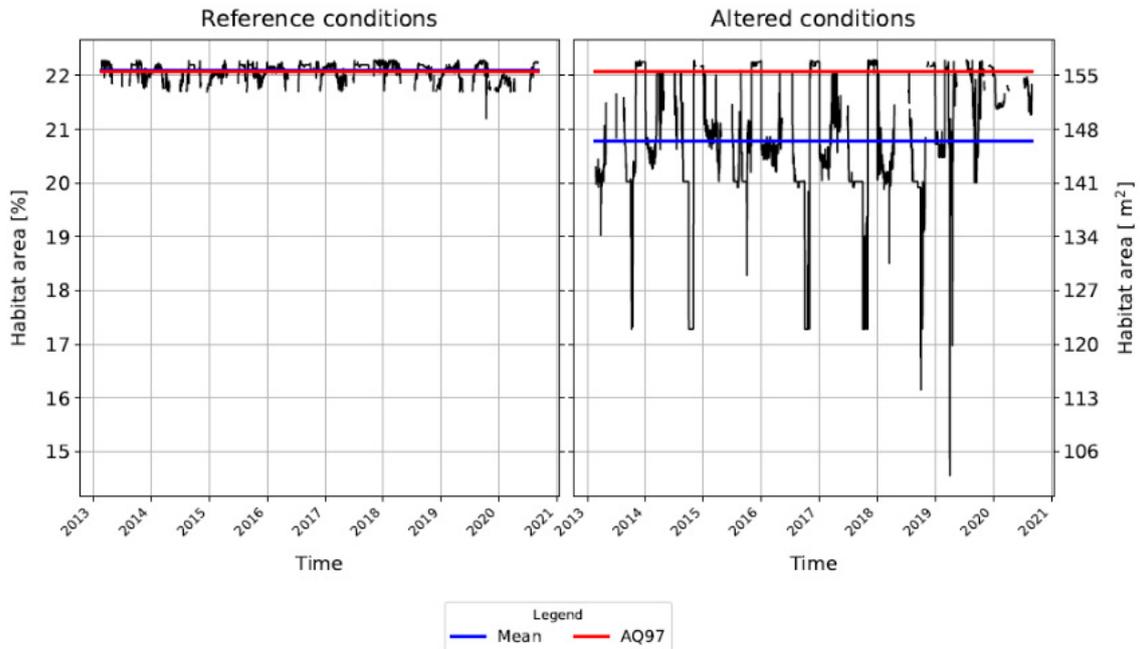


Figura 59 – Serie temporali di habitat per la trota marmorata adulta dell'alternativa dieci

Come si vede in figura 59, sia la condizione di riferimento e quella alterata presentano valori di habitat sotto soglia. Considerando che la AQ97 per la trota marmorata adulta è 22.06% ma il software utilizza la soglia approssimata all'intero successivo, quindi 23%, tutti i valori, sia nella condizione di riferimento sia nella condizione alterata, sono sotto soglia e pertanto il confronto tra le due non produce nessuna differenza. Di conseguenza, la curva UCUT non viene sviluppata dal software. Per lo stadio giovane, accade lo stesso.

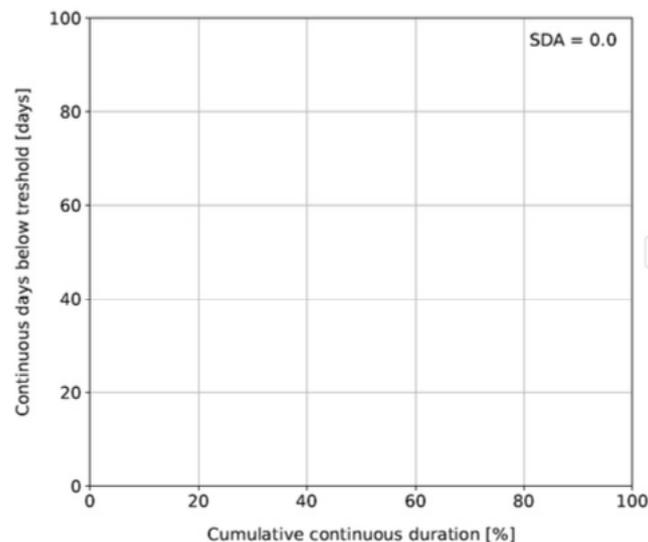


Figura 60- Curve UCUT per la trota marmorata adulta dell'alternativa dieci

L'analisi delle condizioni idro-morfologiche attuali e possibili del Saint Barthelemy a seguito della simulazione della metodologia MesoHABSIM tramite il software SimStream dimostra che è possibile eseguire uno studio di impatto ambientale, ai fini di ottimizzare la gestione dei corsi d'acqua e di tutelare la qualità di vita delle specie al loro interno, anche attraverso l'utilizzo di dati storici. La simulazione documenta la presenza di un alto grado di alterazione allo stato attuale e attesta che anche aumentando del triplo il valore di rilascio del DMV iniziale, non si ha un indice d'integrità d'habitat fluviale sufficiente per le specie considerate. Inoltre, indica che la variabilità dell'indice IH è influenzata principalmente da una specie, la trota fario adulta, che deve essere notevolmente presa in considerazione ai fini dello studio.

5.3.1 Analisi variazioni spazio-temporali di habitat con influenza CVA

Valutando i risultati dell'analisi precedente, si ha la necessità di verificare quanto la presenza delle opere di derivazione idrica della Compagnia Valdostana delle Acque (CVA), installate nel fiume Saint Barthelemy, incide sulla variabilità dell'indice d'integrità d'habitat fluviale IH. Il fine è comprenderne il contributo nell'impatto ambientale sul fiume. Per isolare la sola influenza dell'impianto idroelettrico, bisogna ipotizzare che la concessione al consorzio Crepèllaz non sia rilasciata dalla regione autonoma della Valle d'Aosta. Il prelievo del Consorzio Crepèllaz avviene annualmente nel periodo tra il 1 aprile e il 30 settembre per scopi irrigui. La portata prelevata era pari a 140 l/s per gli anni tra il 2013 e il 2018, 144 l/s in media per il 2019 e 138 l/s in media per il 2020. Come si evincerà dall'analisi, considerando ipoteticamente che questo prelievo non esista, le condizioni idro-morfologiche del fiume cambiano notevolmente. Si procede quindi alla creazione di dieci scenari con la differenza rispetto all'analisi precedente che verrà costruita anche la prima alternativa della serie, l'alternativa undici. L'alternativa undici è stata creata partendo dai dati idrometrici dell'alternativa 1, che rappresenta la condizione alterata attualmente esistente con DMV pari a 80 l/s, e aggiungendo la quantità di acqua prelevata dal consorzio nei rispettivi anni e periodi. Le alternative successive sono state create esattamente come nella prima analisi, iniziando dall'alternativa 11 e aumentando il valore del DMV nei mesi di novembre e dicembre, la prima volta di 80 l/s (alternativa 12) e le successive di 10 l/s ciascuna rispetto alle precedenti, fino ad arrivare all'alternativa 20.

Alternative	DMV (l/s): Gennaio - Ottobre	DMV (l/s): Novembre - Dicembre	IH
11	80	80	0.27
12	80	160	0.35
13	80	170	0.35
14	80	180	0.35
15	80	190	0.35
16	80	200	0.35
17	80	210	0.39
18	80	220	0.42
19	80	230	0.43
20	80	240	0.46

Figura 61 – Alternative create riferite al periodo da febbraio 2013 a agosto 2020

Dalla figura 61, si evince che i valori dell'indice IH sono tutti maggiori rispetto alle prime 10 alternative e alcuni di questi superano la soglia 0.4 entrando nella classe sufficiente. Da questo preliminare confronto, si apprende che il prelievo annuale ha una notevole influenza sullo stato di qualità del fiume e sulla variabilità della disponibilità di habitat per le specie interessate. Infatti, ipotizzando che non vi sia nessun prelievo, si avrebbe una condizione di integrità d'habitat fluviale sufficiente per un DMV pari a 220 l/s, esattamente sopra alla Q97 pari a 210 l/s, come previsto.

Si considerano tre alternative, undici, sedici e venti, complementari all'analisi precedente.

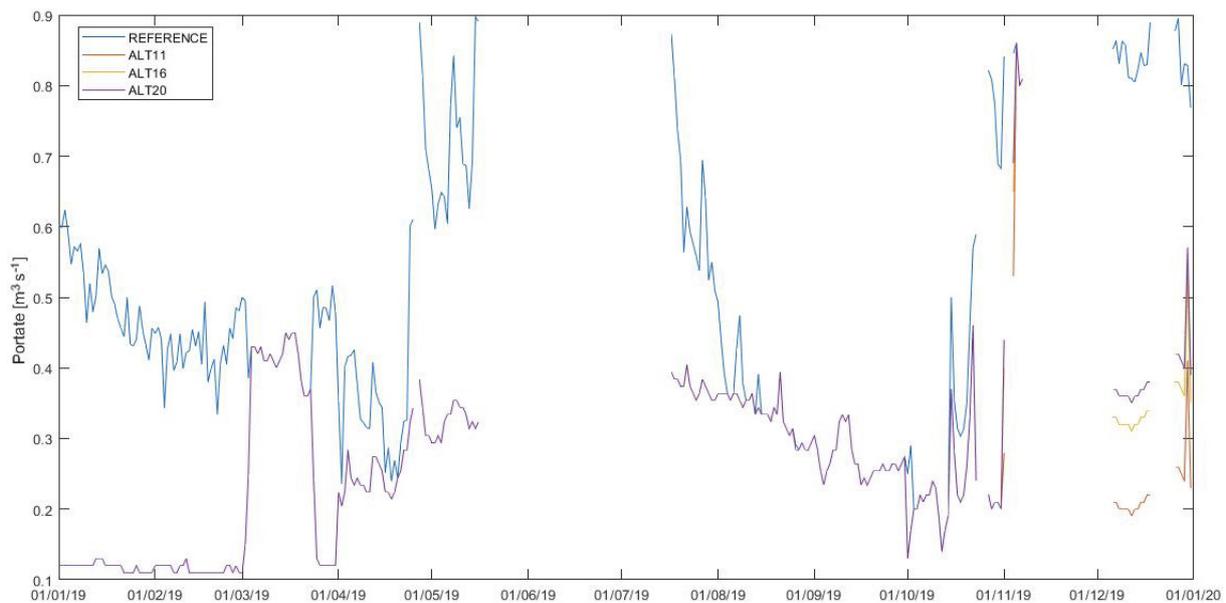


Figura 62 – Serie temporale dell'anno 2019

Nella figura 62, a titolo di esempio, è riportata la serie temporale, raccolta dalla stazione idrometrica, per l'anno 2019 della condizione di riferimento e delle tre condizioni alterate considerate. Come si può osservare, analogamente alla prima analisi, nel periodo tra gennaio e ottobre appaiono solo le curve della condizione di riferimento (blu) e della condizione alterata 20 (viola), che coincide con la curva delle condizioni alterate 11 (rossa) e 16 (gialla), mentre nei mesi di novembre e dicembre osserviamo tutte e quattro le curve a causa dell'aumento del DMV eseguito. La differenza sostanziale rispetto alla prima analisi, è l'andamento della curva viola rispetto alla curva blu nei mesi tra gennaio e ottobre. Nella prima analisi, l'andamento delle due curve era molto diverso tra loro mentre in questo caso è molto più simile. Infatti, le due serie, in alcuni giorni tra marzo e maggio, sono molto vicine e nei mesi da agosto a novembre quasi coincidono. Inoltre, nei mesi di novembre e dicembre l'alternativa 11 (rossa) è molto distante dalla condizione di riferimento (blu) mentre l'alternativa 20 (viola) è molto vicina, come nella prima analisi. Pertanto, dalla conciliabilità delle due curve in figura 62, si deduce chiaramente che il grado di alterazione della condizione alterata creata senza prelievo (alternativa 11) è inferiore alla condizione alterata esistente (alternativa 1). Questo implica che la condizione alterata creata senza prelievo è più vicina alla condizione di riferimento rispetto a quella esistente e potrebbe avere una quantità di habitat disponibile per le specie target simile a quella che si avrebbe nella condizione senza pressioni antropiche. In questo modo, si dimostra compres-

bilmente perché la condizione alterata senza prelievo, alternativa 11, ha un indice IH maggiore della condizione alterata attuale, alternativa 1. Inoltre, anche in questa analisi, si evidenzia che il solo aumento del DMV nei mesi di novembre e dicembre comporta un miglioramento del grado di alterazione e una crescita dell'indice IH raggiungendo, in questo caso, valori d'integrità d'habitat sufficienti per le specie target.

Lo stesso andamento si evince per tutti e sette gli anni in figura 63.

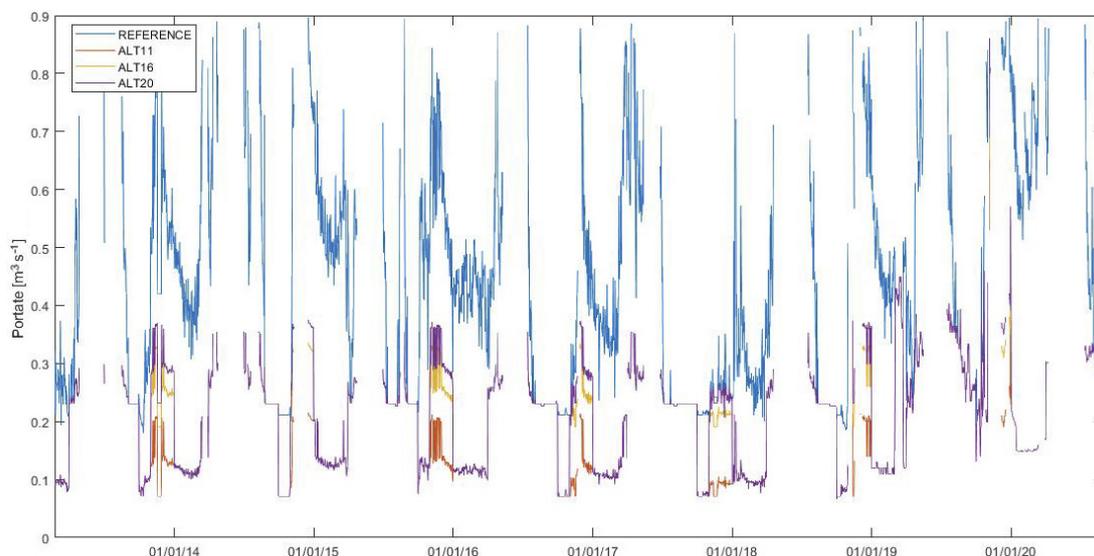


Figura 63 - Serie temporali della condizione di riferimento e delle condizioni alterate per tutti i sette anni

Di seguito, viene riportata un'analisi della variabilità dell'IH basandosi sulla curva Habitat-Portata, sulle serie temporali di Habitat e sui valori degli indici ISH e ITH per ogni specie, come per la prima analisi.

IH = 0.27		IH = 0.35		IH = 0.46	
Alternativa 11		Alternativa 16		Alternativa 20	
Adult brown trout		Adult brown trout		Adult brown trout	
AHdr [%]	25.45	AHdr [%]	22.45	AHdr [%]	22.45
AHd [%]	21.6	AHd [%]	22.14	AHd [%]	22.21
ISH	0.85	ISH	0.87	ISH	0.87
AQ97 [%]	23.15	AQ97 [%]	23.15	AQ97 [%]	23.15
SDA [-]	3.46	SDA [-]	2.79	SDA [-]	2.02
ITH	0.27	ITH	0.35	ITH	0.46
Adult marble trout		Adult marble trout		Adult marble trout	
AHdr [%]	22.08	AHdr [%]	22.08	AHdr [%]	22.08
AHd [%]	21.18	AHd [%]	21.4	AHd [%]	21.41
ISH	0.96	ISH	0.97	ISH	0.97
AQ97 [%]	22.06	AQ97 [%]	22.06	AQ97 [%]	22.06
SDA [-]	0	SDA [-]	0	SDA [-]	0
ITH	1	ITH	1	ITH	1
Juvenile trout		Juvenile trout		Juvenile trout	
AHdr [%]	39.39	AHdr [%]	39.39	AHdr [%]	39.39
AHd [%]	39.73	AHd [%]	40.39	AHd [%]	40.31
ISH	0.99	ISH	0.97	ISH	0.98
AQ97 [%]	43.11	AQ97 [%]	43.11	AQ97 [%]	43.11
SDA [-]	0	SDA [-]	0	SDA [-]	0
ITH	1	ITH	1	ITH	1

Figura 64 - Valori degli indici ISH e ITH e dei rispettivi parametri per le tre specie

Dalla figura 64, si intuisce che l'andamento del parametro Ahd verso il parametro Ahd_r nelle tre alternative per le tre specie è analogo alla prima analisi. Inoltre, anche in questo caso, la specie trota fario adulta domina sul valore dell'indice d'integrità d'habitat fluviale e presenta la stessa influenza sulla sua variabilità: gli indici ISH e ITH minori sono quelli appartenenti alle tre alternative della specie trota fario adulta. La differenza effettiva consiste nei valori degli indici ISH e ITH.

In tutte le specie e alternative i valori degli indici ISH sono maggiori di quelli dell'analisi precedente (figura 66). In questo modo, si evidenzia una quantità media di habitat disponibile per i sette anni nelle condizioni alterate maggiore rispetto alle condizioni alterate simulate sulla situazione reale e, quindi, un miglioramento delle condizioni di vita delle specie target. Ugualmente, gli indici ITH delle tre alternative per le tre specie sono maggiori rispetto a prima (figura 66). Infatti, se si confrontano, in modo complementare, le serie temporali di habitat delle tre alternative per la specie trota fario adulta nelle due analisi, si evince come i valori di habitat sopra soglia siano maggiori per le condizioni alterate simulate senza il prelievo annuale (figura 67). Ulteriormente, i valori di SDA delle tre alternative per la stessa specie sono, rispettivamente, più bassi dei precedenti e questo implica una minore durata dei periodi di stress per la specie target. La riduzione dei valori di SDA si manifesta anche nelle curve UCUT delle tre alternative per la specie in questione, in quanto la distanza tra la curva in condizione di riferimento e la curva in condizione alterata è minore rispetto a quella dell'analisi precedente per ciascuna alternativa (figura 68).

Di seguito, vengono riportati gli indici ITH e ISH e IH per ciascuna specie e alternativa analizzata.

IH = 0.19		IH = 0.24		IH = 0.32	
Alternativa 1		Alternativa 6		Alternativa 10	
Adult Brown		Adult Brown		Adult Brown	
ISH	0.79	ISH	0.81	ISH	0.81
ITH	0.19	ITH	0.24	ITH	0.32
Adult marble trout		Adult marble trout		Adult marble trout	
ISH	0.93	ISH	0.94	ISH	0.94
ITH	1	ITH	1	ITH	1
Juvenile trout		Juvenile trout		Juvenile trout	
ISH	0.96	ISH	0.97	ISH	0.97
ITH	1	ITH	1	ITH	1

Figura 65 – Indici ISH, ITH e IH dell'analisi della situazione reale

IH = 0.27		IH = 0.35		IH = 0.46	
Alternativa 11		Alternativa 16		Alternativa 20	
Adult brown trout		Adult brown trout		Adult brown trout	
ISH	0.85	ISH	0.87	ISH	0.87
ITH	0.27	ITH	0.35	ITH	0.46
Adult marble trout		Adult marble trout		Adult marble trout	
ISH	0.96	ISH	0.97	ISH	0.97
ITH	1	ITH	1	ITH	1
Juvenile trout		Juvenile trout		Juvenile trout	
ISH	0.99	ISH	0.97	ISH	0.98
ITH	1	ITH	1	ITH	1

Figura 66 - Indici ISH, ITH e IH dell'analisi della situazione ipotetica

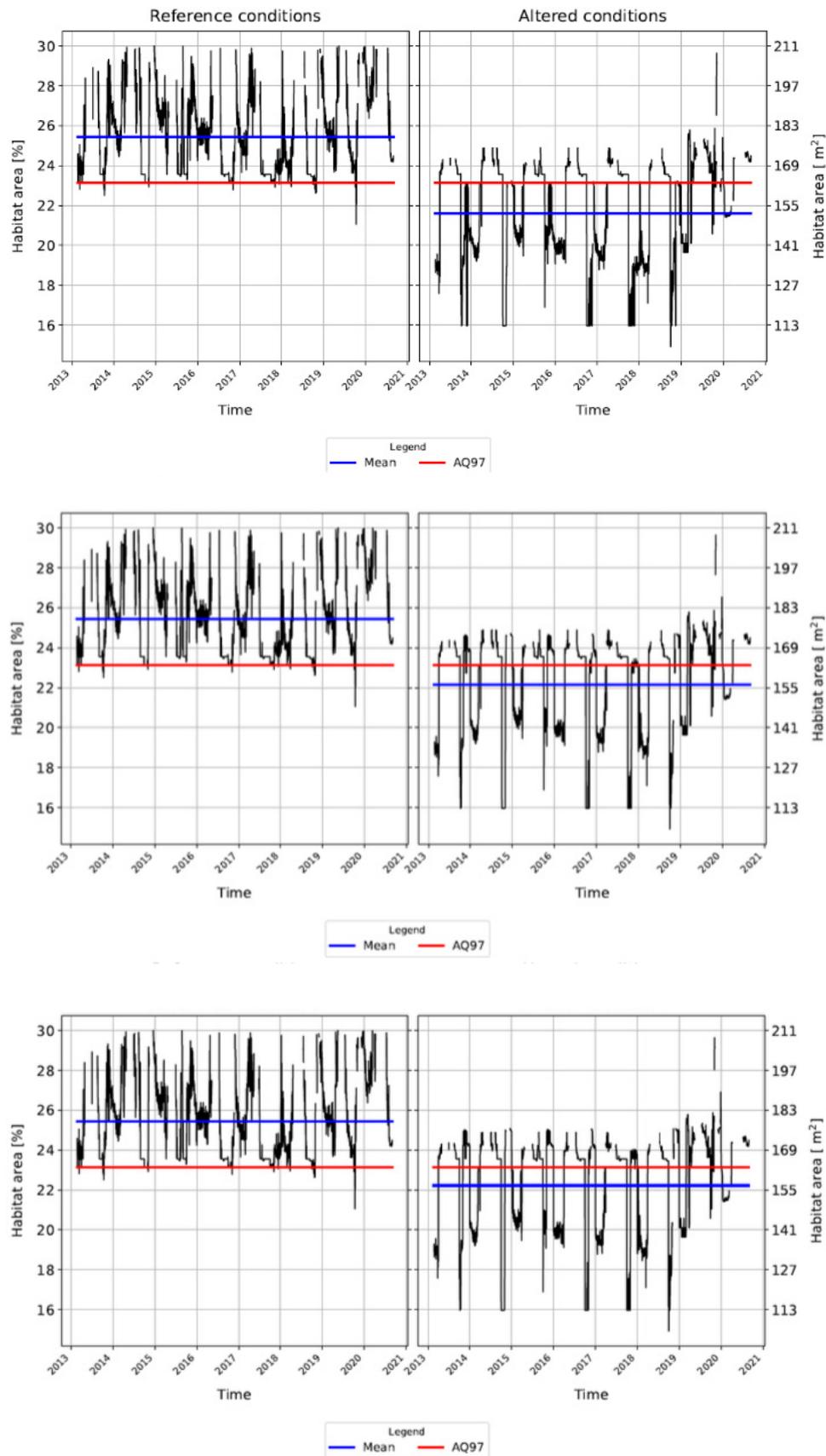


Figura 67 - Serie temporali di habitat per la trota fario adulta nelle tre alternative

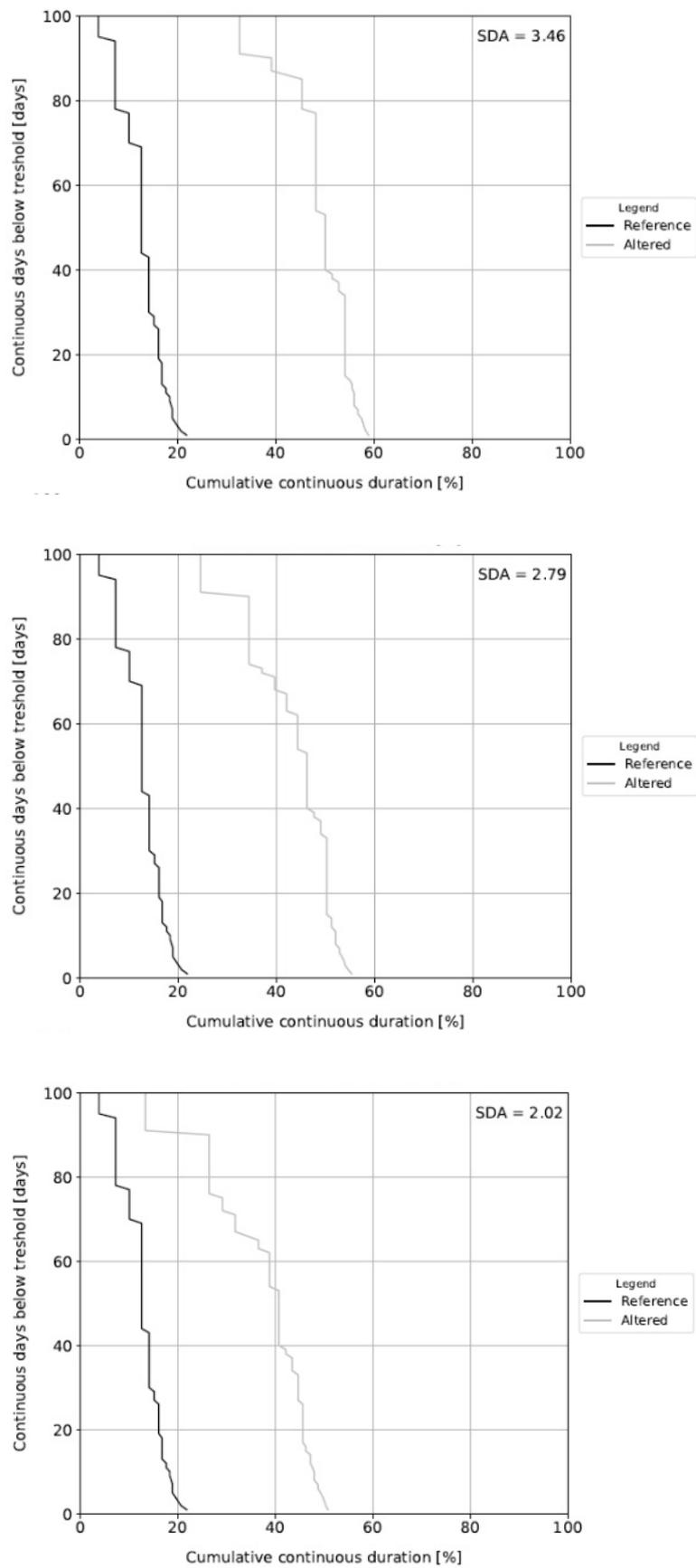


Figura 68 - Curve UCUT per la trota fario adulta nelle tre alternative

Le osservazioni per la specie trota marmorata adulta e lo stadio giovane sono le stesse del precedente studio. Gli indici ITH hanno valori pari a uno con SDA uguale a 0 per tutte le alternative e le due specie considerate evidenziando un'alterazione inesistente tra condizione di riferimento e condizione alterata. Oltre a ciò, gli indici ISH sono tutti maggiori di 0.9 esibendo una variabilità spaziale minima.

Da questi semplici confronti, si dimostra esplicitamente il perché dell'aumento dei valori dell'indice IH relativi alle alternative create senza il prelievo. L'indice IH è dipendente dai parametri appena confrontati e il suo valore è subordinato esclusivamente da questi.

Considerando il contributo del prelievo, la morfologia del fiume cambia notevolmente, cambia la portata di deflusso, cambiano le unità idro-morfologiche presenti nel fiume e i parametri ambientali di velocità, profondità e substrato al loro interno e cambia di conseguenza la quantità di habitat disponibile per le specie acquatiche. Da questa analisi risulta evidente che il fiume Saint Barthelemy risente della perdita annuale delle ingenti quantità di acqua consegnate al consorzio Crepellaz e che le sue risorse idriche siano eccessivamente sfruttate.

In conclusione, a seguito delle due applicazioni della metodologia MesoHABSIM, si devono prendere provvedimenti nella gestione ambientale del corso d'acqua e progettare misure di riqualificazione fluviale ai fini di tutelare le specie presenti in esso.

6. Conclusioni

Il presente lavoro di tesi si focalizza sullo studio delle interazioni esistenti tra idro-morfologia fluviale e specie acquatiche nei corsi d'acqua superficiali attraverso l'applicazione della metodologia MesoHABSIM e l'implementazione del software SimStream.

A seguito di una dettagliata descrizione della metodologia MesoHABSIM, viene proposta un'elaborazione e una standardizzazione dei dati storici idro-morfologici dei torrenti Grand' Eyvia, Lys, Marmore, Saint Barthelemy, Savara, Urtier e Valgrise, situati in Valle d'Aosta.

L'elaborazione dei dati storici ha come obiettivo il raggiungimento dell'accettabilità e conformità ai vincoli restrittivi del software SimStream al fine di implementare la metodologia MesoHABSIM.

I dati storici elaborati e riordinati hanno dimostrato un valido funzionamento del software SimStream e hanno avvalorato la possibilità di essere utilizzati per l'applicazione della metodologia MesoHABSIM, anche se raccolti antecedentemente la pubblicazione del manuale da parte di ISPRA (MLG ISPRA 154/2017). I risultati così ottenuti, infatti, possono essere utilizzati per proporre nuovi valori di rilascio che minimizzino l'impatto ambientale sulla fauna ittica.

Inoltre, si propone un'applicazione completa del modello a meso-scala al caso studio del torrente Saint Barthelemy per le specie trota fario e trota marmorata, nel loro stadio adulto e giovane. Il caso studio è mostrato per evidenziare l'efficacia della metodologia e la possibilità di utilizzare i dati storici nel calcolo dell'indice d'integrità d'habitat fluviale IH e nella simulazione di ipotetici scenari idro-morfologici.

Lo studio è stato condotto per un periodo di sette anni, utilizzando i dati idro-morfologici corretti e i dati idrologici storici secondo le indicazioni del manuale ISPRA 154/2017, al fine di valutare il grado di alterazione esistente nel torrente, causato dalla presenza dell'impianto idroelettrico di Nus e dallo sfruttamento delle sue acque per scopi irrigui dal consorzio Crepellaz.

L'analisi delle variazioni spazio-temporali di habitat nella condizione attuale ha fornito un valore dell'indice d'integrità d'habitat fluviale pessimo. Tuttavia la simulazione di ipotetici scenari idro-morfologici caratterizzati da un modesto aumento del DMV nei mesi di novembre e dicembre ha mostrato un potenziale miglioramento della disponibilità di habitat per la fauna ittica. Da questa analisi, si deduce che l'attuale utilizzo plurimo (idroelettrico e irriguo) della risorsa idrica risulta la causa principale di mancanza di habitat per la fauna.

Una seconda simulazione ha avuto l'obiettivo di isolare l'effetto della sola derivazione idrica. Questa analisi ha restituito, in maniera complementare, valori d'indice IH maggiori rispetto al primo studio, alcuni dei quali superiori al valore 0.4, classificando l'integrità dell'habitat come sufficiente.

Da questo confronto, si è appreso che il prelievo estivo, dovuto alla produzione idroelettrica e all'irrigazione, ha una notevole influenza sullo stato di qualità ecologica del fiume e sulla variabilità della disponibilità di habitat per le specie interessate. Si riporta inoltre la necessità di misurare con esattezza la portata derivata dal Consorzio Crepellaz durante il periodo irriguo, al fine di conoscere con maggiore dettaglio la quantità di risorsa disponibile alla presa durante i periodi magra estivi/autunnali.

In conclusione, il presente lavoro di tesi documenta una considerevole efficacia della metodologia MesoHABSIM e una elevata duttilità del software SimStream per la definizione dell'habitat disponibile delle specie acquatiche negli ecosistemi fluviali, anche attraverso l'utilizzo di dati idrologici e utilizzo plurimo della risorsa idrica, rappresentando uno strumento efficace per la gestione integrata delle risorse idriche.

7. Appendice

In questa sezione, è esposto il lavoro di elaborazione e standardizzazione dei dati relativi ai corsi d'acqua elencati in precedenza. La correzione dei dati per ogni fiume è eseguita secondo le tre fasi elaborate nel capitolo 4 e illustrate nel dettaglio per il sotto-tratto 1 del Lys.

7.1 Grand'Eyvia

La Grand'Eyvia è un torrente che solca la Val di Cogne in Valle d'Aosta ed è un affluente di destra della Dora Baltea. Lungo il suo percorso, attraversa il comune di Aymavilles, nel quale si trova l'omonima centrale idroelettrica che sfrutta le sue acque per creare energia.

I dati del Grand'Eyvia sono relativi a tre rilievi fluviali aventi portate di deflusso rispettivamente pari a 0.30, 2.59 e 6.521 m³/s.

La riclassificazione delle UMI eseguita è rappresentata nella figura 69.

Grand'Eyvia										
1	Data				24/11/2010				Ok	
	Portata [l/s]				2590					
2	Data				22/11/2011					
	Portata [l/s]				300					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	29	Step pools	29	Step	-2.051	0.04	51.3	50.7	6.6	Cascade
	17	Step pools	17	Step	-1.383	0.048	28.8	28.2	6.5	Cascade
10	Step pools	10	Step	-0.547	0.045	12.2	12.4	4.5	Cascade	
3	Data				23/08/2012					
	Portata [l/s]				6521					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	1	Step pool	1	Step	-1.572	0.035	44.9	42	13	Cascade
	4	Step pool	4	Step	-0.841	0.039	21.6	7.3	14	Step
10	Waterfall	10	Step	-1.257	0.127	9.9	7.6	11.5	Step	
11	Step pool	11	Step	-1.322	0.027	49.0	48.7	4	Cascade	

Figura 69 – Riclassificazione delle unità idro-morfologiche per i tre rilievi del Grand'Eyvia.

La verifica di coerenza interna del dato ha portato alla correzione del grafico a gradini della distribuzione di frequenza cumulata della profondità. Il grafico presenta un errore nella classe comprendente i valori di profondità da 0.30 m a 0.45 m del rilievo a portata maggiore (Fig. 70).

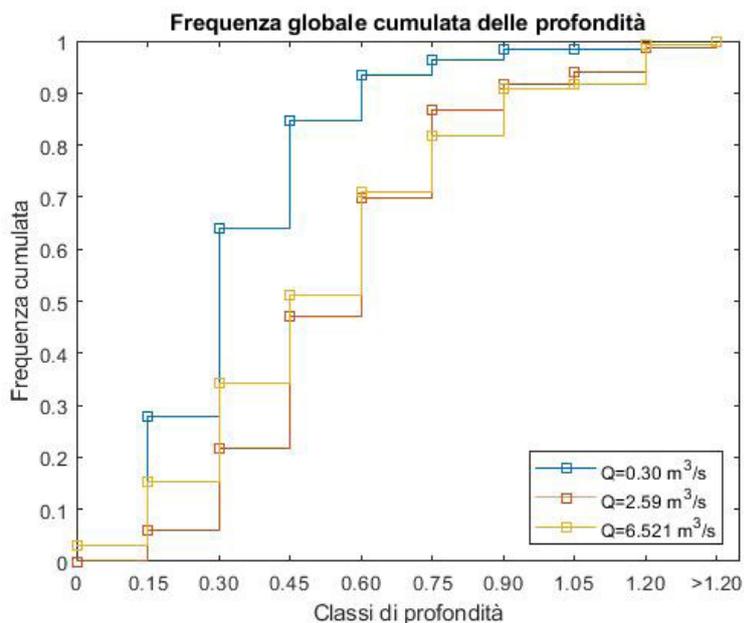


Figura 70 - Distribuzione di frequenza cumulata della profondità prima della correzione

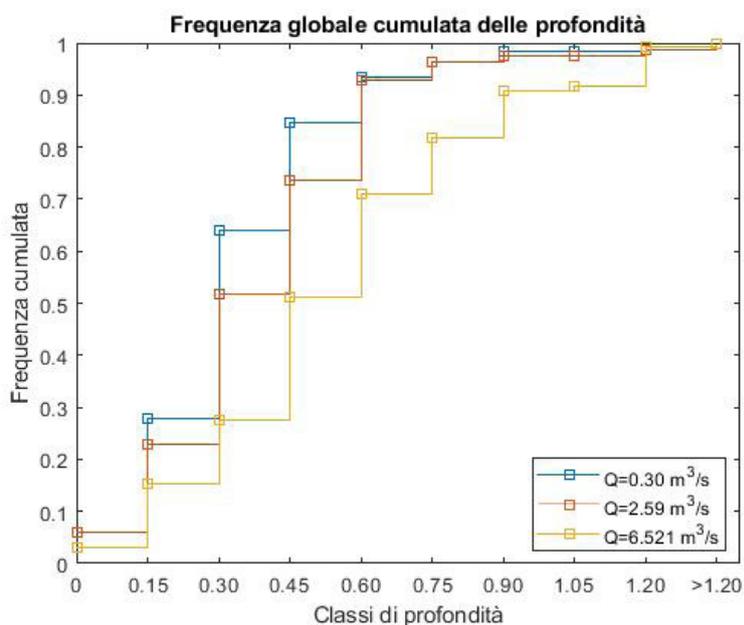


Figura 71 - Distribuzione di frequenza cumulata della profondità dopo la correzione

Le modifiche apportate hanno interessato le UMI aventi maggiori di sette punti di misurazione. I grafici della distribuzione di frequenza della velocità e del substrato e la curva Habitat-Portata risultano corretti.

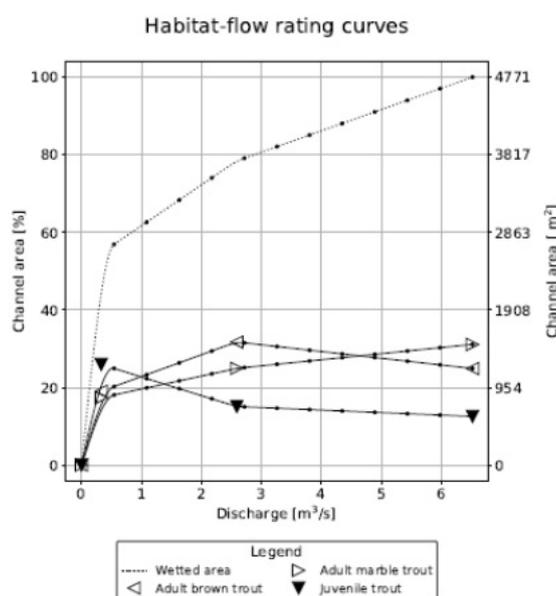


Figura 72 – Curva Habitat-Portata del Grand' Eyvia

7.2 Lys- Sotto-tratto 2

Il Lys è un fiume che nasce in Francia ed è lungo 202 chilometri. Lo studio del corso d'acqua è stato diviso in quattro sotto-tratti (Lys 1, Lys2, Lys3 e Lys4). I dati del Lys2 sono relativi a tre rilievi fluviali aventi portata di deflusso 0.37, 0.783 e 4.338 m³/s.

La verifica della classificazione delle UMI non ha espresso nessuna UMI classificata scorrettamente per tutti e tre i rilievi.

Inoltre, anche l'accertamento della coerenza interna dei valori di profondità, velocità e substrato non ha prodotto nessuna incongruenza.

La curva Habitat-Portata invece presenta un errore per la trota marmorata adulta alla portata 0.783 m³/s.

Le modifiche per correggere l'errore consistono nel trasformare l'habitat della UMI 7, classificata come *Pool*, da *Not suitable* a *Suitable* nel secondo rilievo per la specie individuata secondo il rispettivo modello biologico.

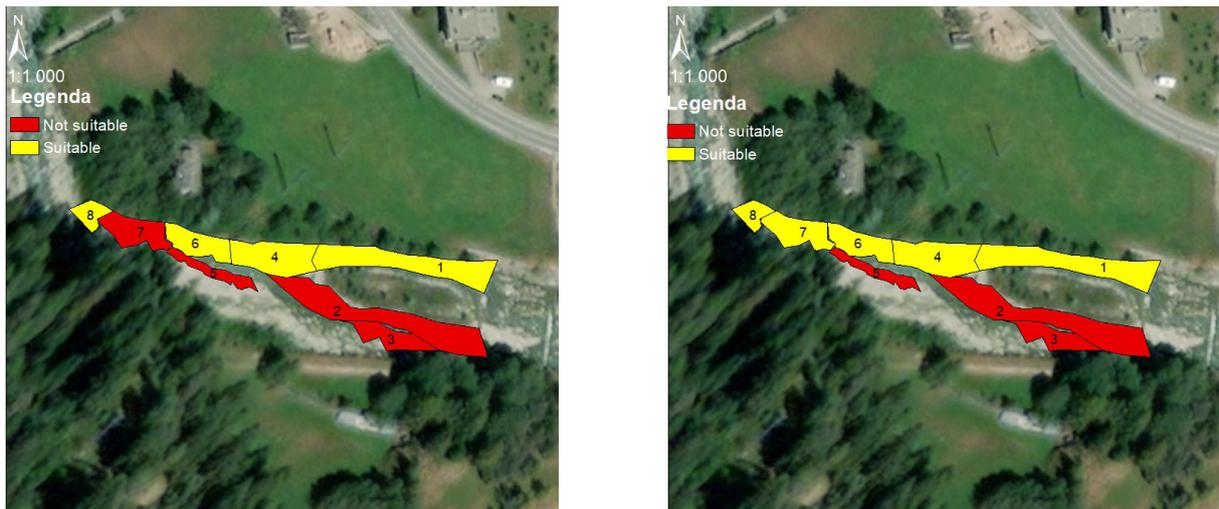


Figura 73- Suitability Map prima e dopo la correzione per il secondo rilievo per la trota marmorata adulta

La curva Habitat- Portata risulta così corretta, figura 74.

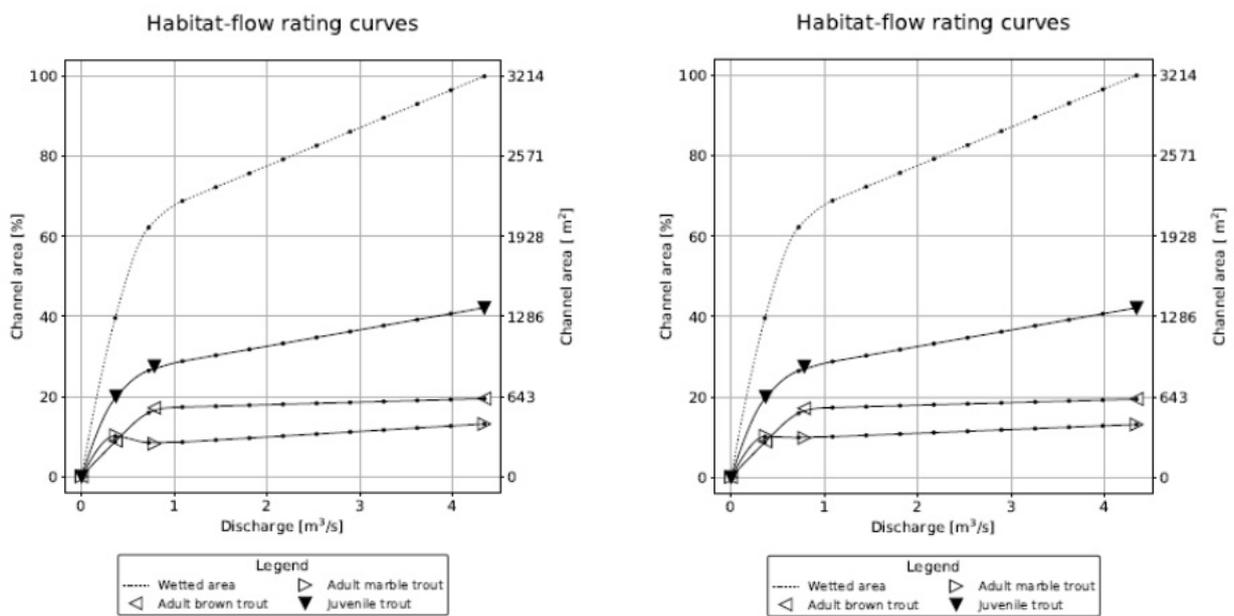


Figura 74 - Curva Habitat- Porta prima e dopo la correzione del Lys 2

7.3 Lys- Sotto-tratto 3

I dati del sotto-tratto Lys3 sono riferiti alle misurazioni effettuate in tre rilievi fluviali aventi portata di deflusso pari a 0.57, 0.80 e 11.78 m³/s. Le correzioni hanno interessato i grafici di distribuzione di frequenza cumulata della velocità e del substrato mentre il grafico di distribuzione di frequenza cumulata della profondità, la curva Habitat-Portata e la classificazione delle UMI sono corretti.

Il grafico della distribuzione di frequenza cumulata della velocità presenta un errore distribuito nelle classi comprendenti i valori di velocità da 0 a 0.45 m/s, mentre il grafico della distribuzione di frequenza cumulata del substrato presenta un'anomalia nella classe dei Macrolithal e Gigalithal per il rilievo di portata 0.80 m³/s. I grafici a confronto sono di seguito riportati.

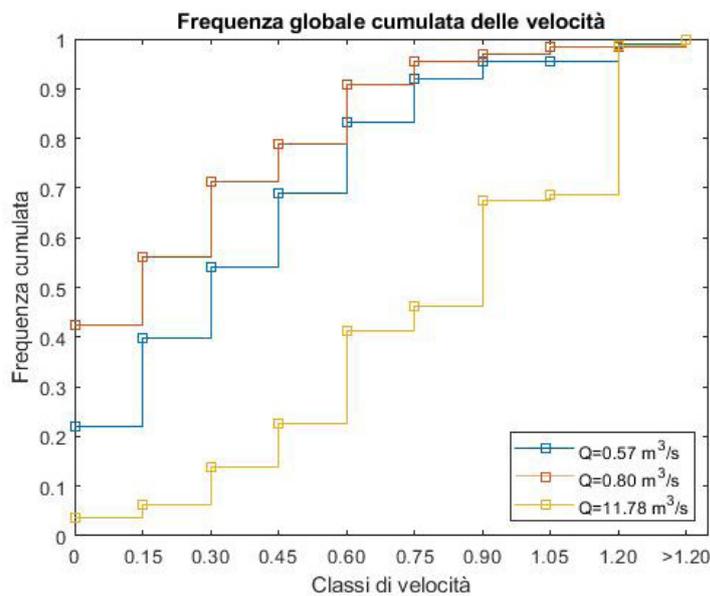


Figura 75 - Distribuzione di frequenza cumulata della velocità prima della correzione

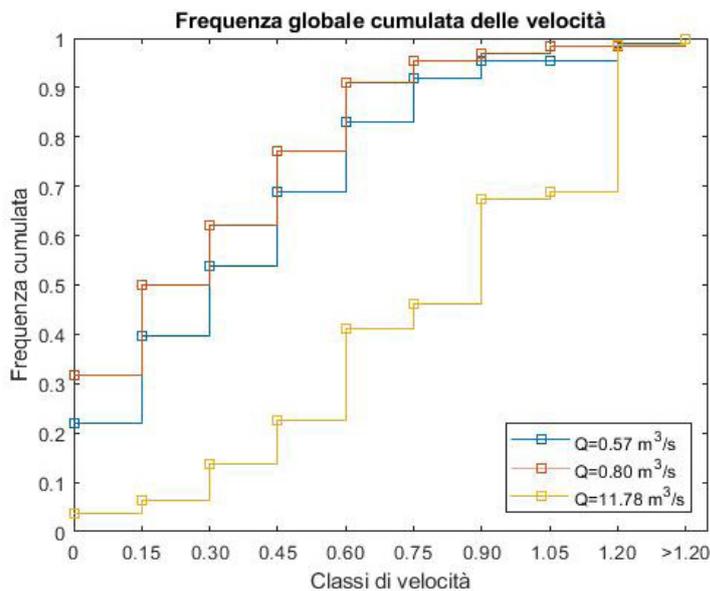


Figura 76 - Distribuzione di frequenza cumulata della velocità dopo la correzione

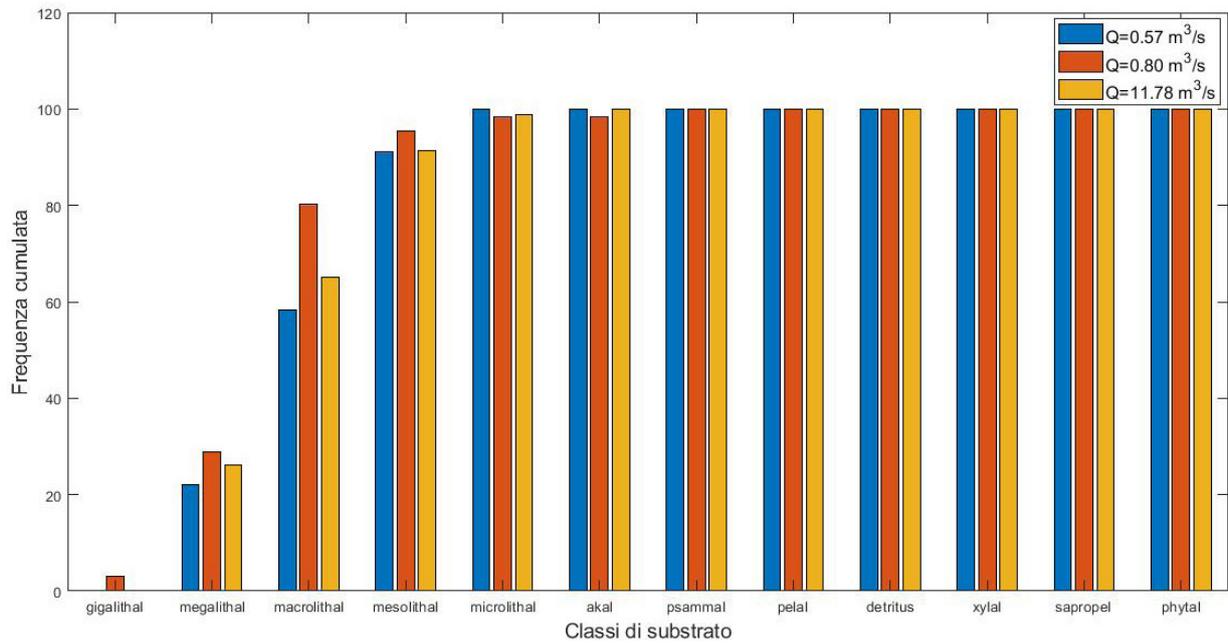


Figura 77 - Distribuzione di frequenza cumulata del substrato prima della correzione

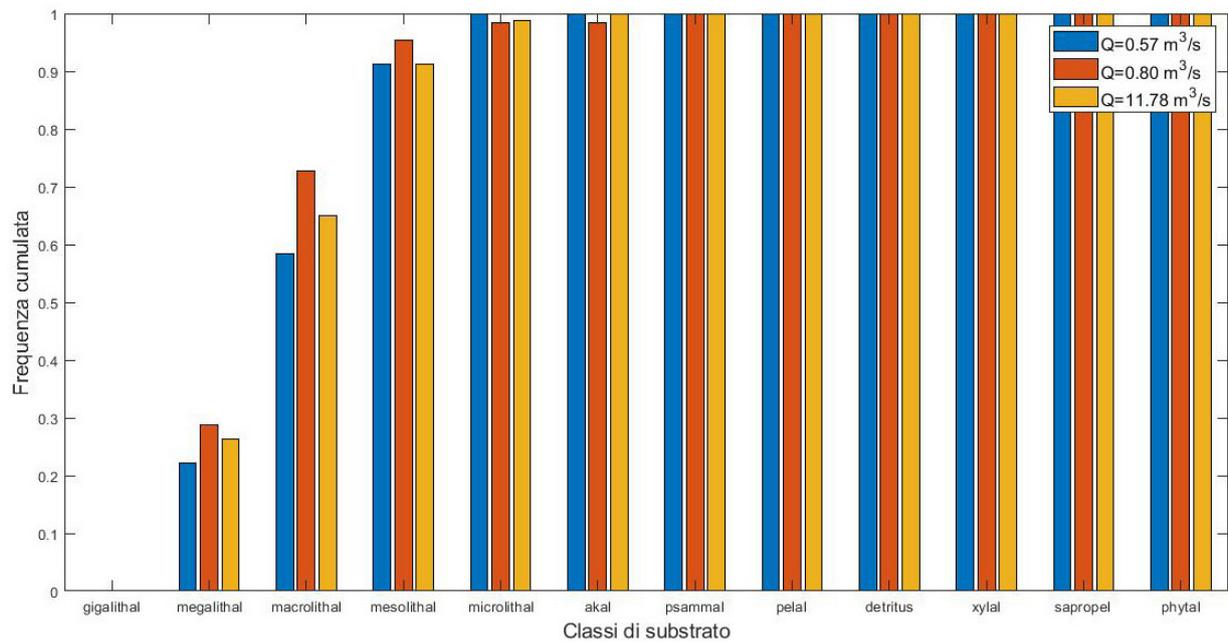


Figura 78 - Distribuzione di frequenza cumulata del substrato dopo la correzione

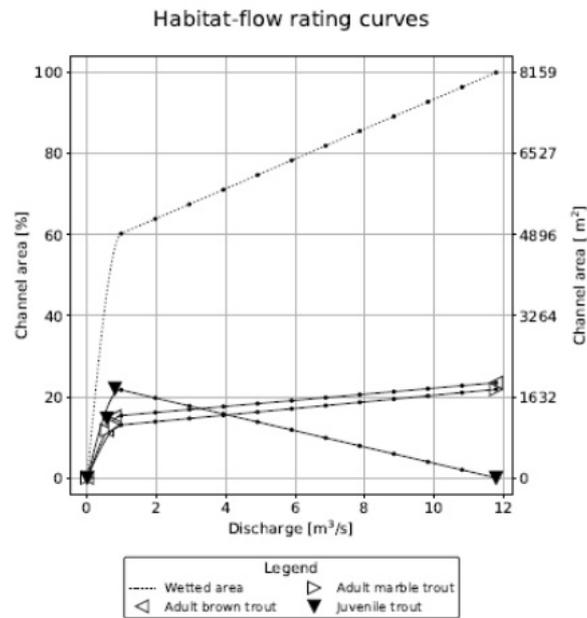


Figura 79 – Curva Habitat-Portata del Lys 3

7.4 Lys- Sotto-tratto 4

I dati del sotto-tratto Lys4 sono riferiti alle misurazioni effettuate in tre rilievi fluviali aventi portata di deflusso pari a 0.975, 1.97 e 11.82 m³/s.

La correzione è stata eseguita per la classificazione delle UMI e per il grafico di distribuzione di frequenza cumulata della profondità.

La riclassificazione delle unità morfologiche classificate in maniera errata è riportata nella figura 80 per tutti e tre i rilievi.

Lys 4										
1	Data				05/12/2010					
	Portata [l/s]				975					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	5	Cascade	5	Step	-2.649	0.173	15.3	12.8	7.7	Step
	15	Step pools	15	Step	-1.92	0.153	12.5	13.8	17.3	Cascade
10	Step pools	10	Step	-1.6	0.158	10.1	10.7	5.5	Cascade	
25	Step pools	25	Step	-1.5	0.079	19.0	18.1	13.2	Cascade	
2	Data				27/11/2011					
	Portata [l/s]				1970					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
5	Cascade	5	Step	-2.801	0.171	16.4	8	6.9	Step	
13	Step pools	13	Step	-1.372	0.026	52.8	60	17	Cascade	
3	Data				29/05/2012					
	Portata [l/s]				11820					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	5	Cascade	5	Step	-2.423	0.148	16.4	13.6	15.7	Step
8	Step pools	8	Step	-1.87	0.053	35.3	29.3	31.7	Cascade	
11	Step pools	11	Step	-1.968	0.074	26.6	22.7	10	Pool	
14	Step pools	14	Waterfall	-3.761	0.122	30.8	30	23	Cascade	

Figura 80 - Riclassificazione delle UMI per il Lys4

Il grafico della frequenza cumulata di profondità presenta un errore nella classe tra 0.15 e 0.30 m per il terzo rilievo a portata 11.82 m³/s.

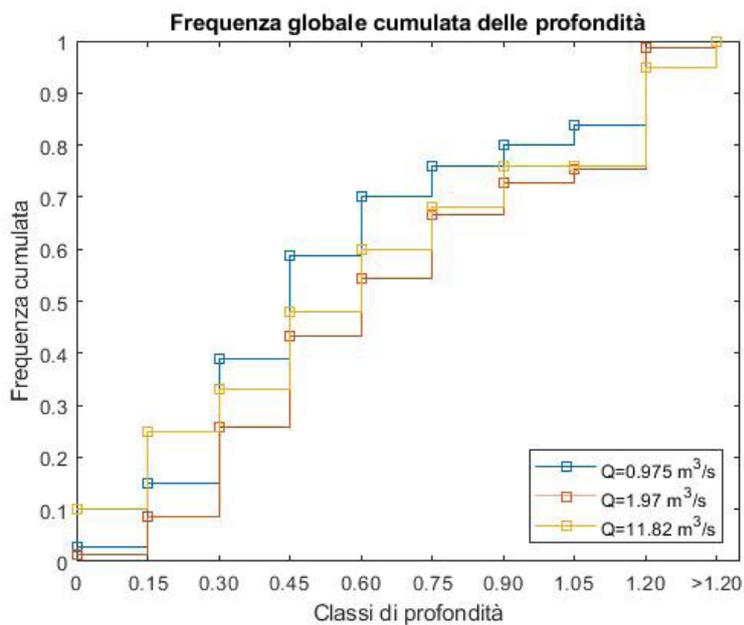


Figura 81 - Distribuzione di frequenza cumulata della profondità prima della correzione

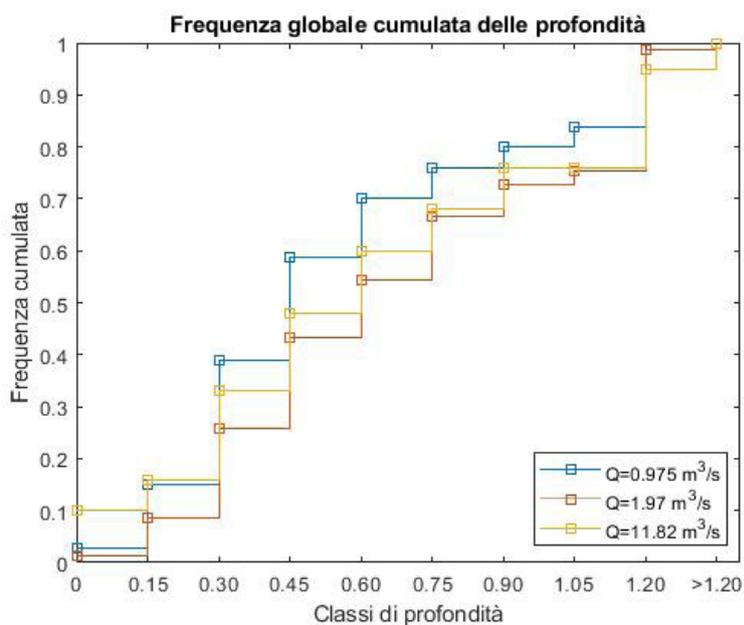


Figura 82 - Distribuzione di frequenza cumulata della profondità dopo la correzione

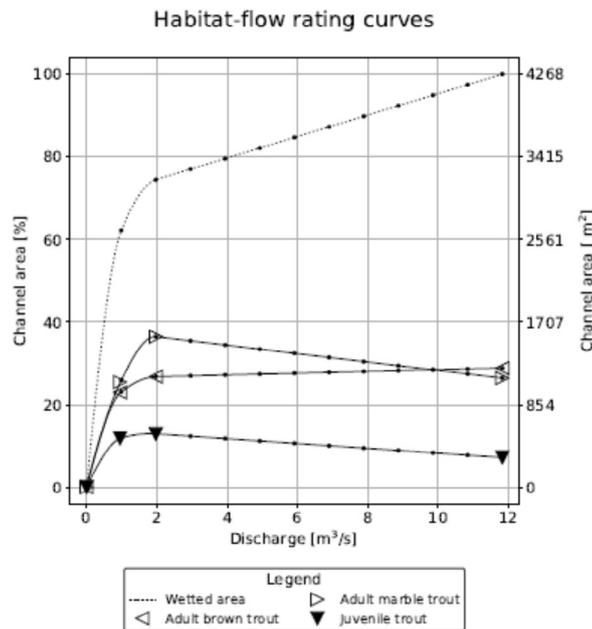


Figura 83- Curva Habitat-Portata del Lys 4

7.5 Marmore – Sotto-tratto 1

Il Marmore è il principale torrente della Valtournenche, in Valle d’Aosta, ed è un affluente di sinistra della Dora Baltea. Il torrente è sfruttato per produrre energia idroelettrica ed alimenta la centrale di Châtillon, nel comune omonimo e la centrale di Covalou, ad Antey-Saint-André. Lo studio del torrente è stato diviso in tre sotto-tratti, Marmore 1, Marmore 2 e Marmore 3, in questo sotto-capitolo si esamineranno l’elaborazione dei dati del sotto-tratto 1 relativi a tre rilievi fluviali aventi portate di deflusso pari a 0.35, 0.52, 0.905 m3/s. La classificazione delle unità morfologiche e il grafico di distribuzione di frequenza cumulata della velocità sono stati sottoposti a modifica.

Marmore 1									
Data				26/11/2010					
Portata [l/s]				350					
File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
N.	UMI	N.	UMI						
17	Step pools	17	Step	-1.848	0.139	13.3	12.1	7.4	Cascade
13	Step pools	13	Step	-0.583	0.06	9.7	8	4.4	Cascade
4	Step pools	4	Step	-0.893	0.069	12.9	11	8	Cascade
2	Step pools	2	Step	-1.336	0.071	18.8	19	5.1	Cascade
Data				20/12/2011					
Portata [l/s]				520					
File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
N.	UMI	N.	UMI						
10	Step pool	10	Step	-1.92	0.078	24.6	25.2	9.4	Cascade
7	Step pool	7	Step	-2.55	0.065	39.2	39	5.8	Cascade
4	Step pool	4	Step	-0.73	0.11	6.6	5.3	8.7	Step
2	Step pool	2	Step	-0.746	0.041	18.2	15.5	5.1	Cascade
Data				01/06/2012					
Portata [l/s]				905					
File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
N.	UMI	N.	UMI						
19	Step pools	19	Step	-0.815	0.052	15.7	17.6	6.2	Cascade
18	Step pools	18	Step	-0.815	0.054	15.1	20.4	6.4	Cascade
16	Step pools	16	Step	-1.028	0.068	15.1	14	4.5	Cascade
14	Step pools	14	Step	-0.39	0.018	21.7	26	9.3	Cascade
11	Step pools	11	Step	-0.973	0.069	14.1	19.8	6.2	Cascade
8	Step pools	8	Step	-0.56	0.045	12.4	12.6	6.8	Cascade
2	Step pools	2	Step	-0.28	0.01	28.0	35	6.6	Cascade

Figura 84 – Riclassificazione UMI per il Marmore 1

La frequenza cumulata della velocità ha un errore distribuito nelle classi comprendenti i valori da 0 a 0.45 m.

I cambiamenti dei valori di velocità sono stati eseguiti per il primo e il secondo rilievo a causa dell'entità dell'errore.

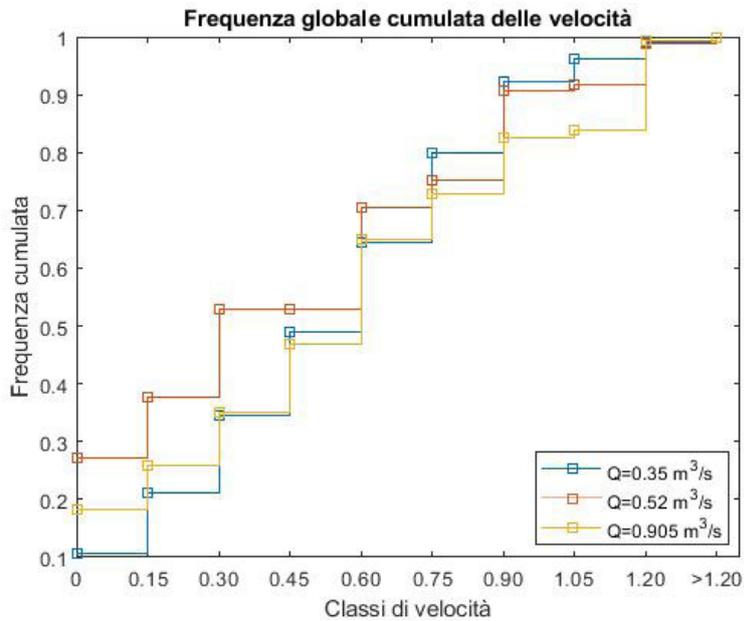


Figura 85 - Distribuzione di frequenza cumulata di velocità prima della correzione

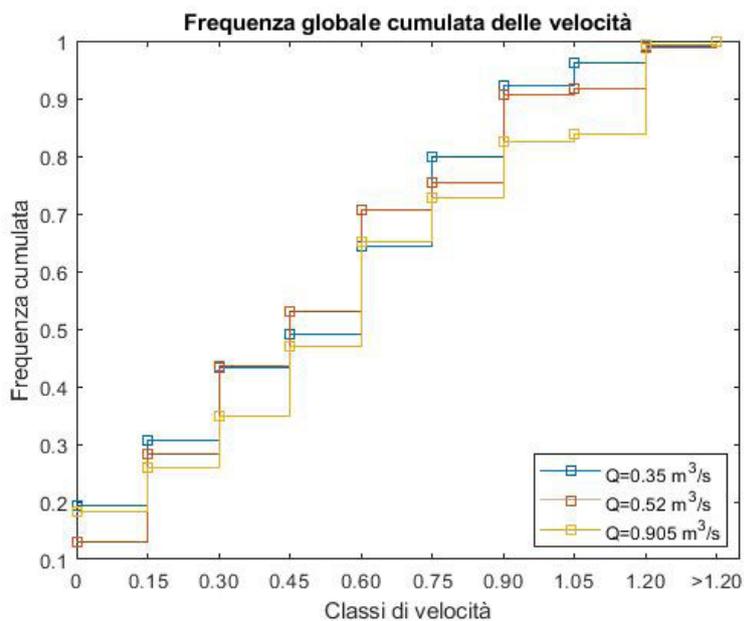


Figura 86 – Distribuzione di frequenza cumulata di velocità dopo la correzione

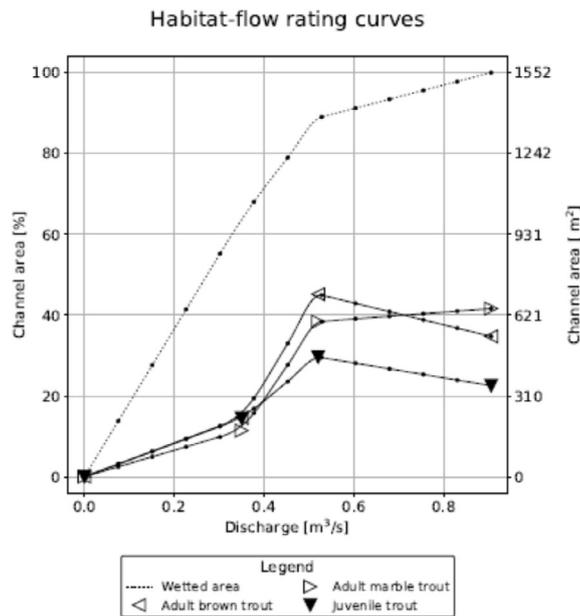


Figura 87 – Curva Habitat-Portata del Marmore 1

7.6 Marmore – Sotto-tratto 2

I dati del sotto-tratto Marmore 2 sono riferiti alle misurazioni effettuate in tre rilievi fluviali aventi portata di deflusso pari a 0.49, 0.85 e 1.07 m³/s.

La correzione della classificazione delle unità morfologiche è riportata nella figura 88.

Marmore 2										
1	Data				26/11/2010					
	Portata [l/s]				490					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	2	Step pool	2	Step	-1.195	0.1	12.0	11.8	2.1	Cascade
	4	Step pool	4	Step	-0.735	0.066	11.1	10.7	5.6	Cascade
	7	Step pool	7	Step	-1.75	0.067	26.1	23.3	6.5	Cascade
11	Step pool	11	Step	-1.266	0.049	25.8	25.5	4.2	Cascade	
15	Step pool	15	Step	-2.015	0.048	42.0	44	5.6	Cascade	
2	Data				20/12/2011					
	Portata [l/s]				850					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	20	Step pool	20	Step	-1.198	0.04	30.0	30	9.5	Cascade
	9	Step pool	9	Step	-1.024	0.059	17.4	15.7	7.3	Cascade
	4	Step pool	4	Step	-0.415	0.036	11.5	11.7	5.3	Cascade
2	Step pool	2	Step	-0.245	0.02	12.3	12.3	4	Cascade	
3	Data				01/06/2012					
	Portata [l/s]				1070					
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	22	Step pool	22	Step	-1.491	0.058	25.7	28.9	6.2	Cascade
7	Step pool	7	Step	-1.529	0.063	24.3	20.3	8.3	Cascade	
4	Step pool	4	Step	-0.78	0.045	17.3	19.5	8.1	Cascade	

Figura 88 - Riclassificazione delle UMI per il Marmore 2

Per la verifica della coerenza interna della distribuzione di frequenza dei valori di profondità, considerata inesatta per le classi da 0 a 0.30 m, sono state prese in considerazione le UMI modificabili ossia quelle unità morfologiche aventi più di sette punti di misurazione e sovrapponibili tra due rilievi a confronto. In questo caso i rilievi da considerare sono il rilievo a portata 0.85 m³/s, preso come riferimento, e il rilievo a portata 0.49 m³/s. Per ognuna di queste UMI si è costruito un istogramma alle due portate rappresentante la frequenza assoluta dei valori di profondità e si è eseguito un confronto tra i due. Il confronto consiste nell'individuare eventuali incoerenze nel dato; per esempio, si ricerca una traslazione verso la parte destra del grafico, da un istogramma a portata minore a uno a portata maggiore, rappresentante, in termini di frequenza assoluta, la presenza di un numero maggiore di valori di profondità compresi nelle classi più alte. Se questa traslazione non è presente si corregge il dato in modo da ottenerla.

Marmore 2				
Profondità				UMI modificabili
Riferimento		Modifica		
Portata	0.85	Portata	0.49	
Data	20/12/2011	Data	26/11/2010	
N.UMI	Tipo UMI	N.UMI	Tipo UMI	
20	Cascade	15	Cascade	si
17	Rapid	13	Rapid	
15	Pool	12	Pool	
14	Riffle	11	Cascade	si
13	Pool	10	Pool	si
9	Cascade	7	Cascade	
7	Rapid	6	Rapid	si
3	Rapid	3	Rapid	si
2	Cascade	2	Cascade	
1	Pool	1	Pool	si

Figura 89 - UMI modificabili per il Marmore 2

Nella tabella in figura 89 sono riportate le unità modificabili per il Marmore 2, per ciascuna UMI del rilievo di riferimento si è individuata l'unità corrispondente nel rilievo da modificare e si è eseguito il confronto; esempio la UMI 14 del rilievo di riferimento è stato confrontato con la UMI 11 del rilievo da modificare

Il grafico di distribuzione della frequenza cumulata della profondità è stato così corretto, vedi figura 90 e 91.

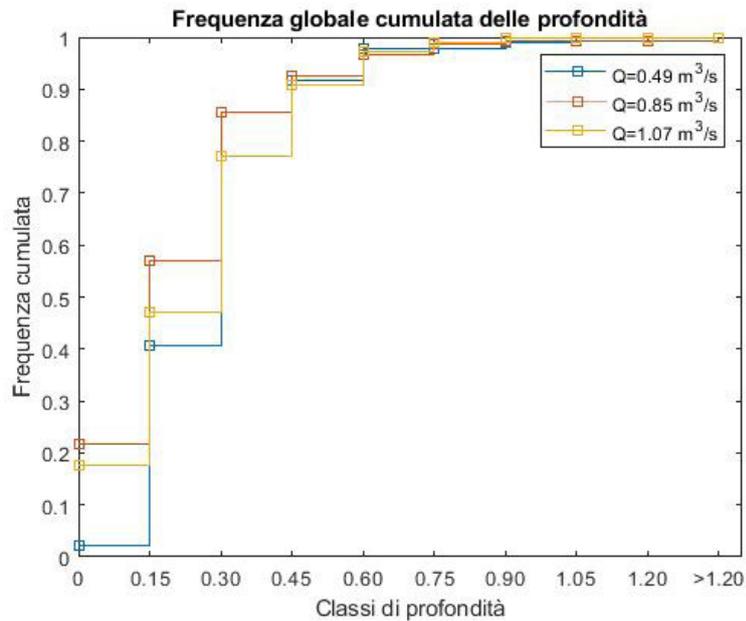


Figura 90 – Distribuzione di frequenza cumulata della profondità prima della correzione

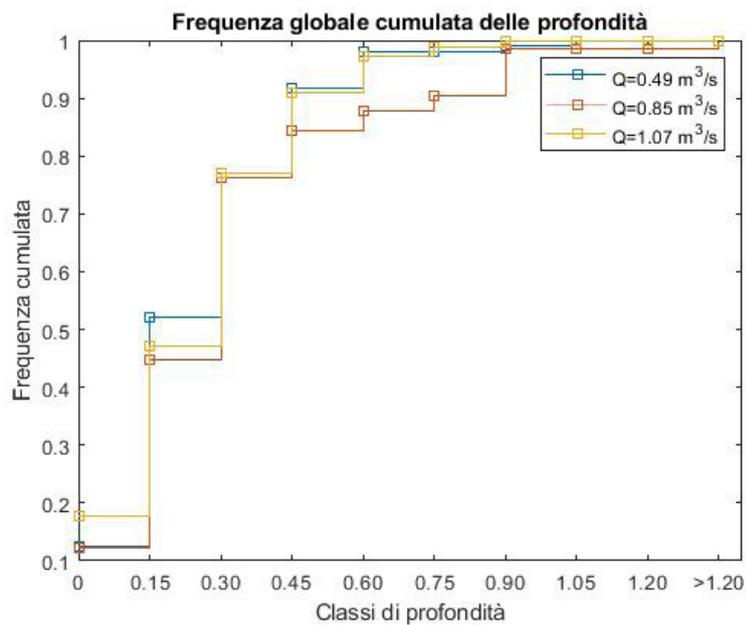


Figura 91 – Distribuzione di frequenza cumulata di profondità dopo la correzione

La curva Habitat-Portata è stata corretta nel rilievo a portata 0.85 m³/s per la specie trota marmorata adulta e lo stadio giovane. Nella colonna centrale della figura 92 sono state riportate le modifiche dell'utilizzo dell'habitat per ciascuna specie.

Adult Marble Trout			
UMI	490 l/s	850 l/s	1070 l/s
7	Optimal	Suitable--> Optimal	Suitable
9	Optimal	Suitable--> Optimal	Optimal
10	Suitable	Not Suitable --> Suitable	Optimal
20	Suitable	Not Suitable --> Suitable	Suitable
Juvenile trout			
3	Optimal	Not suitable --> Optimal	Not Suitable
8	Optimal	Not suitable --> Optimal	Not Suitable
12	Optimal	Not suitable --> Optimal	Not Suitable

Figura 92 - Modifiche alle Suitability Map per la specie trota marmorata adulta e lo stadio giovane per il secondo rilievo del Marmore 2

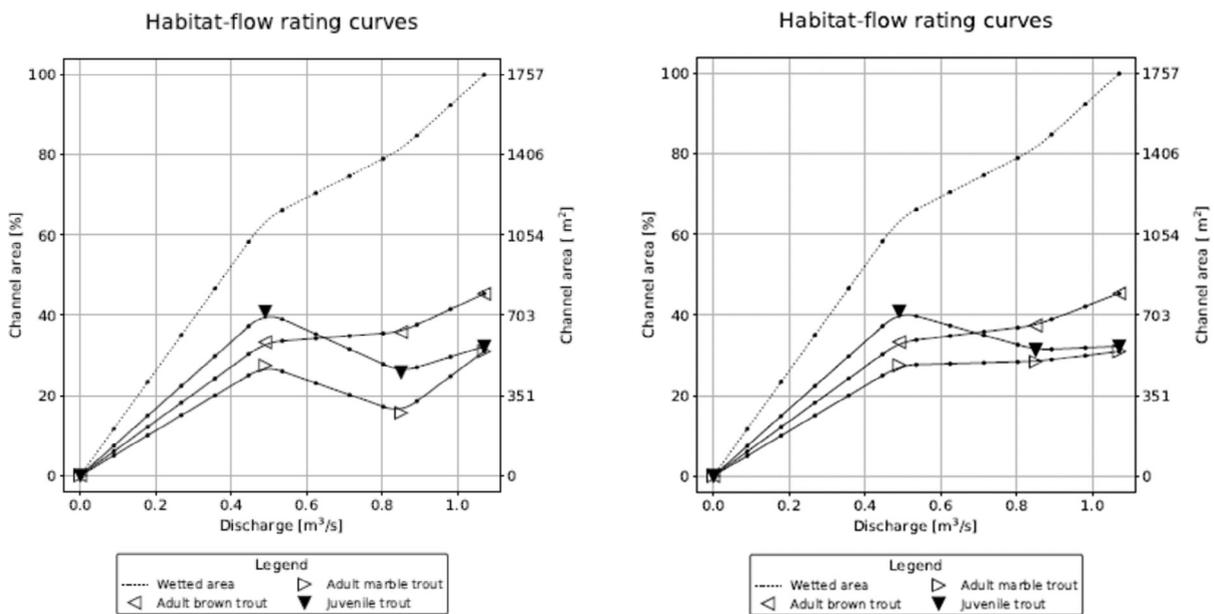


Figura 93 – Curva Habitat- Portata prima e dopo la correzione delle Suitability Map per il Marmore 2

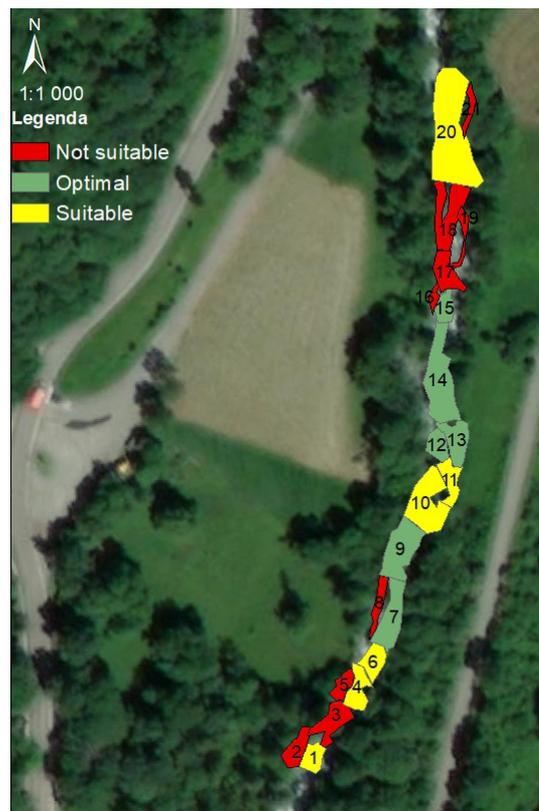
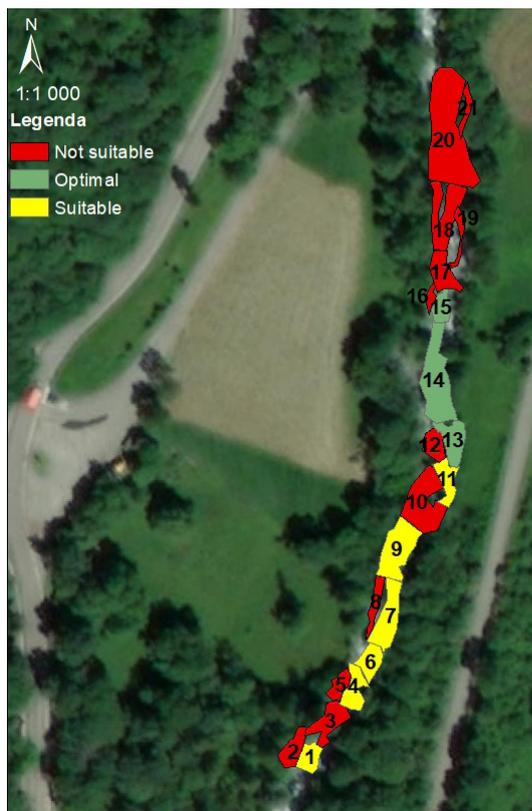


Figura 94 - Suitability Map prima e dopo la correzione per la specie trota marmorata adulta

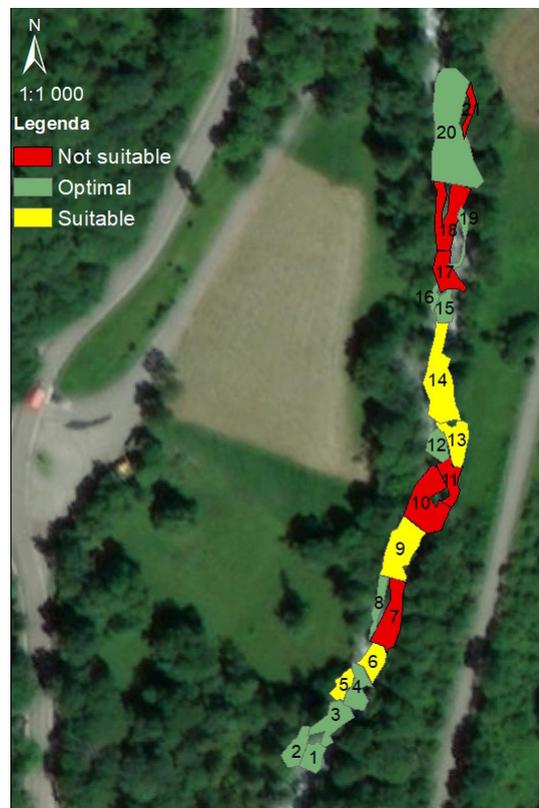
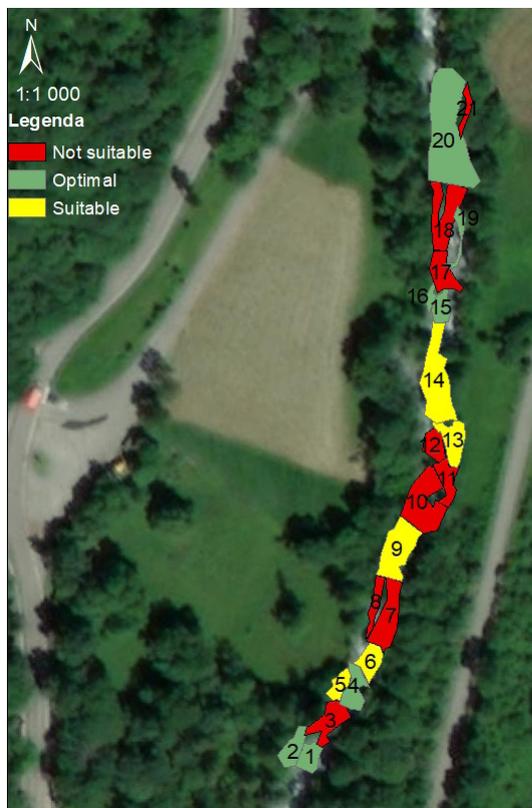


Figura 95 – Suitability Map prima e dopo la correzione per lo stadio giovane

7.7 Marmore – Sotto-tratto 3

I dati del sotto-tratto Marmore 3 sono riferiti alle misurazioni effettuate in tre rilievi fluviali aventi portata di deflusso pari a 0.56, 0.70, 1.46 m³/s.

La correzione della classificazione delle unità morfologiche è riportata nella figura 96 ed ha interessato solo il terzo rilievo fluviale.

Marmore 3										
1	Data		26/11/2010						Ok	
	Portata [l/s]		700							
2	Data		30/11/2011						Ok	
	Portata [l/s]		560							
3	Data		01/06/2012							
	Portata [l/s]		1460							
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione
	N.	UMI	N.	UMI						
	1	Step pools	1	Step	-1.486	0.081	18.3	16.8	7	Cascade
	5	Step pools	5	Step	-0.297	0.029	10.2	15.5	5.1	Cascade
	9	Waterfall	9	Step	-0.71	0.219	3.2	2.3	1.9	Step

Figura 96 – Riclassificazione UMI del Marmore 3

La verifica della coerenza interna del dato è stata eseguita tramite il confronto degli istogrammi come nel Marmore 2 ed ha interessato il grafico di distribuzione della frequenza cumulata di velocità, in particolare le classi da 0.15 a 0.45 m/s per il secondo rilievo. Inoltre la curva Habitat-Portata è corretta.

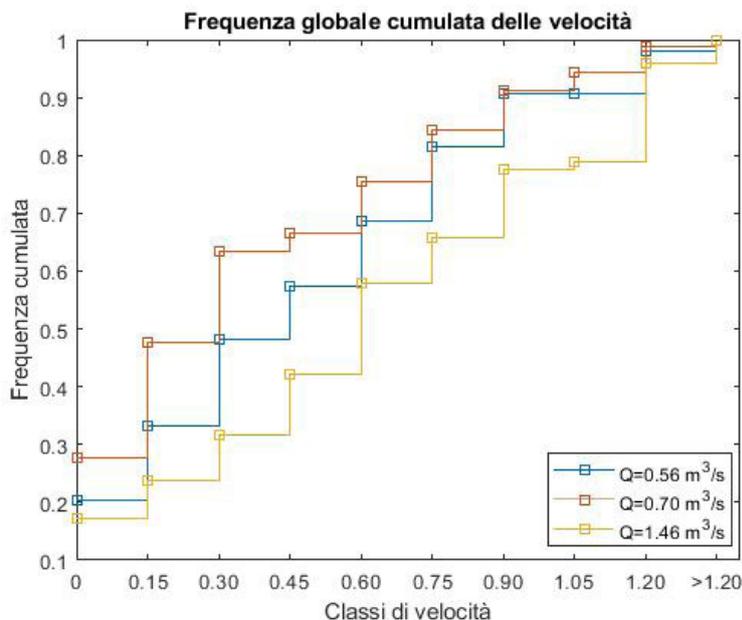


Figura 97 – Distribuzione di frequenza cumulata della velocità prima della correzione

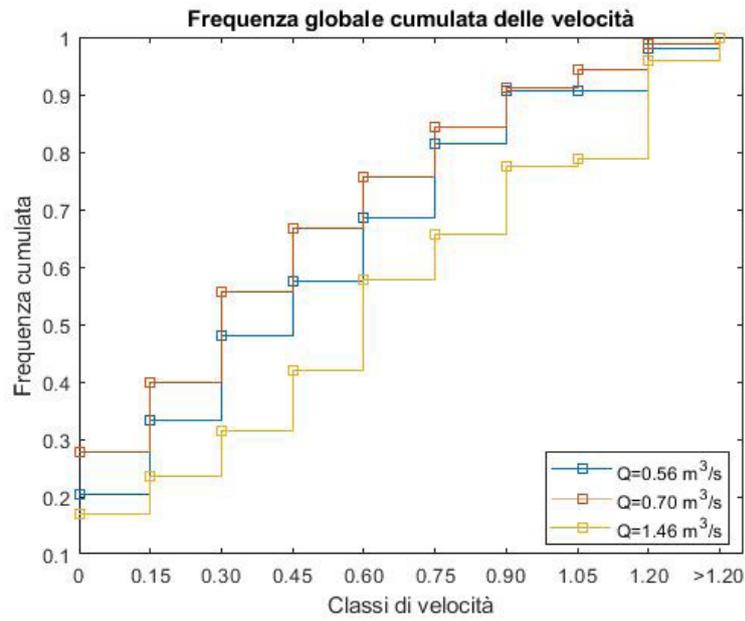


Figura 98 – Distribuzione di frequenza cumulata della velocità dopo la correzione

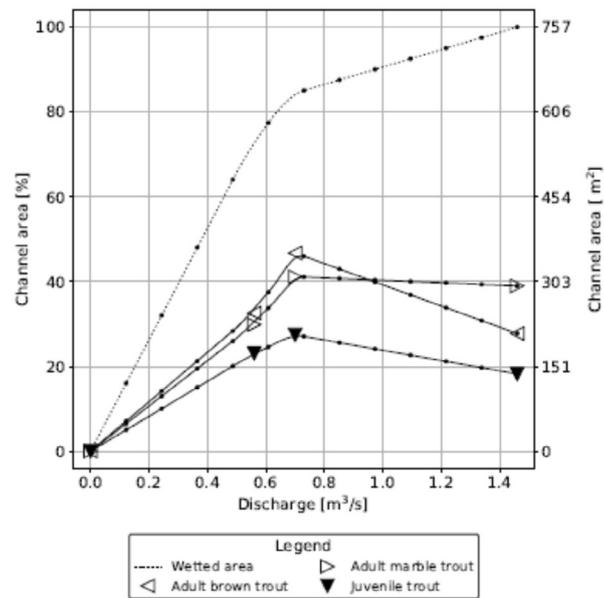


Figura 99 – Curva Habitat-Portata del Marmore 3

7.8 Savara

Il Savara (detto anche Dora del Nivolet) è un torrente che solca la Valsavarenche nella Valle d'Aosta ed è un affluente di destra della Dora Baltea. I dati del Savara sono riferiti alle misurazioni effettuate in quattro rilievi fluviali aventi portata di deflusso pari a 0.30, 1.30, 2.7 e 10.40 m³/s. La riclassificazione delle UMI è riportata nella figura 100.

Savara											
1	Data				21/12/2010						
	Portata [l/s]				300						
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione	
	N.	UMI	N.	UMI							
	1	Step pools	1	Step	-0.5	0.176	2.8	4	2.2	Cascade	
	9	Step pools	8	Step	-0.6	0.092	6.5	6.9	1.8	Cascade	
	10	Step pools	9	Step	-0.6	0.055	10.9	10.8	2.6	Cascade	
	14-14	Step pools	13	Step	-0.9	0.03	30.0	30.3	7.5	Pool	
	16	Step pools	15	Step	-0.6	0.047	12.8	8.9	4.8	Step	
	24	Step pools	23	Step	-0.4	0.038	10.5	3.6	10.7	Step	
	26	Step pools	25	Step	-0.9	0.096	9.4	6.8	6.7	Step	
	30	Step pools	29	Step	-0.4	0.03	13.3	10.3	9	Cascade	
	42	Cascade	37	Step	-0.4	0.199	2.0	1.5	4	Step	
	43	Step pools	38	Step	-1	0.065	15.4	14.5	6.2	Cascade	
	45	Cascade	40	Step	-0.8	0.387	2.1	1.2	1.5	Step	
	44	Cascade	39	Step	-1.1	0.237	4.6	4	1.6	Step	
	55	Step pools	50	Step	-0.5	0.05	10.0	10.4	7.8	Pool	
2	Data				24/11/2011						
	Portata [l/s]				1300						
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione	
	N.	UMI	N.	UMI							
		4	Step pool	4	Step	-1.559	0.192	8.1	8.2	3	Cascade
		8	Step pool	8	Step	-1.014	0.113	9.0	10.8	2.5	Cascade
		15	Step pool	15	Step	-1.099	0.037	29.7	28.6	11.5	Cascade
		19	Step pool	19	Step	-0.687	0.046	14.9	6.1	11.2	Step
		21	Step pool	21	Step	-1.475	0.058	25.4	23.6	7.5	Cascade
		23	Step pool	23	Step	-0.283	0.037	7.6	8.5	4.8	Step
		31	Step pool	31	Step	-0.647	0.038	17.0	3.9	15.2	Step
		33	Step pool	33	Step	-1.07	0.065	16.5	15.3	6	Cascade
	35	Step pool	35	Step	-0.731	0.107	6.8	5.7	8.7	Step	
	36	Cascade	36	Step	-1.427	0.268	5.3	6	1.9	Step	
	40	Step pool	40	Step	-0.2	0.015	13.3	6.3	13.6	Pool	
3	Data				17/05/2012						
	Portata [l/s]				2700						
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione	
	N.	UMI	N.	UMI							
		6	Step pool	6	Step	-0.833	0.046	18.1	18.2	9	Cascade
		12	Step pool	12	Step	-0.564	0.029	19.4	20	7.6	Cascade
	14	Waterfall	14	Step	-0.516	0.107	4.8	3	4	Step	
	27	Step pool	20	Step	-1.058	0.048	22.0	20.8	5.5	Cascade	
	29	Waterfall	22	Step	-1.43	0.202	7.1	3.8	7.5	Step	
4	Data				28/05/2012						
	Portata [l/s]				10400						
	File originale		File modificato		ΔH	Pendenza	Lunghezza (calcolata)	Lunghezza (misurata)	Larghezza [m]	Correzione	
N.	UMI	N.	UMI								
	26	Step pool	22	Step	-1.275	0.063	20.2	20	5	Pool	

Figura 100- Riclassificazione delle unità morfologiche per i tre rilievi del Savara

La correzione ha riguardato il grafico di distribuzione di frequenza cumulata di profondità per il rilievo a portata maggiore (classi da 0 a 0.45 m) e di substrato (classi Megalithal e Macrolithal) per il rilievo a portata 1.30 m³/s.

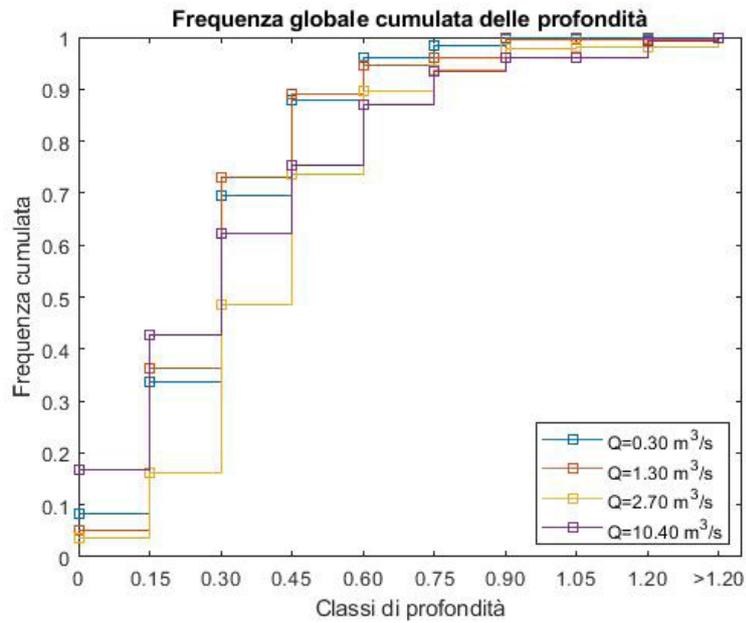


Figura 101 - Distribuzione di frequenza cumulata della profondità prima della correzione

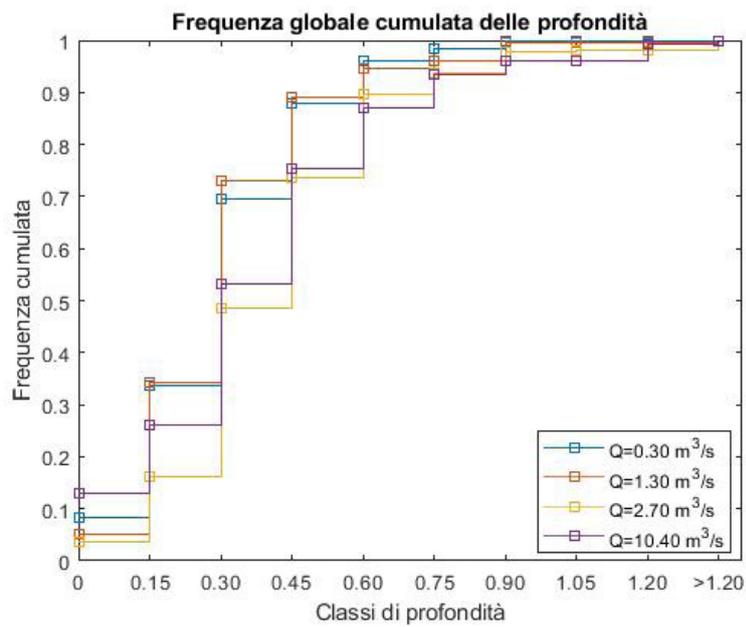


Figura 102 - Distribuzione di frequenza cumulata della profondità dopo la correzione

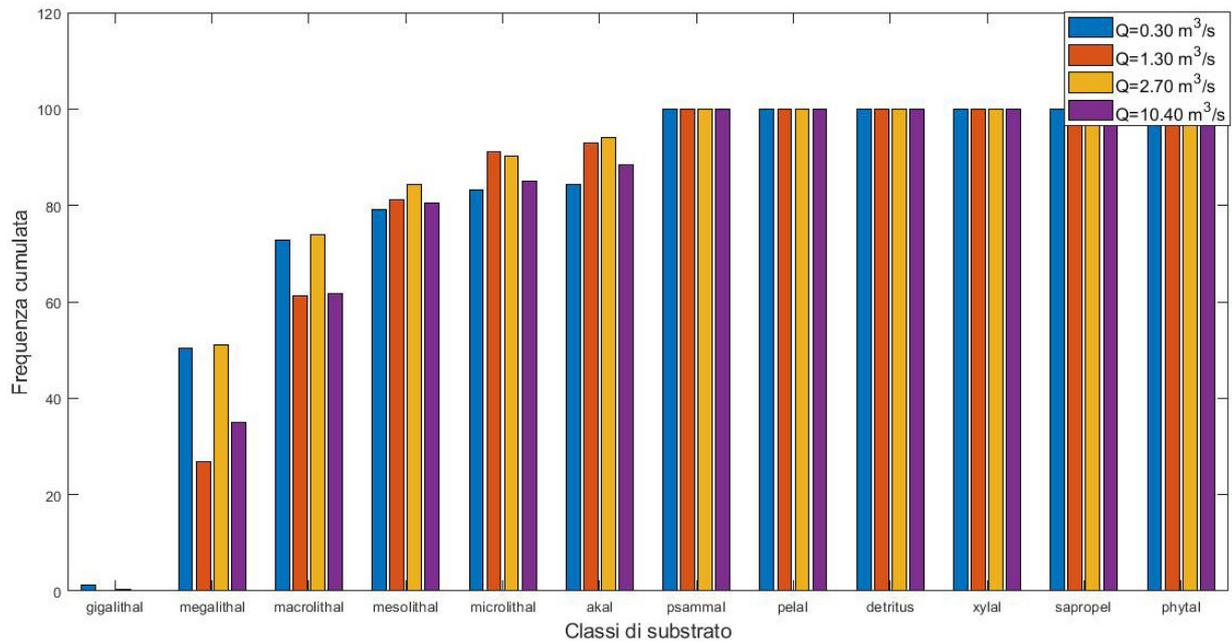


Figura 103 - Distribuzione di frequenza cumulata del substrato prima della

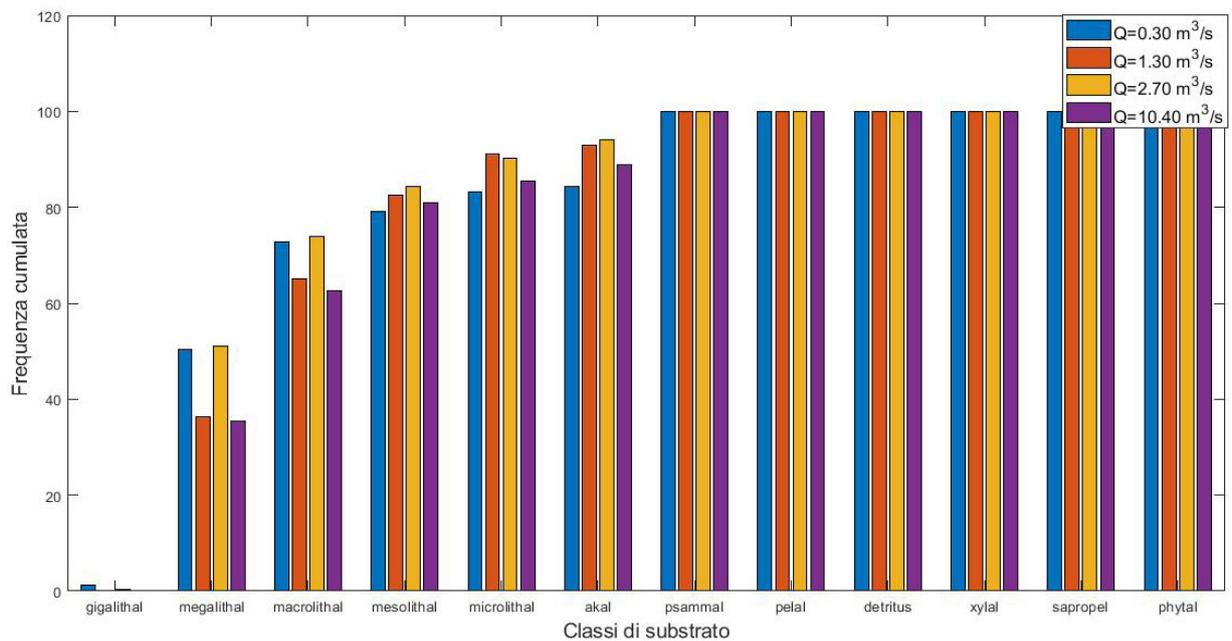


Figura 104 - Distribuzione di frequenza cumulata del substrato dopo la correzione

La curva Habitat-Portata presenta un errore per la specie trota marmorata adulta alla portata 1.30 m³/s. La correzione consiste nel trasformare le unità 16, Rapid, e 33, Cascade, da Suitable a Optimal per la specie target.

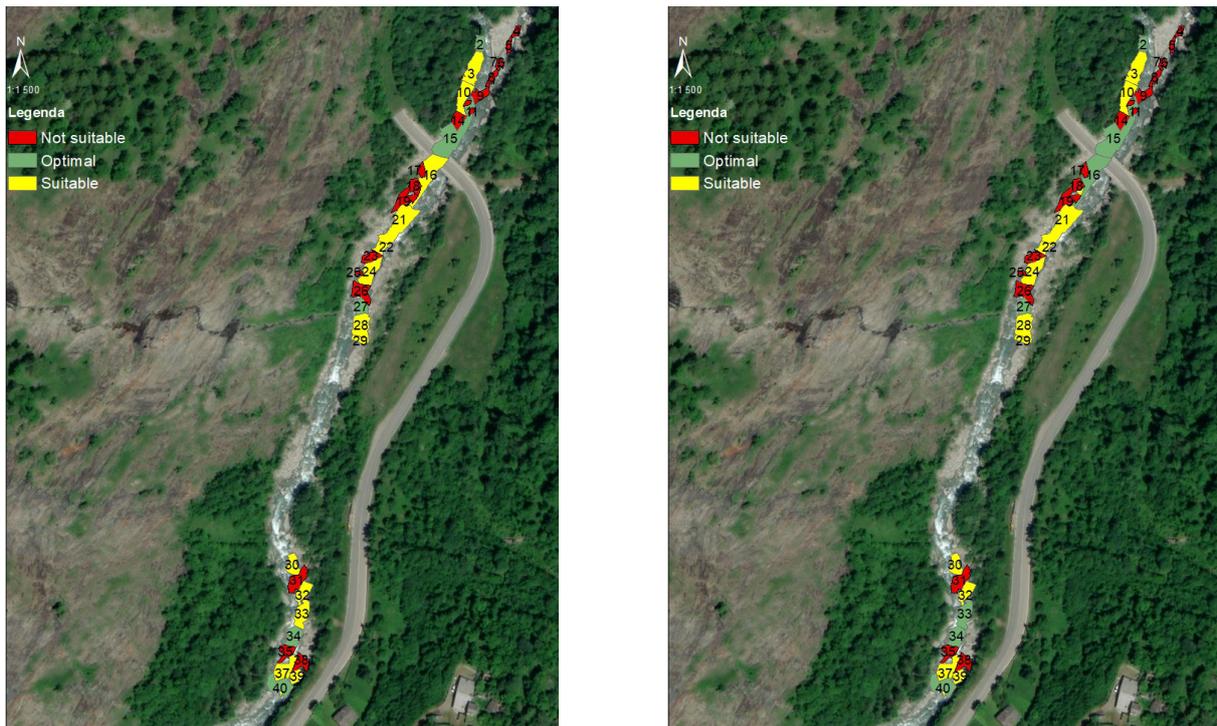


Figura 105 - Suitability Map prima e dopo la correzione per trota marmorata adulta

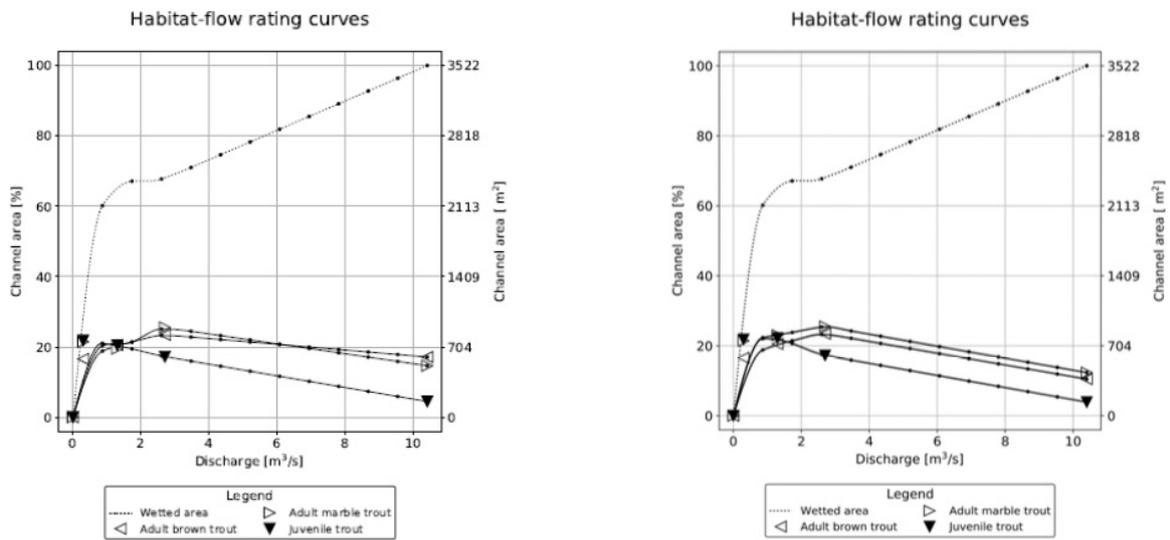


Figura 106 - Curva Habitat-Portata prima e dopo la correzione del Savara

7.9 Urtier

L'Urtier è un torrente che attraversa la Val di Cogne ed è un affluente del torrente Grand'Eyvia. I dati dell'Urtier sono riferiti alle misurazioni effettuate in quattro rilievi fluviali aventi portata di deflusso pari a 0.04, 0.15, 0.697 e 4.12 m³/s. La riclassificazione delle UMI non è stata necessaria mentre si è provveduto alla correzione del grafico di distribuzione di frequenza cumulata della velocità per il rilievo a portata 0.15 avente un errore nelle classi da 0 a 0.30 m/s.

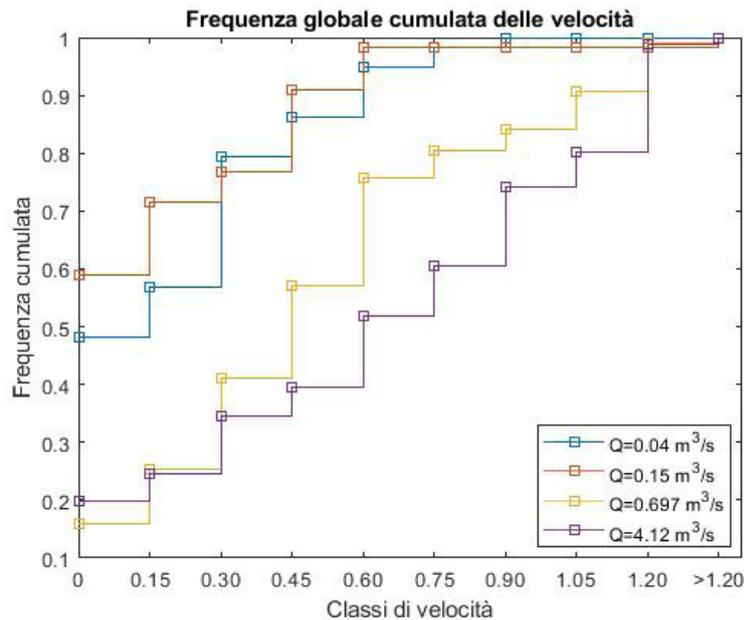


Figura 107 –Distribuzione di frequenza cumulata di velocità prima della correzione

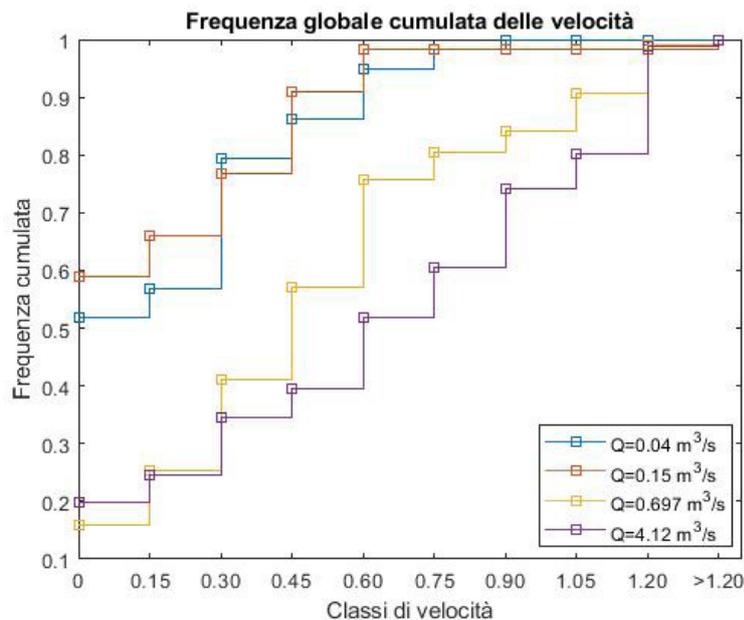


Figura 108 –Distribuzione di frequenza cumulata di velocità dopo la correzione

La curva Habitat-Portata ha un andamento anomalo per la specie trota marmorata adulta alla portata 0.04 m³/s. L'errore è stato corretto trasformando l'habitat delle UMI 6 e 8, classificate come Pool, da, rispettivamente, Optimal e Suitable a Not Suitable.



Figura 109 – Suitability Map prima e dopo la correzione per la trota marmorata adulta

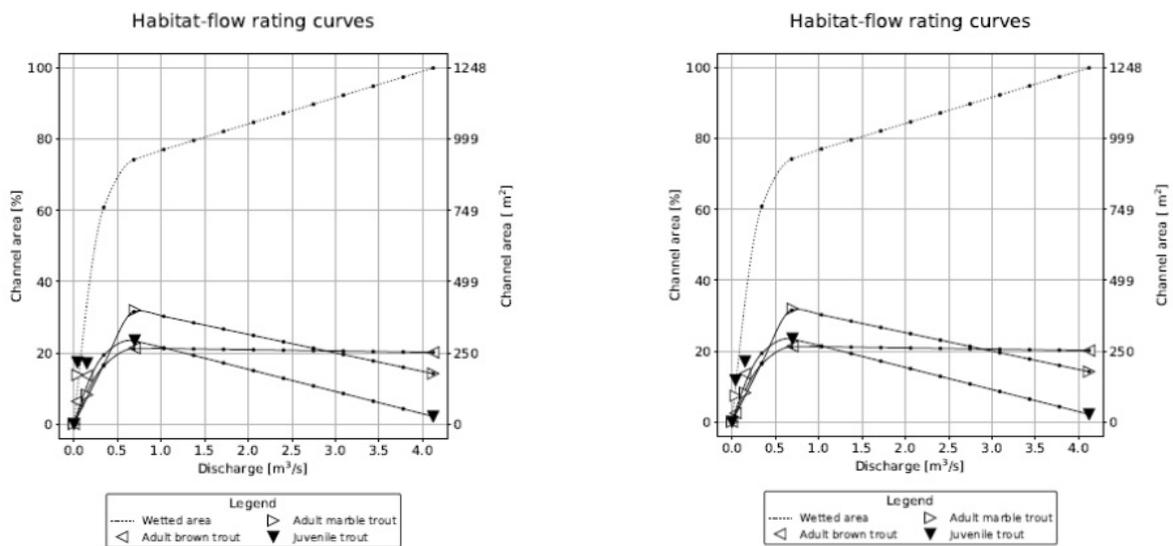


Figura 110 – Curva Habitat-Portata prima e dopo la correzione del Urtier

7.10 Valgrise

Il Valgrise o Dora di Valgrisenche è un torrente che percorre per più di 28 km la Valgrisenche ed è un affluente di destra della Dora Baltea. Lungo il suo corso la Dora di Valgrisenche è usata per produrre energia idroelettrica. Nel comune di Avise si trova la centrale omonima che ne sfrutta le acque. I dati del Valgrise sono riferiti alle misurazioni effettuate in tre rilievi fluviali aventi portata di deflusso pari a 0.098, 0.28, e 2.45 m³/s. La riclassificazione delle UMI non è stata necessaria mentre si è provveduto alla correzione del grafico di distribuzione di frequenza cumulata della profondità per il rilievo a portata 2.45 m³/s, avente un errore distribuito nelle classi da 0.30 a 1.20 m. A causa dell'entità dell'errore le modifiche sono state apportate ai valori di profondità del rilievo interessato e anche ai valori del rilievo con portata 0.28 m³/s. Inoltre si è corretto il grafico di distribuzione di frequenza cumulata del substrato per la classe Megalithal per lo stesso rilievo.

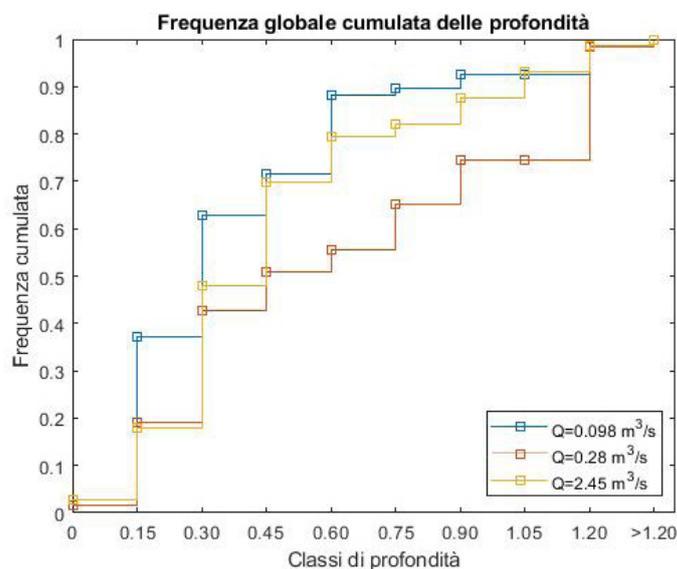


Figura 111 – Distribuzione di frequenza cumulata della profondità prima della correzione

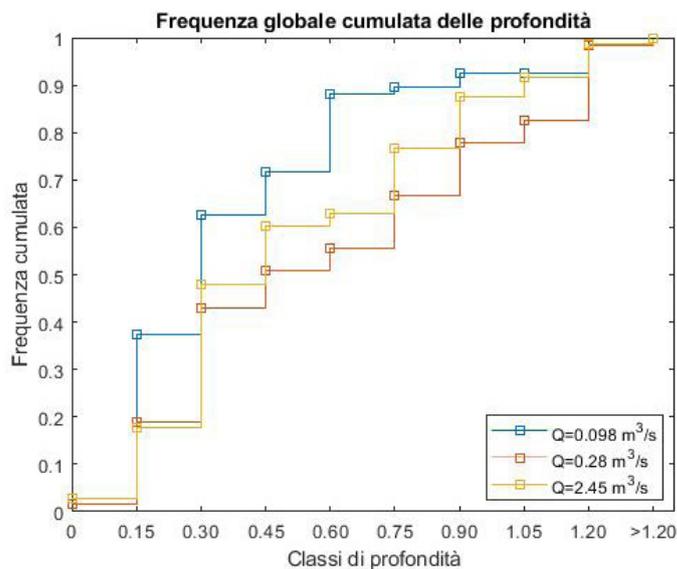


Figura 112 – Distribuzione di frequenza cumulata della profondità dopo la correzione

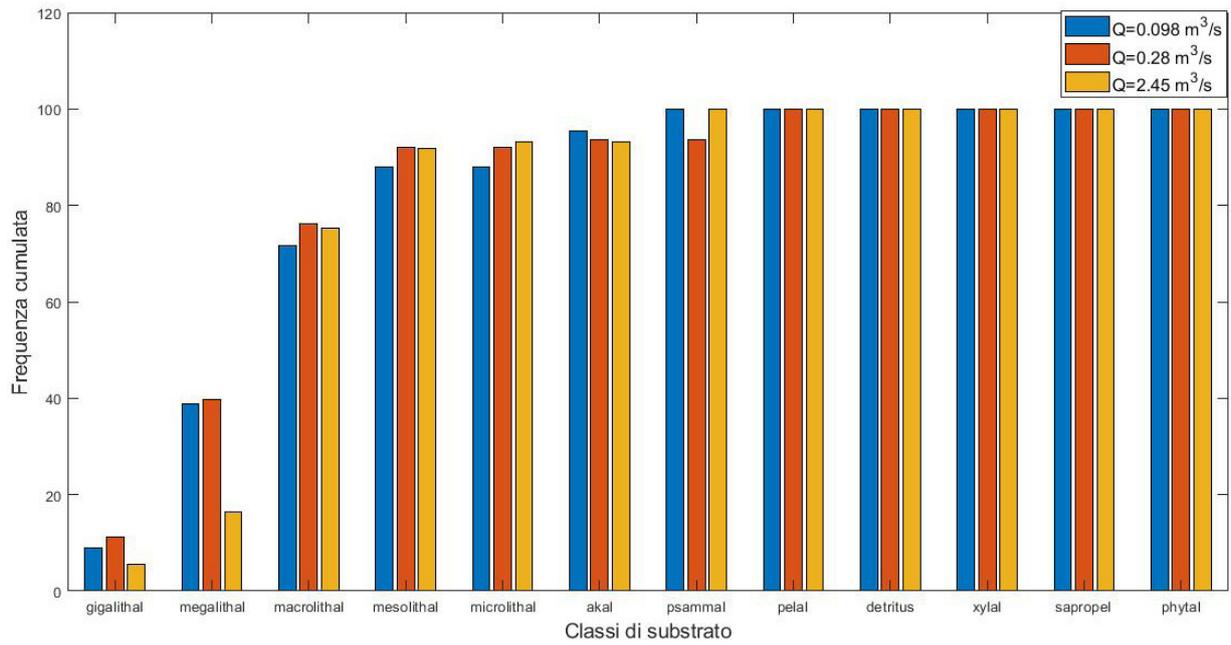


Figura 113 - Distribuzione di frequenza cumulata del substrato prima della correzione

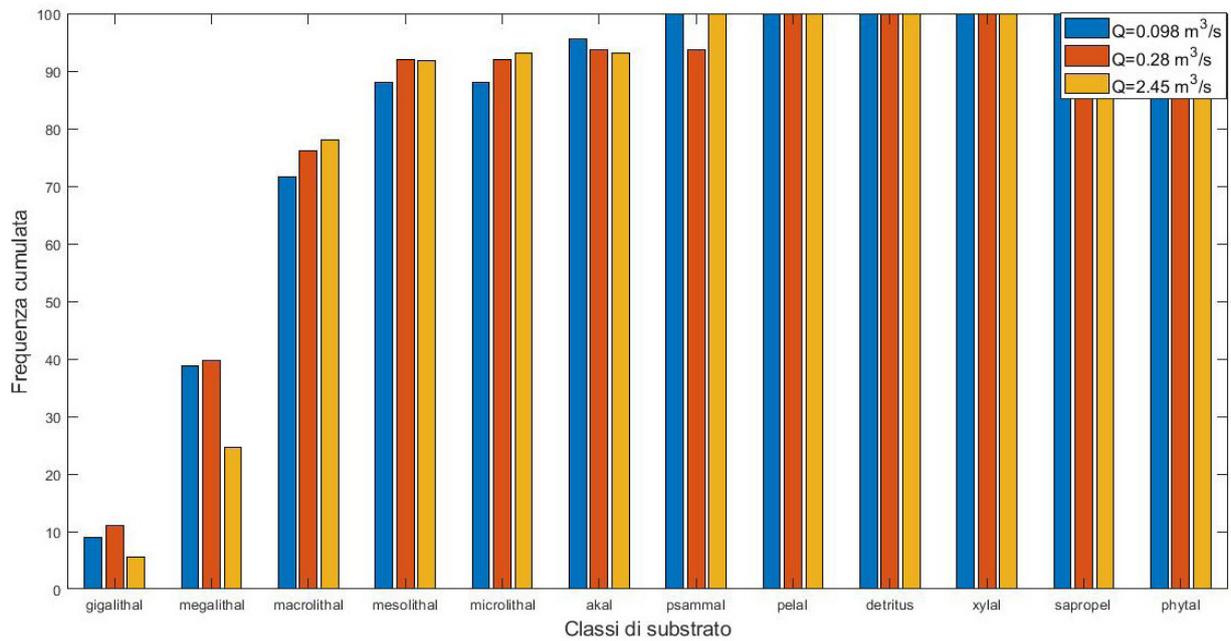


Figura 114 - Distribuzione di frequenza cumulata del substrato dopo la correzione

La curva Habitat-Portata non presenta errori.

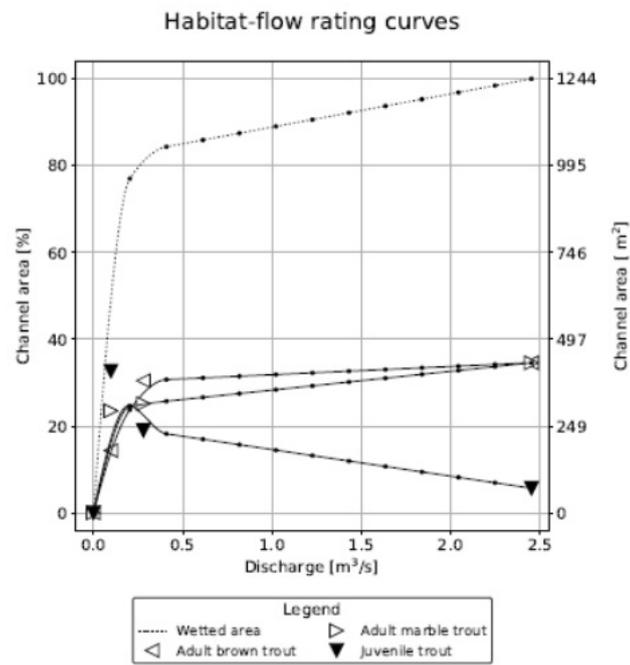


Figura 115- Curva Habitat-Portata del Valgrise

Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro di tesi magistrale, ringrazio il mio relatore, Prof. Paolo Veza, che mi ha seguita costantemente durante tutto il percorso e mi ha aiutato nei momenti di difficoltà con esaustive spiegazioni e preziosi consigli. Proponendomi questo argomento mi ha permesso di vivere delle bellissime esperienze all'aria aperta sui fiumi della Valle d'Aosta ma allo stesso tempo particolarmente formative e utili alla mia crescita professionale.

Ringrazio i miei due co-relatori, Giovanni Negro e Roberto Arnesano, per essere sempre stati disponibili e per avermi indirizzato saggiamente nella soluzione degli eventuali problemi scaturiti durante lo svolgimento della tesi. Un grazie anche a Riccardo Pellicanò per i suoi inestimabili suggerimenti.

Ringrazio i miei genitori, Luca e Daniela, che mi hanno appoggiato con fiducia nella mia scelta di studiare al Politecnico di Torino e mi hanno permesso di realizzarla con i loro sacrifici.

Ringrazio mia sorella maggiore, Clarissa, che mi ha sempre supportato psicologicamente durante questi anni di studio insegnandomi ciò che lei accuratamente aveva imparato dalle sue esperienze.

Ringrazio il mio fidanzato, Federico, per essermi stato ininterrottamente accanto in questi anni supportandomi e aiutandomi ogni volta che ne avevo bisogno con dedizione e amore.

Ringrazio Erika, la mia compagna di studi, ma soprattutto amica, che mi ha accompagnato in questo fantastico viaggio universitario.

Ringrazio la mia migliore amica Valentina, per esserci sempre stata come sempre, da sempre.

Ringrazio Chiara, la mia amica d'infanzia più cara, che anche in questo momento così importante è riuscita a darmi un aiuto.

Ringrazio tutti i miei colleghi, Anna, Alessandro, Lorenzo e Andrea, per essere stati i migliori compagni di studi e di divertimento che potessi incontrare.

E infine, ma non per importanza, ringrazio i miei coinquilini, per avermi supportato in una entusiasmante convivenza piena di emozioni indescrivibili.

Bibliografia

Bovee, K., Lamb, B., Bartholow, J., Stalnaker, C., Taylor, J., and Henriksen, J. (1998) Stream Habitat Analysis Using the Instream Flow Incremental Methodology, volume (Information and Technical Report (SGS/BRD-1998-0004), p. 131. US Geological Survey, Biological Resources Division, Fort Collins, CO.

Hall L.S., Krausman P.R., Morrison M.L. (1997). The Habitat Concept and Plea for Standard Terminology. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)* 25(1): 173-182.

Maddock, I., Harby, A., Kemp, P., Wood, P. (2013): *Ecohydraulics: an integrated approach*. John Wiley & Sons Ed.

Montgomery, D., & J. Buffington. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin* 109:591–611.

Parasiewicz, P. (2001). Mesohabsim: A concept for application of instream flow models in river restoration planning, *Fisheries*, 26:6–13.

Parasiewicz, P. & Dunbar, M. J. (2001). Physical habitat modelling for fish - a developing approach, *Archiv für Hydrobiologie Supplement*, 135(2:4).

Parasiewicz, P. (2007). The MesoHABSIM model revisited. *River Research and Applications* 23(8):893–903.

Parasiewicz, P., Ryan, K., Vezza, P., Comoglio, C., Ballesterio, T., Rogers, J. N. (2012): Use of quantitative habitat models for establishing performance metrics in river restoration planning. *Ecohydrology* 6 (4):668-678

Poff, N., & J. Zimmerman. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* 55:194–205.

- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., Bussetini, M. (2014): IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d’acqua – ISPRA – Manuali e Linee Guida 113/2014. Roma, Italy.
- Rinaldi, M., Belletti, B., Comiti, F., Nardi, L., Mao, L., Bussetini, 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., 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 Ecohydraulic Symposium ISE 2012. Vienna, Austria.
- Vezza, P., Parasiewicz, P., Spairani, M., Comoglio, C. (2012b): Habitat suitability modeling with Random Forest as a tool for fish conservation in Mediterranean rivers. In: Mader H, Kraml J (eds) Proceeding of the 9th Ecohydraulic Symposium ISE 2012. Vienna, Austria.
- 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):1-15.
- Vezza P., Parasiewicz P., Spairani M., Comoglio C. (2014b). Habitat modelling in high gradient streams: the meso-scale approach and application. *Ecological Applications*. 28(4):844–861.
- Vezza P., Ghia D., Fea G., Spairani M., Comoglio C. (2014c). Habitat requirements of the endangered crayfish *Austropotamobius pallipes* complex in Northern Italy. In 10th International Symposium on Ecohydraulics 2014, Trondheim, Norway.
- 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., 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.

