

Meso-PAT

Applicazione dell'indice di habitat su corsi
d'acqua della Provincia di Trento



**UNIVERSITÀ
DI TRENTO**

Dipartimento di
Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica



AGENZIA PROVINCIALE PER
LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

Meso-PAT

Applicazione dell'indice di integrità dell'habitat su corsi d'acqua
della Provincia di Trento

Autori: David Farò¹, Anna Casari¹, Valentina Dallafior², Clara Faes², Paolo Negri², Gaetano Patti², Andrea Pontalti², Guido Zolezzi¹

Con il contributo di: Mauro Carolli, Veronica Larcher¹, Tulio Raul Soto Parra¹, Emilio Politti¹, Paolo Vezza³, Daniele Michelini², Davide Tonna²

¹ Dipartimento di ingegneria Civile Ambientale e Meccanica, Università di Trento, Via Mesiano 77, 38123 Trento

² Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente, Provincia Autonoma di Trento, Piazza Dante 15, 38122 Trento

³ Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

Contatti: prof. Guido Zolezzi, Dipartimento di ingegneria Civile Ambientale e Meccanica, Università di Trento - via Mesiano 77 38123 Trento. Email: guido.zolezzi@unitn.it

Citazione suggerita: Farò, D., Casari, A., Dallafior V., Faes C., Negri P., Patti G., Pontalti A., Zolezzi, G. 2022. "Meso-PAT. Applicazione dell'indice di habitat su corsi d'acqua della Provincia di Trento. Relazione finale. Università di Trento e Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento.

1 Motivazione ed obiettivi del progetto Meso-PAT	3
2 Deflusso Minimo Vitale e Deflusso Ecologico in Trentino	5
2.1 Deflusso Minimo Vitale (DMV) in Trentino	5
2.2 Deflusso Ecologico (DE) da Direttiva Alpi Orientali	8
2.3 Il Deflusso Ecologico (DE) nel Piano di Tutela delle Acque della Provincia Autonoma di Trento (2022)	10
3 Metodi	13
3.1 La metodologia idraulico-habitat MesoHABSIM	13
3.1.1 Descrizione di mesohabitat attraverso rilievo in campo	13
3.1.2 Calcolo dell'idoneità dei mesohabitat: modelli biologici multivariati	17
3.1.3 Analisi degli scenari idrologici e indici di disponibilità di habitat	19
3.1.3.1 Analisi della variazione spazio-temporale dell'habitat tramite l'indice IH	19
3.1.3.2 Indice di disponibilità spaziale dell'habitat fluviale (ISH)	19
3.1.3.3 Indice di disponibilità temporale dell'habitat fluviale (ITH)	20
3.1.3.4 Indice di integrità spazio-temporale dell'habitat fluviale (IH)	22
3.2 Utilizzo di MesoHABSIM per determinare il DE	23
3.3 Simulazione di scenari di rilascio per derivazioni ad acqua fluente	23
3.4 Stima della portata di derivazione ad uso idroelettrico secondo il metodo delle curve di utilizzazione	25
4 Casi studio e specie target	28
4.1 Casi studio	28
4.2 Specie target	30
4.3 Curve habitat-portata	32
5 Integrità dell'habitat: confronto scenari di rilascio con DMV e DE	35
5.1 Descrizione scenari	35
5.2 Risultati	39
5.3 Discussione e analisi delle criticità	48
6 Integrità dell'habitat secondo scenari di rilascio alternativi	50
6.1 Descrizione scenari	50
6.2 Risultati	51
6.3 Discussione	57
7 Conclusioni e prospettive	59
7.1 Conclusioni	59
7.2 Prospettive future	61
8 Bibliografia	65
Appendice	67

1 Motivazione ed obiettivi del progetto Meso-PAT

L'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento (APPA) e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università degli Studi di Trento (DICAM) hanno stipulato nel 2018 una "Convenzione per lo sviluppo e l'applicazione della Metodologia MesoHabitat Simulation Model (MesoHABSIM) all'interno della provincia di Trento". L'accordo impegna le parti a rendere attuabile l'applicazione della metodologia idraulico - habitat "MesoHABSIM" sul territorio provinciale, e a sviluppare in parallelo una relativa attività di formazione ed informazione.

Il progetto è strettamente collegato alla nuova disciplina dei Deflussi Ecologici (DD 30/STA, Ministero dell'Ambiente, 2017), anche in relazione alla precedente disciplina dei Deflussi Minimi Vitali. Il decreto direttoriale 30/STA del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare espressamente prevede, all'art. 4, una fase di sperimentazione, accompagnata da monitoraggio specifico, finalizzata all'applicazione delle linee guida sul Deflusso Ecologico. Per questo le Autorità di Bacino Distrettuali hanno avviato nel 2018 sperimentazioni tecnico-scientifiche e indagini conoscitive di dettaglio ai fini della determinazione sito-specifica del regime di Deflusso Ecologico e, di conseguenza, dell'acquisizione di dati e informazioni necessarie per supportare il processo di riesame e aggiornamento dei piani di gestione e di tutela delle acque.

L'obiettivo generale del progetto Meso-PAT è quindi quello di consolidare l'applicazione del metodo MesoHABSIM in Provincia di Trento in modo che i risultati possano essere di beneficio per i tavoli di lavoro delle Autorità di bacino distrettuale del Po e delle Alpi Orientali ai fini della determinazione del regime di Deflusso Ecologico. In questo contesto, il progetto ha avuto anche l'obiettivo di aumentare le conoscenze e competenze del personale di APPA Trento dal punto di vista teorico e tecnico in relazione alla modellazione degli habitat fluviali, in particolare attraverso la metodologia MesoHABSIM.

L'approccio perseguito dal progetto per raggiungere questi obiettivi è stato sostanzialmente quello di ampliare, rispetto a quanto realizzato fino al 2017, il numero di corsi d'acqua nel territorio provinciale dove viene applicata l'analisi dell'ecosistema fluviale attraverso la modellazione di habitat a meso-scala (metodo MesoHABSIM). Precedentemente al progetto, infatti, la metodologia aveva visto un'applicazione preliminare in Provincia di Trento su 4 casi studio, unitamente alla validazione di modelli biologici per l'idoneità dell'habitat a mesoscala sviluppati in bacini delle Alpi Occidentali su 3 casi studio trentini (Carolli et al., 2017).

La logica del progetto ha integrato due componenti principali:

- 1) un'intensa attività di raccolta dati in campo, sui 7 tratti di studio scelti per la sperimentazione. Questa attività di campo, unita all'individuazione delle specie ittiche target per i tratti analizzati e alla successiva analisi dati, ha consentito di determinare le "curve habitat - portata", relazioni quantitative fra l'habitat disponibile e la portata in alveo, per i 7 casi studio.
- 2) lo sviluppo di scenari di rilascio da ipotetiche opere di derivazione idrica ad acqua fluente situate poco a monte dei tratti di studio. Ogni scenario è definito da una differente combinazione di portata massima di concessione e regime delle portate di rilascio. i regimi di rilascio corrispondenti a scenari che garantirebbero un'integrità

dell'habitat perlomeno "buona" sono stati considerati come scenari compatibili con i requisiti delle direttive sui Deflussi Ecologici.

Entrambe le attività sono state svolte da un gruppo di lavoro costituito da personale del DICAM e di APPA, che ha partecipato sostanzialmente a tutte le fasi del progetto. Anche se le attività si sono svolte in forma congiunta, i due soggetti si sono ripartiti i seguenti ruoli principali:

- DICAM: referente scientifico per la validazione dell'attività di campo e per l'analisi dei risultati.
- APPA: referente per l'attività di campo, per la raccolta dei dati e la diffusione dei risultati

La presente relazione è strutturata come segue. Nel capitolo 2 si richiamano i criteri e i passi principali per la determinazione del regime di Deflusso Minimo Vitale e del regime di Deflusso Ecologico utilizzati per definire i diversi scenari. Il capitolo 3 riporta una sintesi della metodologia MesoHABSIM e di come può essere utilizzata per quantificare un regime di rilascio da opere di derivazione idrica compatibile con i requisiti del Deflusso Ecologico. Il capitolo 4 presenta le caratteristiche salienti dei 7 casi studio scelti nel progetto. I risultati del lavoro sono in parte presenti alla fine del capitolo 4 (curve habitat-portata) e nei capitoli 5 e 6, che riportano gli esiti dell'analisi degli ipotetici scenari di rilascio da opere di derivazione idrica ad acqua fluente localizzati a monte dei tratti investigati. In particolare, il capitolo 5 esamina scenari di rilascio "standard" così come risulterebbero dall'applicazione diretta delle discipline considerate per il DMV e il DE, mentre il capitolo 6 propone lo sviluppo di scenari di derivazione alternativi, più dinamici e contraddistinti da una maggiore modulazione temporale, per affrontare le criticità emerse. Il capitolo 7 riassume i principali risultati del progetto, ne discute le principali implicazioni gestionali e metodologiche e indica la necessità di sviluppi futuri. Una sistematica esposizione dei principali output relativi ai vari casi studio e scenari è infine riportata in Appendice.

2 Deflusso Minimo Vitale e Deflusso Ecologico in Trentino

L'applicazione del regime dei Deflussi Minimi Vitali (DMV) nella Provincia Autonoma di Trento (PAT), è in attuazione dal 2006, ed è stato regolamentato dal "Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche" (PGUAP; PAT, 2006).

Il regime di Deflusso Ecologico (DE), inteso come il regime di rilasci da opere di derivazione idrica compatibile con il raggiungimento dello Stato Ecologico almeno "Buono" dei corpi idrici secondo la Direttiva Quadro Acque 2000/60 dell'UE (CIS Guidance Document n. 31 – Ecological Flows in the implementation of the Water Framework Directive) è stato successivamente introdotto a livello nazionale dal Ministero dell'Ambiente (Decreto Direttoriale n. 30/STA del 13 febbraio 2017). Per la sua implementazione, le Autorità di Bacino Distrettuali hanno provveduto ad emanare direttive di livello distrettuale finalizzate a declinare gli approcci alla determinazione del DE secondo le caratteristiche di ciascun Distretto Idrografico, ferme restando le indicazioni metodologiche nazionali. Rilevanti per il Trentino sono, a questo proposito, le Direttive Deflussi Ecologici dell'Autorità di Distretto delle Alpi Orientali (2017) e dell'Autorità di Distretto Idrografico del Fiume Po (2017). I relativi approcci di determinazione proposti per il calcolo del DE sono stati sottoposti a un'attività di sperimentazione prevista per il triennio 2018 - 2021 in ciascun Distretto Idrografico.

Nell'ambito del progetto Meso-PAT si sono simulati scenari di derivazione dove il DE è stato calcolato sulla base dell'algoritmo di calcolo proposto dall'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali, come riportato nelle Linee Guida presentate nel 2019.

Nel testo che segue, per semplicità espositiva, si indicherà con DMV il regime di Deflusso Minimo Vitale e con DE il regime di Deflusso Ecologico. Maggiori specifiche sui criteri e metodi per il calcolo del DMV secondo il PGUAP (PAT, 2006) e del DE secondo le Linee Guida del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (2019) sono riportate nei capitoli 2.1 e 2.2 che seguono.

2.1 Deflusso Minimo Vitale (DMV) in Trentino

La metodologia di individuazione del DMV per il territorio della Provincia Autonoma di Trento fa riferimento al "Piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche" (PGUAP) in vigore dall'8 giugno 2006 ed al Piano di Tutela delle Acque del 31 dicembre 2004, e rinnovato prima nel 2015 (Deliberazione della Giunta provinciale n.233 di data 16 Febbraio 2015, con aggiornamento dati in Delibera n.2294 del 30/12/2020) e successivamente nel 2021 (Delibera n. 2260 del 23/12/2021). Nei paragrafi che seguono si sintetizzano i criteri utilizzati e il metodo di calcolo previsto dal PGUAP per determinare il DMV in una sezione idraulica di interesse del reticolo idrografico del territorio provinciale.

I criteri di calcolo del DMV sono basati su un ampio spettro di parametri che, direttamente o indirettamente, influiscono sul regime idrologico dei corsi d'acqua. La base per il calcolo del DMV è costituita da valutazioni di tipo teorico, modellistico e da un'analisi qualitativa di alcune categorie di dati misurati, successivamente integrati con conoscenze approfondite del reticolo idrografico trentino. Tale approccio ha consentito di definire valori di DMV a partire da stime dei regimi di magra naturale, rappresentativi di ogni bacino e sotto-bacino idrografico, differenziati per tipologie di regime idrologico (glaciale e nivo-pluviale)

individuare sulla base dei caratteri salienti del territorio. Le portate minime da conservare in alveo hanno quindi rispecchiato le caratteristiche idrologiche naturali di ogni singolo corso d'acqua.

I parametri che determinano i caratteri del regime idrologico sono i seguenti:

- Dimensioni del bacino imbrifero
- Alimentazione idrica prevalente e stagionalità delle portate (regime idrologico)
- Altitudine media del bacino imbrifero
- Precipitazioni medie annue del bacino imbrifero
- Struttura morfologica dell'alveo
- Permeabilità dei substrato d'alveo.

Il calcolo del DMV per una generica sezione del reticolo idrografico è basato sul concetto di apporto unitario, cioè di contributo di portata per unità di superficie del bacino imbrifero afferente alla sezione idraulica d'interesse. Questo approccio consente una determinazione degli obblighi di rilascio di rispetto ambientale efficace e applicabile a ogni derivazione idrica. Specifici valori di DMV unitario sono stati quindi determinati, attraverso i criteri e parametri idromorfologici appena descritti, per i singoli sottobacini di secondo livello (Fig. 1). Per quel che riguarda i corsi d'acqua principali, le cui caratteristiche idrologiche risultano determinate dal contributo di bacini più ampi ed eterogenei, sono stati attribuiti, invece, valori di DMV unitario relativi alla sola asta fluviale.

Al di là dei valori di DMV unitario di base, poi, è stato introdotto un fattore di modulazione che permette di variare i DMV in funzione della stagionalità e del tipo di alimentazione idrica prevalente nel bacino imbrifero afferente (Fig. 2).

I valori stagionali di DMV in una sezione idraulica di interesse vengono dunque calcolati secondo la seguente formula:

$$DMV = DMV_u \cdot A_{bacino} \quad (\text{Eq. 1})$$

dove DMV_u (in $l/s/km^2$) indica l'apporto unitario, cioè il contributo di portata per unità di superficie del bacino afferente alla sezione idraulica di chiusura e A_{bacino} è l'area del bacino imbrifero afferente alla sezione idraulica d'interesse (in km^2).

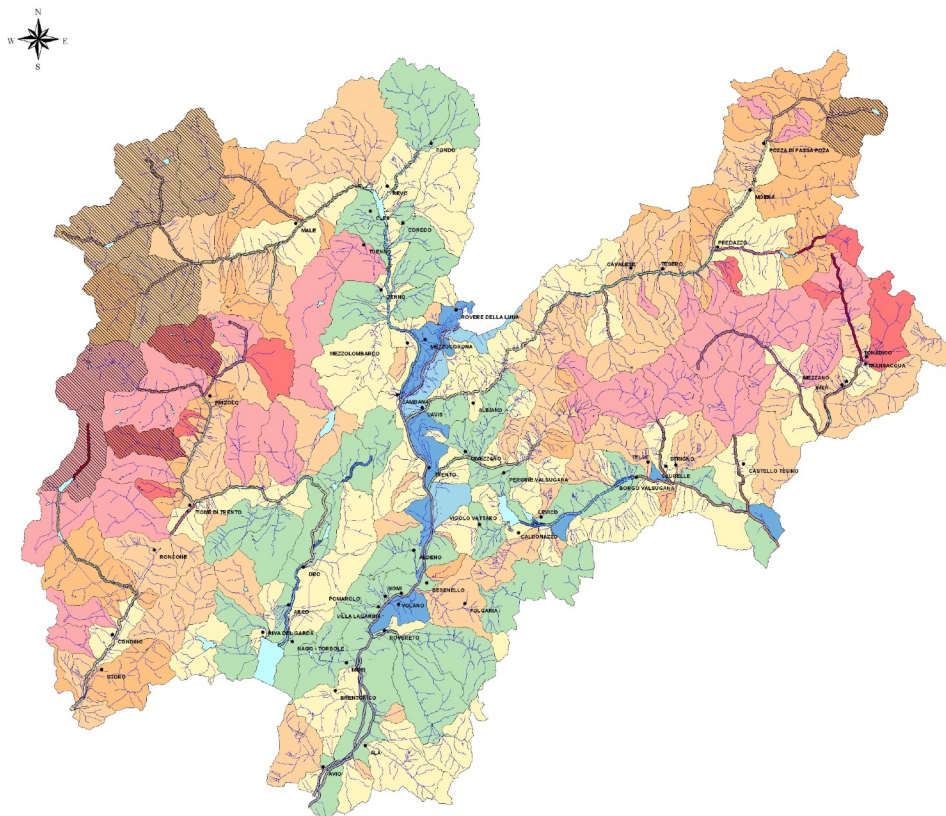


Figura 1: Distribuzione spaziale dei valori di DMV_u (apporto unitario al DMV) in Provincia Autonoma di Trento individuati dal PGUAP. Figura riprodotta da PAT, 2006, allegati cartografici Tav III.6.3.

<i>DEFLUSSI MINIMI VITALI UNITARI ($l\ s^{-1}km^{-2}$)*</i>					
<i>GLACIALE</i>		<i>NIVALE - PLUVIALE</i>			
<i>novembre-aprile</i>	<i>maggio-ottobre</i>	<i>dicembre-marzo</i>	<i>aprile-luglio</i>	<i>agosto-settembre</i>	<i>ottobre-novembre</i>
1,5	2,3	1,5	2,1	1,8	2,1
2,0	3,0	2,0	2,8	2,4	2,8
2,5	3,8	2,5	3,5	3,0	3,5
3,0	4,5	3,0	4,2	3,6	4,2
3,5	5,3	3,5	4,9	4,2	4,9
4,0	6,0	4,0	5,6	4,8	5,6
4,5	6,8	4,5	6,3	5,4	6,3
5,0	7,5	5,0	7,0	6,0	7,0
5,5	8,3	5,5	7,7	6,6	7,7

Figura 2: DMV_u unitari (DMV_u) e modulazione stagionale secondo il PGUAP. Figura riprodotta da PAT, 2006: Tabella III.6.5, p. 58.

2.2 Deflusso Ecologico (DE) da Direttiva Alpi Orientali

I provvedimenti adottati dal Distretto hanno imposto alle Regioni interessate (Friuli Venezia Giulia, Trentino Alto-Adige e relative Province autonome di Bolzano e Trento, Veneto e Lombardia) di verificare, entro giugno 2018, se le proprie normative in materia di DMV offrissero standard di tutela ambientale almeno analoghi a quelli previsti dalle previsioni introdotte a livello distrettuale in materia di Deflusso Ecologico. In caso contrario, ciascuna Regione deve adottare i provvedimenti conseguenti per adeguare la propria disciplina ed applicarla nei confronti delle derivazioni che abbiano un impatto significativo sul corpo idrico. La novità normativa interessa anche le derivazioni già attive. Ciascun derivatore dovrà adeguare il prelievo ai nuovi parametri così determinati, salva la possibilità – attraverso apposita attività di sperimentazione – di dimostrare la compatibilità di un prelievo maggiore (rispetto a quello stabilito dai nuovi algoritmi di calcolo del DE) con la tutela della qualità del corpo idrico interessato.

Il calcolo del DE secondo le Linee Guida emanate dall'autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi orientali è effettuato attraverso il "metodo distrettuale di riferimento", che mette in relazione il DE con le caratteristiche idrologiche, morfologiche e naturalistiche del sito ove il prelievo viene esercitato. L'algoritmo proposto per calcolare il DE fa esplicito riferimento al Piano di tutela delle acque della Regione Friuli Venezia Giulia (RAFVG, 2015):

$$DE = K \cdot P \cdot M \cdot Q_{media} \quad (\text{Eq. 2})$$

dove K è il "fattore di protezione", individuato in funzione della tipologia del corso d'acqua e della superficie del bacino sotteso dalla sezione di prelievo; P è il "fattore di tutela naturalistico"; M è il "fattore di modulazione temporale"; Q_{media} è la portata media annua valutata corrispondentemente alla sezione di prelievo, risultante dal contributo idrologico delle aree omogenee che compongono il bacino e degli eventuali apporti puntiformi.

Per il presente lavoro, sono stati utilizzati i seguenti valori per il calcolo del DE:

- fattore di protezione $K = 0.2$
- fattore di tutela naturalistico $P = 1$.

Il coefficiente di modulazione temporale viene calcolato come il prodotto di due fattori:

$$M = M_1 \cdot M_2$$

dove M_1 è il coefficiente di modulazione temporale; M_2 è un coefficiente correttivo applicato nel "periodo di protezione".

Il coefficiente M_1 è inteso come variabile su scala mensile. Viene calcolato come:

$$M_{1, mese\ i-esimo} = \sqrt{\frac{Q_{media\ mensile}^{mese\ i-esimo}}{Q_{media\ annua}}}$$

dove $Q_{media\ mensile}^{mese\ i-esimo}$ è la portata media naturale del mese i-esimo; $Q_{media\ annua}$ è la portata media naturale annua.

La Direttiva Deflussi Ecologici definisce quindi un “periodo di protezione” in funzione dei periodi riproduttivi per le specie “ombrello” di riferimento caratterizzanti le comunità ittologiche residenti. Tale periodo varia geograficamente (Fig. 3) e sulla base di esso viene calcolato il coefficiente correttivo M_2 secondo la seguente relazione:

- se $DE \geq Q_{355}$ allora $M_{2, mese\ i-esimo} = 1$
- se $DE < Q_{355}$ allora $M_{2, mese\ i-esimo} = \frac{Q_{355}}{K \cdot P \cdot M_{1, mese\ i-esimo} \cdot Q_{media}}$

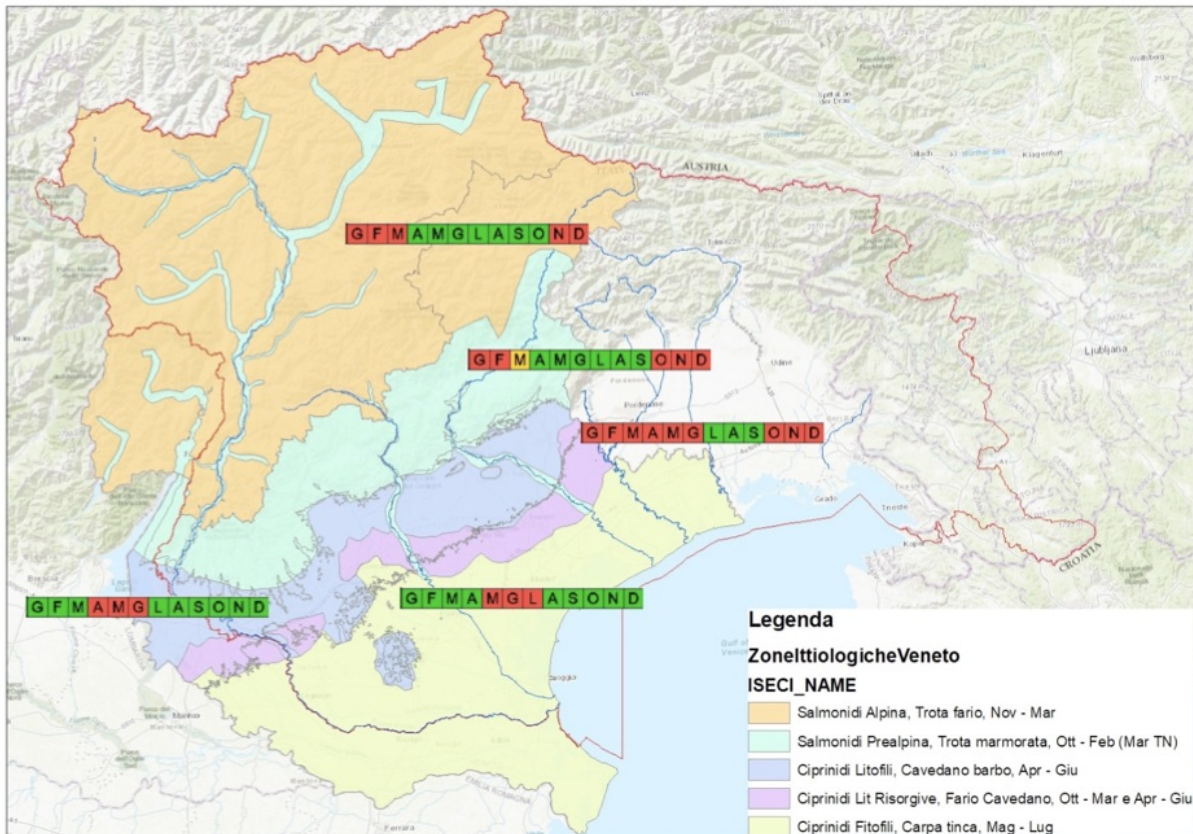


Figura 3: Zone Ittiche determinanti il “periodo di protezione” nel Distretto Idrografico delle Alpi Orientali. Il colore rosso identifica i mesi in cui viene applicato il fattore di protezione M_2 . Figura riprodotta dalla Direttiva del Distretto Alpi Orientali, 2017: Fig 11, p. 96.

2.3 Il Deflusso Ecologico (DE) nel Piano di Tutela delle Acque della Provincia Autonoma di Trento (2022)

A fine dicembre 2021 è adottato in via preliminare con la delibera n° 2260 la proposta di Piano di Tutela che contiene una parte specifica legata al Deflusso Ecologico. L'allegato¹ L infatti è dedicato anche al documento ministeriale "Linee Guida per l'aggiornamento dei metodi di determinazione del deflusso minimo vitale" (DD n. 30 del 13 febbraio 2017).

Il DMV da PGUAP rimane un valore di riferimento per definire una "quantità minima" di rispetto, che però può essere modulata in funzione degli obiettivi di qualità previsti dal D.Lgs 152/2006 (art. 76,77 e 78). Insieme allo stato chimico e allo stato ecologico si devono prendere in considerazione le aree a specifica destinazione funzionale e le zone tutelate dalla Direttiva Uccelli 79/409/CEE e Direttiva Habitat 92/43/CEE la cui sussistenza dipende dall'interazione con ecosistemi acquatici, comprese le acque sotterranee.

Fattore di protezione Qualità

La definizione di una soglia minima di portata, individuata su scale temporali e spaziali ampie, risulta quindi un approccio di base che può essere applicato nei casi in cui è necessario avere un deflusso di salvaguardia del corso d'acqua in presenza di pressioni che possono incidere sullo stato di qualità e dove gli obiettivi previsti dalla DQA sono raggiunti e vanno mantenuti.

In concreto si mantiene il DMV da PGUAP considerando lo stato di qualità del corpo idrico dove insiste la derivazione e le relative pressioni (Tab. 1). In linea di principio il DMV da PGUAP può essere applicato "tal quale" in quelle situazioni dove sia consolidato lo "stato di qualità buono" da monitoraggio e dove l'analisi delle pressioni ha evidenziato che una sottrazione della risorsa non implica un aumento degli impatti tale da inficiare lo stato di qualità. Nel caso non vi siano queste condizioni il DMV da PGUAP può essere aumentato con un coefficiente maggiorativo che può essere superiore ad 1. Questa situazione è riscontrabile nel caso in cui un corpo idrico ha raggiunto un obiettivo di qualità buono ma non è ancora consolidato. Si tratta dei casi in cui il giudizio di qualità ricade nel "buono instabile" dove le pressioni associate ad una alterazione del regime idrologico possono ancora far scadere la qualità del corpo idrico. In questi casi si può mantenere ancora il DMV da PGUAP, che però dovrà essere incrementato secondo un fattore moltiplicativo maggiore 1. Secondo il Piano di Tutela questo fattore è determinato sulla base delle pressioni esistenti e su valutazioni sito-specifiche legate alla tipologia di corso d'acqua e di derivazione.

Per corsi d'acqua non tipizzati si deve tenere conto dello stato di qualità del corpo idrico recettore e dell'entità delle derivazioni.

¹ http://www.appa.provincia.tn.it/binary/pat_appa_restyle/Piano_di_tutela/allegato_L.1640166099.pdf

Tabella 1: Fattore di protezione qualità, Piano Tutela Acque 2022 (P.A. Trento).

FATTORE DI PROTEZIONE QUALITÀ - Q		
Tipo di corso d'acqua e stato ecologico	Fattore moltiplicativo del DMV da PGUAP	Note
C. I. buono	DMV PGUAP \geq 1	Coefficiente da definire sulla base delle pressioni esistenti e dell'entità della derivazione.
C. I. buono instabile	DMV PGUAP > 1	
Corso d'acqua non tipizzato	DMV PGUAP \geq 1	DMV determinato sulla base dello stato del corpo idrico ricevente. Vi può essere quindi un incremento in base alla qualità del corpo idrico ricevente.
C.I o corso d'acqua non tipizzato con richiesta di nuova derivazione in deroga	DMV PGUAP > 1	Coefficiente da definire sulla base delle pressioni esistenti, dell'entità della derivazione e degli aspetti di salvaguardia dell'ecosistema fluviale.

Fattore di protezione Naturalità

Il quadro descritto precedentemente può considerarsi soddisfacente e cautelativa per gli obiettivi di qualità previsti dalla DQA. Vi sono una serie di casistiche dove invece una definizione più puntuale, sito-specifica, della portata/regime di rispetto deve basarsi su un sistema che tenga conto del regime idrologico e del paradigma delle portate.

Il DMV, come sopra descritto, è appiattito intorno a pochi valori, determinando una condizione di uniformità idrologica per buona parte dell'anno. Posto che i valori del PGUAP rimangono riferimento per la portata di rispetto, è stato ritenuto opportuno introdurre il concetto di DMV modulato. La modularità temporale può essere ottenuta secondo differenti algoritmi; ad esempio, si mantiene la portata soglia a cui si aggiunge un incremento della portata rilasciata pari ad una frazione della portata eccedente il DMV. In sostanza si tratta di un approccio graduale che porta verso il DE, dove la modulazione può essere considerata un fattore correttivo e migliorativo rispetto all'applicazione del "semplice" DMV,

Un DMV modulato può essere applicato in quelle situazioni dove l'ecosistema fluviale necessita di una variabilità idrologica per poter mantenere un biota tipo-specifico ben diversificato e per salvaguardare le sue caratteristiche idromorfologiche (Tab. 2). Si tratta di corpi idrici che, nonostante la presenza di pressioni antropiche, presentano livelli poco elevati di alterazione delle comunità dovuti all'attività umana. In questa casistica rientrano anche le aree protette, che includono habitat e specie che dipendono da ecosistemi acquatici. Per definire quali siano questi corsi d'acqua di pregio naturalistico il Piano di Tutela prevede l'utilizzo di alcuni indici come ad esempio l'Indice di Funzionalità Fluviale o l'Indice di Qualità Morfologica.

In base al principio di gradualità e di convergenza verso un approccio basato sul DE è possibile applicare anche altri metodi, quali quelli di tipo idraulico-habitat, che sono particolarmente utili nell'ambito di obiettivi specifici, e vanno quindi opportunamente adottati dopo una adeguata valutazione di necessità e di sostenibilità. I metodi idraulico/habitat sono basati sulla stima della disponibilità di habitat e della relativa variabilità spaziale (legata alla morfologia locale del corso d'acqua) e temporale (dipendente dal regime idrologico, se la morfologia rimane immutata) qualora le specie/comunità target siano efficacemente individuati.

Tra i metodi idraulico - habitat, in Trentino si applica la metodologia MesoHABSIM "Mesohabitat Simulation Model" che viene descritto ampiamente nel Capitolo 3.

Tabella 2: Fattore di protezione qualità, Piano Tutela Acque 2022 (P.A. Trento).

FATTORE DI PROTEZIONE NATURALITÀ		
Tipo di corso d'acqua	Portata di rispetto di riferimento DMV/DE	Note
C. I. o corso d'acqua non tipizzato di pregio ecosistemico	DMV PGUAP + fattore di protezione naturalità o MesoHABSIM	Coefficiente da definire sulla base delle caratteristiche ecosistemiche e del biota.

DMV/DE su bacini inferiori a 2 km²

Come indicato nel documento di accompagnamento del PGUAP per le derivazioni che sottendono un bacino inferiore a 2 km² è previsto un rilascio pari ad almeno il 25% della portata istantanea. Questo consente ai piccoli corsi d'acqua di mantenere un andamento idrologico "naturaliforme",

3 Metodi

3.1 La metodologia idraulico-habitat MesoHABSIM

Per la valutazione dell'habitat fluviale è stata adottata la metodologia MesoHABSIM (MesoHABitat Simulation Model; Parasiewicz, 2007; Vezza et al., 2017), che appartiene alla famiglia di metodi noti come "idraulico-habitat", di crescente utilizzo a livello nazionale ed europeo per la valutazione degli effetti delle alterazioni idromorfologiche sui corsi d'acqua e, in particolare, per la determinazione dei Deflussi Ecologici (DE) secondo le recenti normative (cf. Linee Guida Distretto Alpi Orientali, 2019).

La metodologia MesoHABSIM valuta l'habitat disponibile per una specie/stadio vitale di interesse adottando la meso-scala (scala delle unità morfologiche) come scala spaziale di riferimento. Tale scala spaziale di riferimento è sia ecologicamente rilevante da un punto di vista dell'utilizzo degli habitat, in particolare per la fauna ittica, e al tempo stesso risulta da una rigorosa classificazione geomorfologica (Belletti et al., 2017), rispecchiando quindi al tempo stesso requisiti di natura ecologica e geomorfologica.

In questo capitolo è riportata una breve sintesi dei principi e dei passi principali della metodologia, che si basa sull'aggregazione di tre elementi:

1. la descrizione delle caratteristiche idro-morfologiche che rappresentano le variazioni del mosaico dei meso-habitat in funzione della portata defluente;
2. un modello biologico di natura statistica che descrive le preferenze di utilizzo dell'habitat fluviale da parte delle specie target;
3. l'integrazione fra gli elementi idro-morfologici (1) e biologico (2) che consente di determinare una relazione quantitativa fra l'habitat disponibile e la portata defluente.

La descrizione delle caratteristiche idro-morfologiche dei tratti fluviali analizzati viene tipicamente fatta tramite misure in campo, seguendo la metodologia descritta nel manuale metodologico del MesoHABSIM (Vezza et al., 2017), e riassunta nel paragrafo 3.1.1. L'applicazione dei modelli biologici per il calcolo dell'idoneità e le derivanti curve habitat-portata è presentata nel paragrafo 3.1.2. Infine, il paragrafo 3.1.3 descrive la procedura per l'utilizzo della curva habitat-portata per le analisi degli scenari idrologici mediante gli indici di variazione spazio-temporale dell'habitat.

3.1.1 Descrizione di mesohabitat attraverso rilievo in campo

Al fine di descrivere le variazioni del mosaico di mesohabitat (Unità Morfologiche e Idrauliche, o Hydro-Morphological Units in inglese, nel seguito: HMU) in funzione della portata defluente, secondo le indicazioni riportate in Vezza et al. (2017), sono state effettuate nell'ordine le seguenti operazioni:

- Definizione del tratto rappresentativo in cui svolgere il rilievo;
- Mappatura delle HMU inserite in un Sistema Informativo Geografico (GIS)
- Contestualmente alla mappatura, raccolta dei descrittori ambientali di habitat per ogni HMU, rappresentata da un poligono georiferito all'interno del GIS.

La mappatura dell'habitat consiste nel delimitare il perimetro di ogni HMU, assegnarle una denominazione (e.g. riffle, Fig. 4) e rilevare l'eventuale presenza di zone rifugio (ad esempio presenza di massi, sponde sottoscavate, vegetazione acquatica, detriti legnosi di grandi dimensioni). Contestualmente alla mappatura del perimetro delle HMU, vanno rilevate per ogni unità le distribuzioni di profondità (in m), velocità (in m/s) e classe di substrato. Le tipologie di unità (Veza et al., 2017, capitolo 8), di zone rifugio e di classi di substrato sono riassunte in Tab. 3. Per garantire una robusta caratterizzazione delle HMU, le misure di profondità, velocità e substrato vengono effettuate in almeno 10-15 punti (minimo assoluto di 7) per ogni unità. La scelta dei punti è pseudo-random e stratificata: l'operatore sceglie i punti distribuendoli in modo da catturare la variabilità dei parametri all'interno dell'unità, in modo proporzionale alle aree delle sotto-unità (esempio in Fig. 5). In fase di post-processing per ogni singola unità vengono inoltre calcolate: la deviazione standard della velocità, il numero di Froude definito come: $Fr = v/(gD)^{1/2}$ (dove Fr: numero di Froude, v: è la velocità della corrente, D la profondità e g l'accelerazione di gravità) e la pendenza della superficie libera.

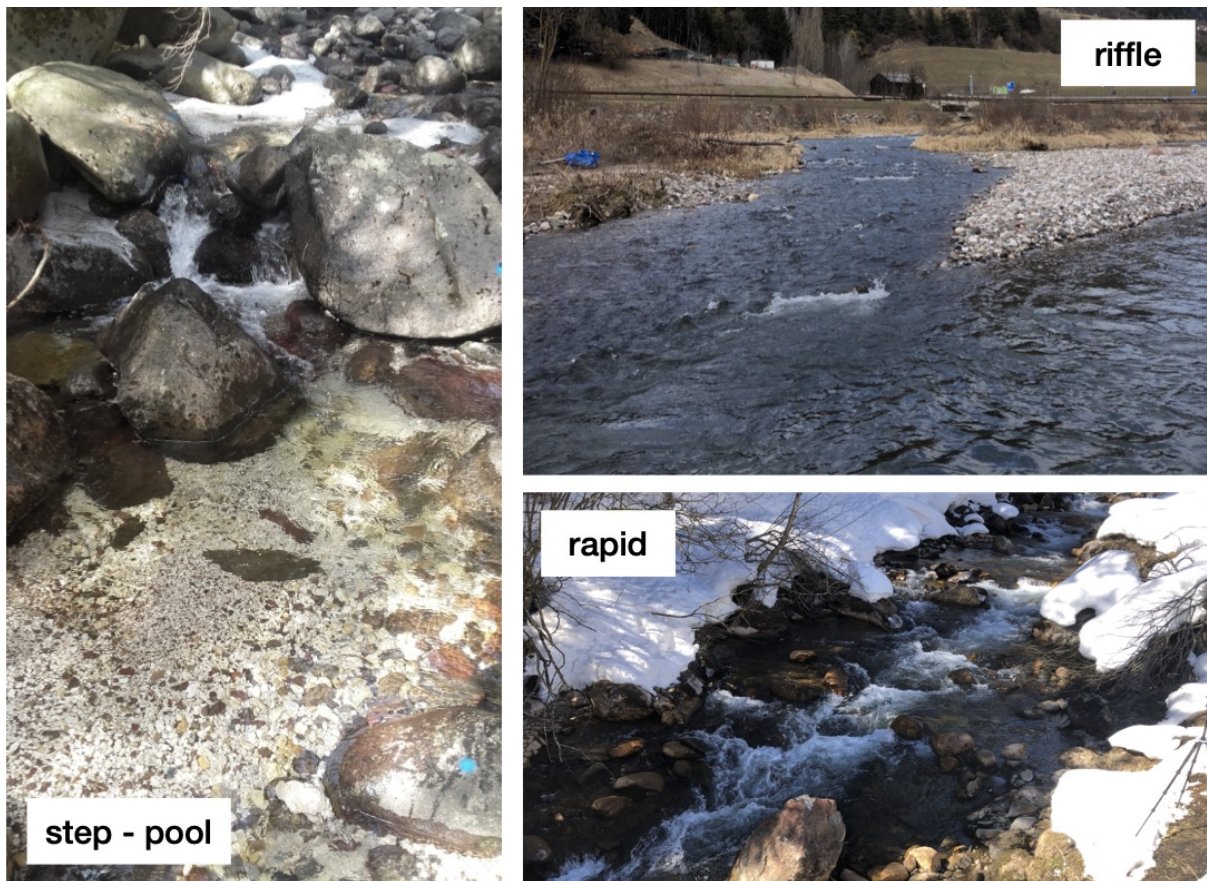


Figura 4: foto di alcune tipiche unità idromorfologiche (HMU): sequenza step e pool (rio Rabiola); riffle (torrente Avisio); rapid (torrente Rabbies).

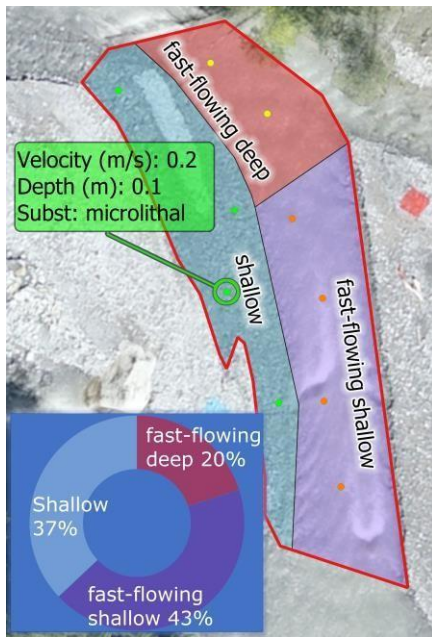


Figura 5: esempio di distribuzione pseudo-random dei punti in cui vengono rilevati velocità, profondità e substrato. Nel caso illustrato, una singola unità delimitata dal poligono rosso è divisa in sub-unità (fast-flowing deep, fast-flowing shallow e shallow). I punti all'interno delle sub-unità rappresentano possibili posizioni dove rilevare i valori di velocità, profondità e substrato. L'area percentuale di ciascuna sub-unità è rappresentata dal grafico a torta all'angolo basso della figura. Il numero di punti per ogni sub-unità è proporzionale alla sua area.

Tabella 3: Descrittori dell'habitat fluviale utilizzati secondo la metodologia MesoHABSIM. (*) valori calcolati in fase di elaborazione dati post-mappatura

Descrittore	Classi	Categorie/descrizione
Tipo HMU	12	Pothole, cascade, rapid, riffle, step, waterfall, glide, rock glide, pool, plunge pool, backwater pool, sistema di dune (Belletti et al., 2017)
Presenza zone di rifugio	7	Presenza di: massi, ombreggiatura, vegetazione terrestre sporgente e a contatto con l'acqua; radici esposte, vegetazione acquatica sommersa o emergente, presenza di sponda scalzata alla base e di accumuli di detriti legnosi
Tipo di substrato	12	Gigalithal (substrato roccioso), 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 di colore scuro); phytal (piante sommerse)
Profondità (m)	9	Asta graduata su correntometro
Velocità (m/s)	9	Correntometro
Pendenza (%) *	1	Pendenza media della superficie libera dell'HMU
Numero di Froude*	1	media sull'area dell'HMU

L'operazione di delimitazione delle HMU è stata realizzata utilizzando un telemetro laser (TruPulse 360R), un computer palmare PDA (Getac PS336) equipaggiato con software ArcPad o computer palmare rugged da campo equipaggiato con software QGIS e Mapstream, ed un treppiede fotografico amagnetico per supportare il telemetro (Fig. 6). Le misure di profondità e velocità sono state effettuate utilizzando il correntometro Global Water Flow-Probe FP111 (Fig. 6, c) mentre il substrato, come da prassi, è stato classificato tramite valutazione visiva.

Durante la mappatura (Fig. 7), per ogni punto di contorno delle HMU, dal telemetro laser viene emesso un laser infrarosso a energia pulsata invisibile e, attraverso il valore dell'angolo di inclinazione e dell'angolo azimutale (entrambi forniti dal telemetro), la posizione 3D del punto viene registrata in ambiente GIS. Per una migliore visione del corso d'acqua, la mappatura delle HMU è stata svolta muovendosi da valle verso monte.



Figura 6: Telemetro laser Trupulse 360R (a), computer palmare PDA Getac PS336 (b) e correntometro Global Water Flow-Probe FP11 (c).

Durante ogni rilievo si è infine proceduto a misurare la portata in alveo, per mezzo di correntometro elettromagnetico e metodo velocità-area per l'integrazione del profilo di velocità sulla sezione trasversale. Tale operazione è stata eseguita selezionando una sezione il più regolare possibile nel tratto di analisi.



Figura 7: Esempio di delimitazione delle unità idro-morfologiche (UMI) attraverso l'utilizzo di un telemetro laser Trupulse 360R in comunicazione con un computer palmare PDA (Getac PS336).

3.1.2 Calcolo dell'idoneità dei mesohabitat: modelli biologici multivariati

L'idoneità dei mesohabitat così descritti per una specie / stadio vitale target è ottenuta applicando modelli statistici multivariati ad apprendimento automatico (Random Forest). In Fig. 8 viene mostrato un esempio (per mezzo di *partial dependence plots*) della relazione tra i descrittori di habitat e la probabilità di presenza/assenza per la specie trota marmorata adulta. Tali modelli ricevono in input i poligoni che rappresentano i mesohabitat rilevati e i relativi descrittori ambientali, e restituiscono in output l'idoneità categorica di ogni mesohabitat (non idoneo; idoneo; ottimale) che riflette la probabilità di assenza, presenza o abbondanza della specie / stadio vitale target. Tali modelli sono basati su un elevato numero di rilievi contestuali della fauna ittica e dei descrittori ambientali, entrambi a scala di mesohabitat, e sono stati in larga parte validati per le specie presenti sul territorio nazionale attraverso procedure statistiche, mostrando sempre una significativa rispondenza all'uso degli habitat da parte delle specie in condizioni idromorfologiche indisturbate. I modelli per le specie di trota fario e marmorata utilizzati in questo lavoro sono stati validati nel territorio trentino nei torrenti Rabbies e Arnò (Carolli et al., 2017).

Le analisi di idoneità sono svolte utilizzando il software SimStream Web disponibile sul server di ISPRA (mesohabsim.isprambiente.it), cui vengono forniti in input i dati del rilievo idromorfologico (i.e. i poligoni rappresentanti le diverse HMU, i rispettivi valori puntuali di velocità, profondità e granulometria, i valori categorici di "cover"). L'integrazione dei modelli biologici con i dati raccolti per descrivere l'habitat, permette di calcolare la "curva habitat portata" (Fig. 9), una funzione che mette in relazione la portata defluente (variabile indipendente) con la quantità di habitat disponibile (variabile dipendente), per un'assegnata specie e stadio vitale di interesse. Per la costruzione della curva, i valori di habitat disponibile ottenuti per ciascuna condizione di deflusso vengono interpolati da una relazione non lineare definita per intervalli regolari ed il procedimento viene ripetuto per ogni stadio vitale delle specie target (Veza et al., 2017).

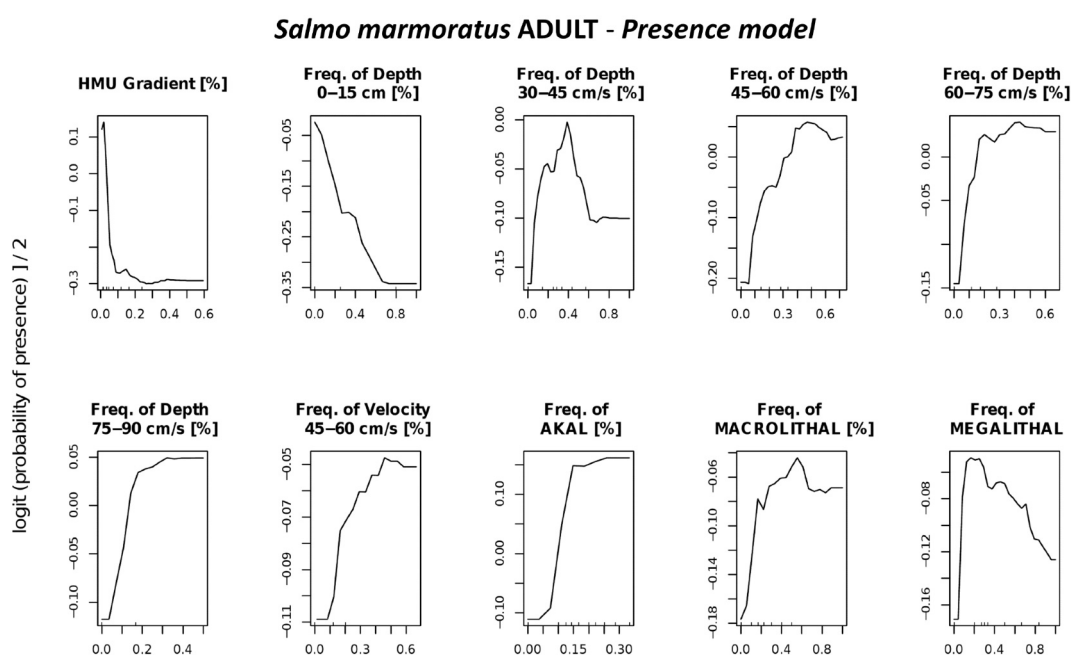


Figura 8: *Partial Dependence Plots* risultanti dal modello biologico di presenza/assenza (Random Forest) per la specie trota marmorata (adulta). Fonte: Software Simstream Web.

Habitat-flow rating curves

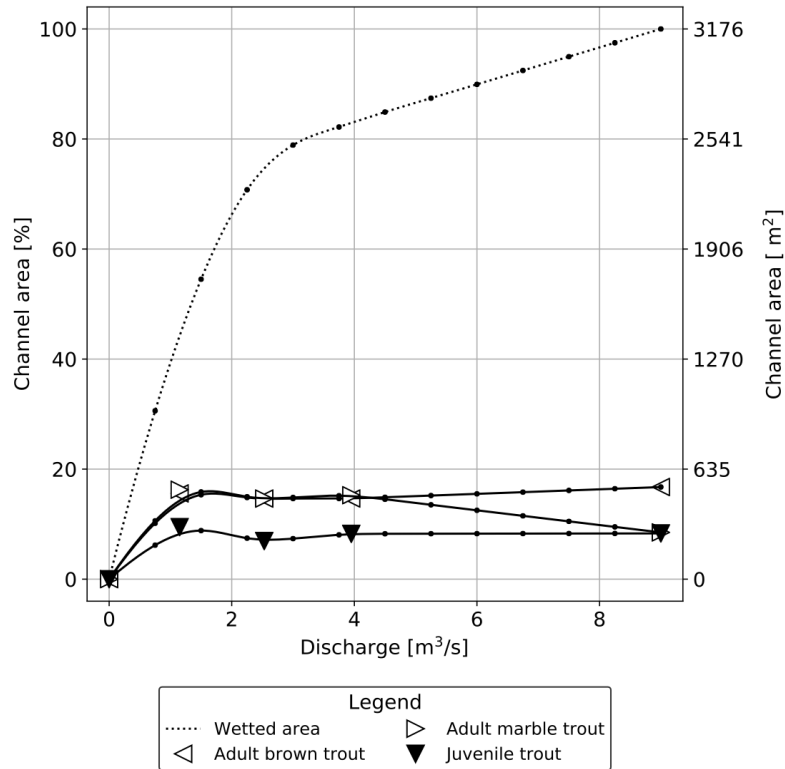


Figura 9: Esempi di curve habitat-portata per il Fiume Vermigliana (Provincia Autonoma di Trento) ottenuta tramite il software SimStream per l'applicazione della metodologia MesoHABSIM. Le curve riportate sono relative alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale adulto (adult brown trout, marble trout) e trota stadio giovane (juvenile trout). Viene inoltre riportata l'area bagnata complessiva (channel area) nelle stesse condizioni di deflusso. L'area è espressa come percentuale della massima area bagnata nell'intervallo di portate considerato per la misura (asse verticale a sinistra) e in valore assoluto (m², asse verticale a destra).

3.1.3 Analisi degli scenari idrologici e indici di disponibilità di habitat

3.1.3.1 Analisi della variazione spazio-temporale dell'habitat tramite l'indice IH

Secondo la metodologia MesoHABSIM adottata sul territorio nazionale, le variazioni dell'habitat fluviale conseguenti ad una alterazione idromorfologica vengono sempre valutate confrontando una configurazione "alterata" con una configurazione "di riferimento". Nel progetto Meso-PAT l'alterazione idromorfologica presa in considerazione consiste in una ipotetica derivazione idrica ad acqua fluente (senza serbatoio). Le due configurazioni differiscono pertanto per la serie temporale delle portate defluenti: la serie misurata attraverso un idrometro rappresentativo per il tratto, oppure modellata attraverso un modello idrologico (serie di riferimento) e la serie che si simula dalla precedente attraverso le regole di derivazione basate sulla conservazione della massa liquida al nodo di derivazione per assegnati parametri di concessione idrica (serie alterata)

Le variazioni spazio-temporali dell'habitat sono quantificate attraverso l'analisi statistica delle serie temporali di habitat disponibile $A_d(t)$, che viene ottenuto a partire dalla relazione $A_d(t) = A(Q(t))$, dove $A(Q)$ rappresenta la curva habitat-portata per una determinata specie o stadio vitale, $Q(t)$ è la portata defluente al tempo t e $A_d(t)$ è l'habitat disponibile (quantificato come area) al tempo t (Milhous et al., 1990).. Le serie di portata in alveo vengono quindi tradotte in serie di habitat tramite la curva habitat - portata e analizzate statisticamente al fine di stabilire la deviazione rispetto alle condizioni di riferimento causata dall'alterazione oggetto di studio.

L'Indice di Integrità dell'Habitat Fluviale (IH, Vezza et al., 2017) è dato dall'aggregazione (valore minimo) di due indici: l'Indice di disponibilità Spaziale di Habitat (ISH) e l'Indice di disponibilità Temporale di Habitat (ITH).

3.1.3.2 Indice di disponibilità spaziale dell'habitat fluviale (ISH)

L'ISH (Indice di disponibilità Spaziale dell'Habitat fluviale, Eq. 3) rappresenta l'alterazione della quantità spaziale di habitat media in un periodo di tempo determinato. L'indice è costruito sulla base temporale dettata dalla lunghezza delle serie di portata disponibile di confrontando l'area disponibile media sul periodo (espressa in m²) in condizioni idro-morfologiche di riferimento ($A_{Hd,r}$) con quella in condizioni alterate (A_{Hd})

$$ISH = \min \left(\left\{ 1 - \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}}, \text{ se } \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}} \leq 1; 0, \text{ se } \frac{|A_{Hd,r} - A_{Hd}|}{A_{Hd,r}} > 1 \right\} \right)_{specie} \quad (\text{Eq. 3})$$

Il valore dell'indice è dato dal minimo tra i valori ottenuti per le diverse specie (e per i relativi stadi vitali) scelti come target nel tratto fluviale considerato. $A_{Hd,r}$ definisce le condizioni di habitat di riferimento sul periodo considerato ed è calcolato come il valore medio della serie storica di habitat corrispondente al regime idrologico scelto come riferimento.

3.1.3.3 Indice di disponibilità temporale dell'habitat fluviale (ITH)

L'ITH (Indice di disponibilità Temporale dell'Habitat fluviale) valuta la variazione temporale della durata continua di eventi di stress per la fauna. Un evento di stress è caratterizzato dal perdurare nel tempo di limitate condizioni di disponibilità di habitat ed è caratterizzato dalla durata temporale in cui un valore di habitat disponibile (in m^2) rimane continuamente al di sotto di una data soglia. Per l'ITH, la soglia al di sotto della quale si verificano eventi di stress è fissata come la quantità di habitat corrispondente (in condizioni di riferimento) al 97° percentile di portata (o nel caso di valutazioni di impatto su base annuale e serie storiche a scala giornaliera, alla portata Q355, superata mediamente 355 giorni all'anno). Tale soglia di habitat disponibile viene denominata A_{Q97} .

L'analisi statistica per la determinazione della durata degli eventi di habitat sotto soglia viene realizzata attraverso le Curve di Durata continua Sotto-soglia (CDS, in inglese UCUT, Uniform Continuous Under-Threshold curves, Parasiewicz et al., 2013b). Nell'esempio illustrativo riportato in Fig. 10 il calcolo delle curve CDS viene eseguito per un periodo di 100 giorni (circa tre mesi, tra il 10/4/2007 e il 17/7/2007) considerando una soglia di habitat disponibile (relativo alla portata Q355 per il caso in esame) pari a $1050 m^2$.

Importante notare come nella Fig. 10 il calcolo del periodo in cui la quantità di habitat disponibile si mantiene al di sotto della soglia considerata sia eseguito per l'intero intervallo di durate sotto soglia (ossia tra l'evento di durata 2 giorni – evento E – e l'evento di durata massima pari a 21 giorni – evento A). Per ulteriori dettagli sulla costruzione delle curve habitat-portata e CDS (o UCUT) vedasi Parasiewicz et al. (2013b) e Vezza et al. (2014).

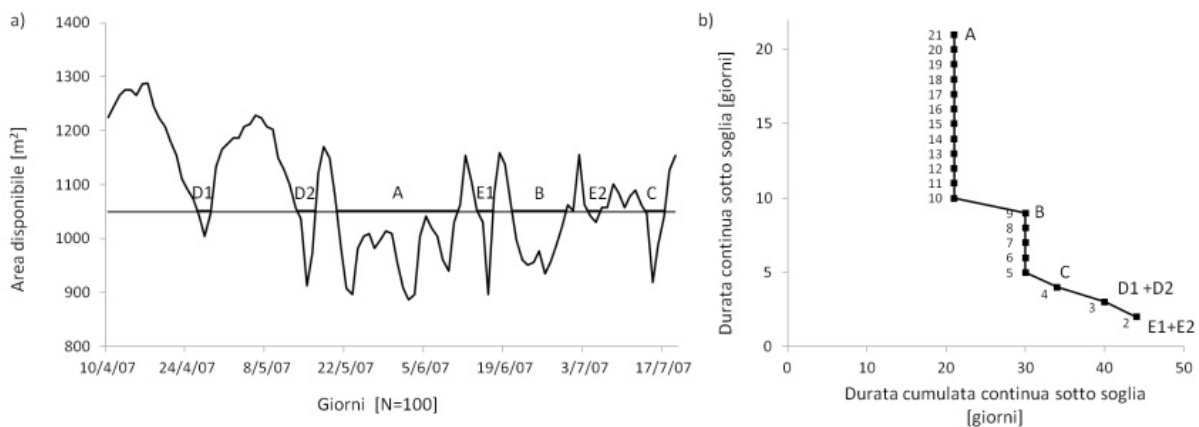


Figura 10: Esempio di calcolo della curva di durata dell'habitat disponibile sottosoglia (UCUT). Il calcolo viene eseguito per l'intero intervallo di durate sottosoglia (in Figura: tra 2 giorni – evento E - e 21 giorni – evento A). L'immagine è stata riprodotta dal Manuale ISPRA 154/2017 (Vezza et al., 2017, Figura 5.1).

Quest'analisi si basa sul presupposto che gli eventi che si verificano raramente in natura (ad es., il ripetersi nel tempo di portate minime di magra) sono i principali fattori di stress che agiscono sulla comunità e ne determinano la struttura della popolazione presente. Al fine della valutazione di impatto su base annuale di una derivazione, il processo di costruzione della curva CDS viene ripetuto utilizzando sia la serie storica di habitat in condizioni non alterate (assenza della derivazione in esame), sia per condizioni alterate (a valle della derivazione in esame). L'indicatore utilizzato per determinare l'alterazione nella durata degli eventi di stress per la specie i , e quindi l'indice ITH, è la distanza media tra la curva di durata sottosoglia in

condizioni alterate e la curva in condizioni di riferimento (esempio in Fig. 11). Tale distanza esprime la variazione media dei giorni di stress fra le due condizioni considerate.

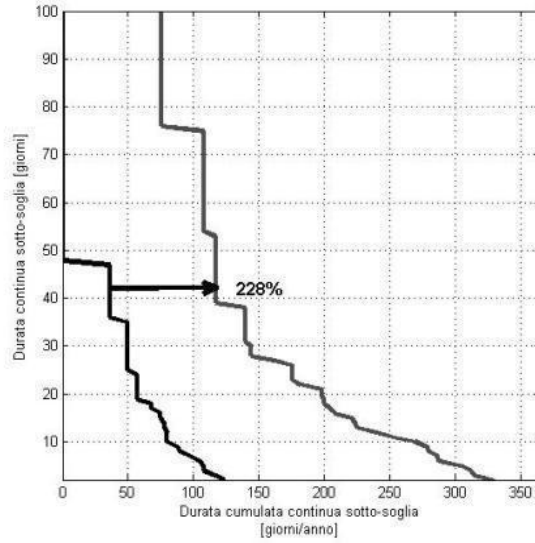


Figura 11: Esempio di calcolo dell'alterazione media della durata degli eventi di stress (eventi di habitat disponibile sotto soglia) per la specie barbo (*Barbus sp.*) per il F. Taro a Piane di Carniglia (Parma). L'immagine è stata riprodotta dal Manuale ISPRA 154/2017 (Veza et al., 2017, Figura 5.2).

Operativamente, per ogni valore di durata continua sotto-soglia (asse delle ordinate nell'esempio in Fig. 11) si valuta la differenza relativa (in valore assoluto) 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 o di riferimento ($d_{c,r,AQ97}$). L'alterazione complessiva nel numero di giorni di stress (AGS, o in inglese Stress Days Alteration - SDA, Parasiewicz et al., 2013a,b) viene quindi calcolata come media su tutto l'intervallo di durate continue sotto-soglia (intervallo da 1 a $d_{max,r}$ espresso in giorni, Eq. 4).

$$AGS = \frac{1}{d_{max,r}} \cdot \sum_{k=1}^{k=d_{max,r}} \left(\frac{|d_{c,AQ97} - d_{c,r,AQ97}|}{d_{c,r,AQ97}} \right) \quad (\text{Eq. 4})$$

L'indice ITH viene infine determinato riscaldando il valore AGS in un intervallo fra 0 e 1, per comparabilità con ISH. La normalizzazione è ottenuta tramite la funzione di valore riportata nell'Eq. 5, calcolata sulla base di un esponenziale decrescente che, rispetto ad una ipotetica funzione riscalante lineare, fa aumentare l'importanza di ridotte alterazioni di eventi di stress (Fig. 12). Analogamente a ISH, l'indice ITH è pari al minimo tra i valori calcolati per le diverse specie (e possibilmente i relativi stadi vitali) presenti nel tratto fluviale considerato.

$$ITH = \min(e^{-0.38 AGS})_{specie} \quad (\text{Eq. 5})$$

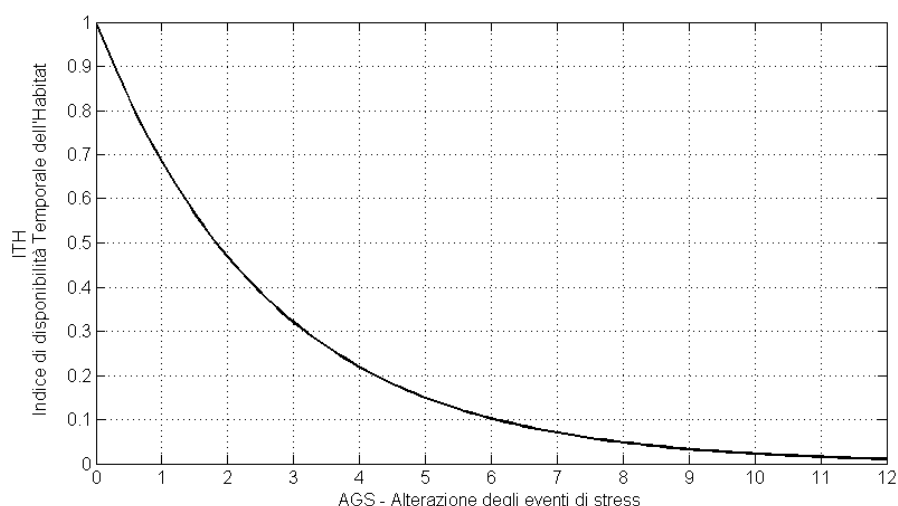


Figura 12: Rappresentazione della funzione di valore per il calcolo dell'indice ITH (indice di disponibilità temporale dell'habitat fluviale) basato sull'indicatore AGS (alterazione dei giorni di stress). L'immagine è stata riprodotta dal Manuale ISPRA 154/2017 (Veza et al., 2017, Figura 5.3).

3.1.3.4 Indice di integrità spazio-temporale dell'habitat fluviale (IH)

Dai punteggi assegnati ai due indici ISH e ITH deriva quindi il valore finale dell'Indice IH che rappresenta il minimo tra i due indici. All'interno dell'intervallo di valori assunti dall'indice, 0 rappresenta un grado elevatissimo di alterazione della qualità dell'habitat fluviale e 1 significa assenza di alterazioni, ossia qualità dell'habitat coincidente con la condizione di riferimento (idealmente corrispondente all'assenza di alterazione idro-morfologica). In accordo all'impostazione della Direttiva Quadro Acque (2000/60), l'integrità dell'habitat viene definita nelle cinque classi riportate in Tab. 4.

Tabella 4: Classi di integrità dell'habitat secondo l'indice IH

IH	Classe
$IH \geq 0.8$	Elevato
$0.6 \leq IH < 0.8$	Buono
$0.4 \leq IH < 0.6$	Sufficiente
$0.2 \leq IH < 0.4$	Scadente
$IH < 0.2$	Pessimo

3.2 Utilizzo di MesoHABSIM per determinare il DE

Per quantificare il deflusso ecologico in una sezione idraulica / tratto di un corso d'acqua è necessaria la creazione di scenari di rilascio ("serie alterate") a partire dalle serie storiche di portata che caratterizzano il tratto in assenza di derivazione, da considerarsi come unica serie di riferimento per ogni scenario. Ogni scenario alterato corrisponde quindi a una particolare scelta del regime di Deflusso Ecologico, sviluppata, per esempio, modificando i DMV esistenti o formulando altre ipotesi operative da parte dei soggetti coinvolti.

A seconda della tipologia del prelievo idrico per il quale si intenda determinare il deflusso ecologico (es. derivazioni ad acqua fluente, derivazioni con serbatoio) si simulano con le corrispondenti regole, basate sul principio di conservazione della massa, e parametri di derivazione, come definiti nelle concessioni, che includono quindi una particolare scelta di DE, le serie di portata che si verificherebbero nel tratto sotteso dalla derivazione in presenza della derivazione stessa ("serie alterate"). Per ogni scelta dei parametri, e quindi di DE, si ottiene una corrispondente serie di portate (e quindi di habitat) "alterata", che, confrontata con la serie di riferimento (v. 3.1) consente di ottenere i valori di ISH, ITH e quindi IH corrispondente a tale scelta di DE. Le regole di rilascio che soddisferanno al criterio di integrità di habitat perlomeno in stato "Buono" ($IH > 0.6$) potranno quindi essere considerate accettabili in termini di Deflusso Ecologico.

La natura previsionale e quantitativa del metodo impiegato consente di simulare al tempo stesso gli effetti di ciascuna regola di rilascio simulata sui volumi idrici prelevati, consentendo così di disporre di una base conoscitiva che consenta successivamente di confrontare i relativi costi e benefici per il comparto produttivo e per il comparto ambientale relativo all'ambiente fluviale corrispondente a ogni scenario analizzato.

3.3 Simulazione di scenari di rilascio per derivazioni ad acqua fluente

Nel progetto Meso-PAT sono stati simulati diversi scenari di rilascio associati a ipotetiche derivazioni idriche di centraline idroelettriche ad acqua fluente, utilizzando regole di derivazione con parametri semplificati. Ogni scenario è stato definito variando due parametri:

1. un regime di portate minime di rilascio (anche variabile nel tempo), definite in base al DMV in vigore da PGUAP, o in base al DE da Direttiva Deflussi Ecologici, espresso dalla portata Q_{DM}
2. la portata massima di concessione della derivazione Q_c

L'algoritmo di calcolo è basato sulla conservazione della massa liquida (equazione di continuità) al nodo di derivazione (opera di presa), secondo le relazioni (6a,b,c), che consentono di ricavare per ogni prelievo le serie temporali $Q_r(t)$ (portata rilasciata in alveo) e $Q_p(t)$ (portata prelevata), a partire dalla serie $Q(t)$ (in arrivo alla derivazione, assunta come "riferimento" per i calcoli di IH):

$$Q_r(t) = Q(t) - Q_c \quad \text{se} \quad Q(t) > Q_{DM}(t) + Q_c \quad (\text{Eq. 6a})$$

$$Q_r(t) = \min[Q(t), Q_{DM}(t)] \quad \text{se} \quad Q(t) \leq Q_{DM}(t) + Q_c \quad (\text{Eq. 6b})$$

$$Q_p(t) = Q(t) - Q_r(t) \quad (\text{Eq. 6c})$$

Le relazioni (6a,b,c) evidenziano come i valori delle serie di portata rilasciata $Q_r(t)$ e di portata prelevata $Q_p(t)$ dipendano dalla scelta di due parametri, di cui uno variabile nel tempo:

- 1) il regime di portate minime di rilascio, indicato con $Q_{DM}(t)$, calcolato con le relazioni per il DMV (capitolo 2.2) o per il DE (capitolo
- 2) la portata massima di concessione Q_c ;

La regola di derivazione adottata non consente dunque alcun prelievo se la portata $Q(t)$ in arrivo alla derivazione è minore o pari a $Q_{DM}(t)$. Se la portata è invece maggiore del DMV o DE, l'algoritmo simula un prelievo pari all'eccesso rispetto al DMV/DE fino al massimo stabilito dalla concessione.

In ogni scenario, la condizione di riferimento è la serie $Q(t)$, mentre la condizione alterata è la corrispondente serie $Q_r(t)$, ricavata secondo le relazioni (Eq. 6). Le corrispondenti serie temporali di habitat sono state ottenute applicando la relazione habitat - portata alle serie di portata così definite.

La generazione di scenari ipotetici di derivazione è stata eseguita in due fasi:

- 1) realizzazione e confronto di scenari basati imponendo il regime del DMV da PGUAP, e del DE da Direttiva Deflussi Ecologici
- 2) Sviluppo di scenari aggiuntivi che utilizzano il DMV da PGUAP come base di calcolo, variando i valori di base secondo fattori moltiplicativi e incrementandone eventualmente la variabilità temporale, per ovviare ad eventuali limiti e criticità esplorate nella fase 1.

Uno schema del flusso di lavoro metodologico utilizzato è illustrato in Fig. 13. Sulla base dei dati raccolti in campo, sono state ricostruite le curve habitat-portata per i sette tratti analizzati (caselle grigie). Si è quindi proceduto a confrontare scenari di derivazione imponendo il regime di DMV da PGUAP o DE da Direttiva Deflussi Ecologici, e analizzando criticità riscontrate sulla base degli indici di disponibilità di habitat (fase 1, caselle verdi). Infine, sono stati formulati e confrontati scenari aggiuntivi (caselle arancioni).

Nei capitoli 5 e 6 vengono presentati in dettaglio rispettivamente gli scenari analizzati per gli step 1 e 2, i risultati delle analisi e una loro discussione.

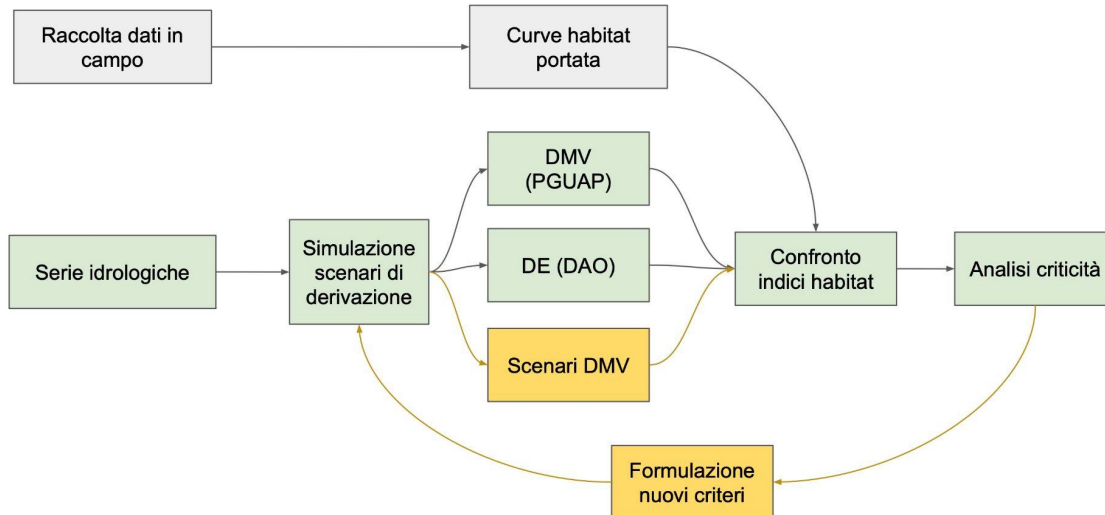


Figura 13: Flusso di lavoro di progetto. Raccolta dati in campo e sviluppo curve habitat-portata (grigio); analisi di scenari ipotetici di derivazione imponendo regimi di DMV e DE a confronto (fase 1, verde); analisi scenari aggiuntivi sulla base del DMV (fase 2, arancio).

3.4 Stima della portata di derivazione ad uso idroelettrico secondo il metodo delle curve di utilizzazione

Per la generazione di ipotetici scenari di rilascio a monte dei tratti di studio è necessario ipotizzare, oltre al regime delle portate rilasciate, anche una portata massima di concessione (indicata con Q_c nelle relazioni 6a,b,c). A tale scopo, per determinare un valore di riferimento realistico, è stato adottato il classico metodo delle curve di utilizzazione (Evangelisti, 1982), frequentemente adottato per la progettazione di impianti idroelettrici ad acqua fluente.

La portata di derivazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente, priva di serbatoio di accumulo, deve tener conto della reale disponibilità idrica del corso d'acqua nell'arco dell'intero anno in quanto, per questa tipologia di centrale idroelettrica, la portata turbinata varia nel tempo a seconda della portata che giunge all'opera di presa. La disponibilità idrica può essere rappresentata graficamente attraverso la curva di durata, che riporta, in ordine decrescente, le portate registrate nel corso di un determinato periodo temporale. Al fine di rendere l'analisi il più possibile rappresentativa del regime idrologico del tratto, la curva di durata viene costruita sulla base di una serie di portate che sia il più lunga e rappresentativa possibile delle variazioni interannuali. In Fig. 14 si riportano a titolo esemplificativo le curve di durata dell'anno più umido (blu) e più secco (verde) riferite alla stazione idrometrica di Vermiglio sul torrente Vermigliana. La curva rossa si riferisce invece a un periodo di circa 20 anni, relativo a tutta la serie idrometrica.

Per stimare la reale portata disponibile all'impianto va sottratta dal calcolo la portata di DMV o DE da lasciare in alveo (curva di durata "tagliata", e cioè al netto del DMV o DE, riportata in Fig. 14).

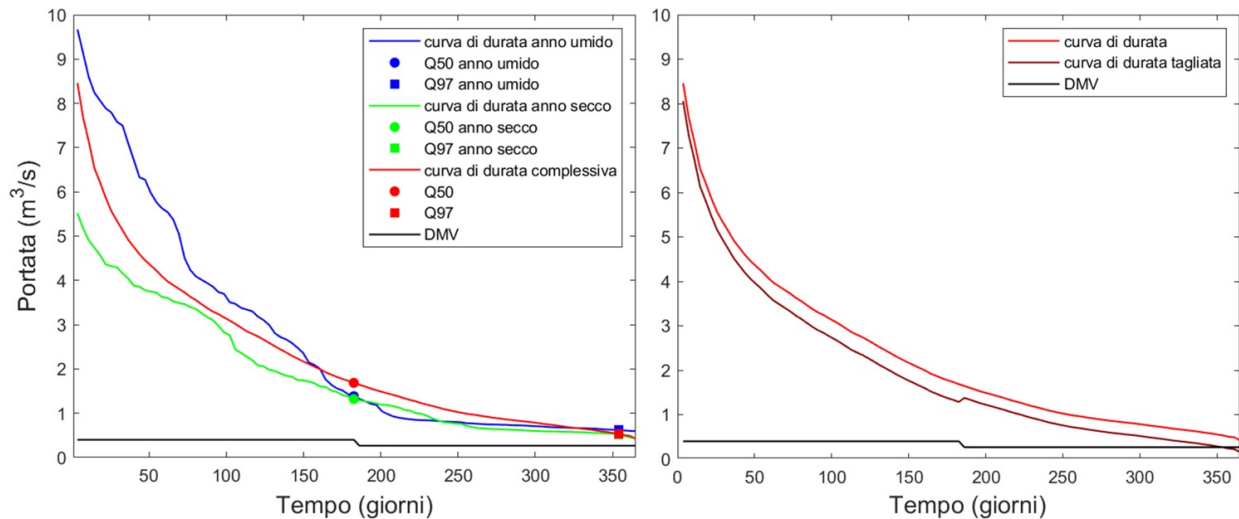


Figura 14: Curve di durata per la stazione idrometrica di Vermiglio, riferibili al torrente Vermigliana. A sinistra si mettono a confronto le curve di durata dell'anno più secco, più umido e per tutta la serie idrometrica. A destra, la curva di durata "tagliata", i.e. al netto del DMV.

Basandosi sulla curva di durata realizzata con l'intera serie di portate, è stato applicato il metodo della curva di utilizzazione dell'impianto e curva di utilizzazione del corso d'acqua per stimare la portata di derivazione (Evangelisti, 1982). Questo metodo confronta ogni possibile valore di portata massima di derivazione Q_d con il tempo che tale portata sarà usufruibile dall'impianto secondo la disponibilità del corso d'acqua. La portata di derivazione ottimale secondo il metodo delle curve di utilizzazione è determinata dall'intersezione delle due curve definite dalle formule sotto riportate (si veda illustrazione in Fig. 15). All'aumentare del valore della portata teoricamente derivabile Q_d , tra 0 e il valore di portata massima nella curva di durata, corrisponde un crescente volume complessivo derivabile V_{Q_d} tenuto conto della reale disponibilità idrica nel corso d'acqua, e un decrescente rapporto fra il volume realmente prelevabile e il suo corrispettivo teorico V_D corrispondente a disponibilità illimitata (Fig. 15).

Le curve rappresentate in Fig. 15 vengono calcolate come segue:

- Curva di utilizzazione corso d'acqua $u_1(Q_d) = \frac{V_{Q_d}}{V_o}$
- Curva di utilizzazione impianto $u_2(Q_d) = \frac{V_{Q_d}}{V_D}$

Dove:

$$V_o = \int_0^{365} Q(t) dt, \text{ volume complessivo disponibile nel corso d'acqua}$$

$$V_{Q_d} = \int_0^{Q_d} t dQ, \text{ volume derivabile per un dato valore di } Q_d$$

$$V_D = Q_d \cdot 365, \text{ volume teoricamente derivabile}$$

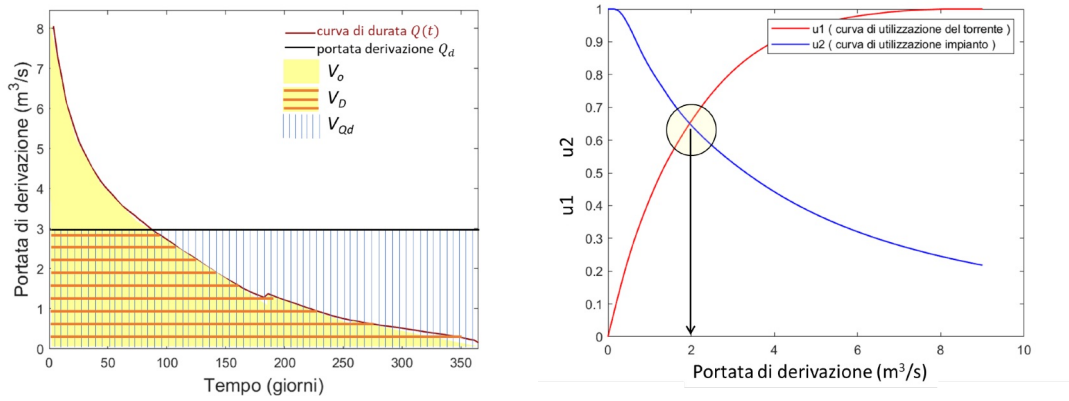


Figura 15: Calcolo della portata ottimale di derivazione. A sinistra: Volume complessivo disponibile nel corso d'acqua; volume derivabile per una portata Q_D ; volume teoricamente derivabile. A destra: portata di derivazione ottimale stimata come il punto di contatto tra la curve di utilizzazione del torrente e dell'impianto.

4 Casi studio e specie target

4.1 Casi studio

Per la sperimentazione del progetto Meso-PAT sono stati selezionati un totale di 7 tratti (Fig. 16), rappresentativi di un ampio spettro di caratteristiche idro-morfologiche (Tab. 5) riscontrabili nei corsi d'acqua presenti nel territorio della Provincia di Trento (Fig. 17).

Le serie temporali di portata rappresentative dei tratti individuati e necessarie per la modellazione degli scenari di rilascio (capitoli 3.3 e 3.4) hanno fatto riferimento, ove possibile, a serie ottenute tramite idrometri installati a valle dei tratti di studio. Per i casi studio Avisio, Vermigliana e Rabbies si è ricorso alle misure idrometriche acquisite dalla rete istituzionale di monitoraggio idrometrico dell'Ufficio Dighe della Provincia Autonoma di Trento, i cui dati sono liberamente disponibili su apposita piattaforma online (www.floods.it). Per il rio Vela e il rio Rabiola sono state utilizzate serie di portata ottenute attraverso idrometri installati per monitoraggi ad-hoc, condivise dall'APPA, ed esterne alla rete idrometrica dell'Ufficio Dighe. Infine, dove non erano disponibili misure di portata rappresentative per i tratti (Noce - Dimaro e Noce - Marilleva), queste sono state ricostruite per mezzo di modellazione idrologica, riprodotte in un precedente lavoro sul torrente Noce (Carolli et al. 2017). Un sommario delle caratteristiche delle serie di portata utilizzate è presentato in Tab. 6.

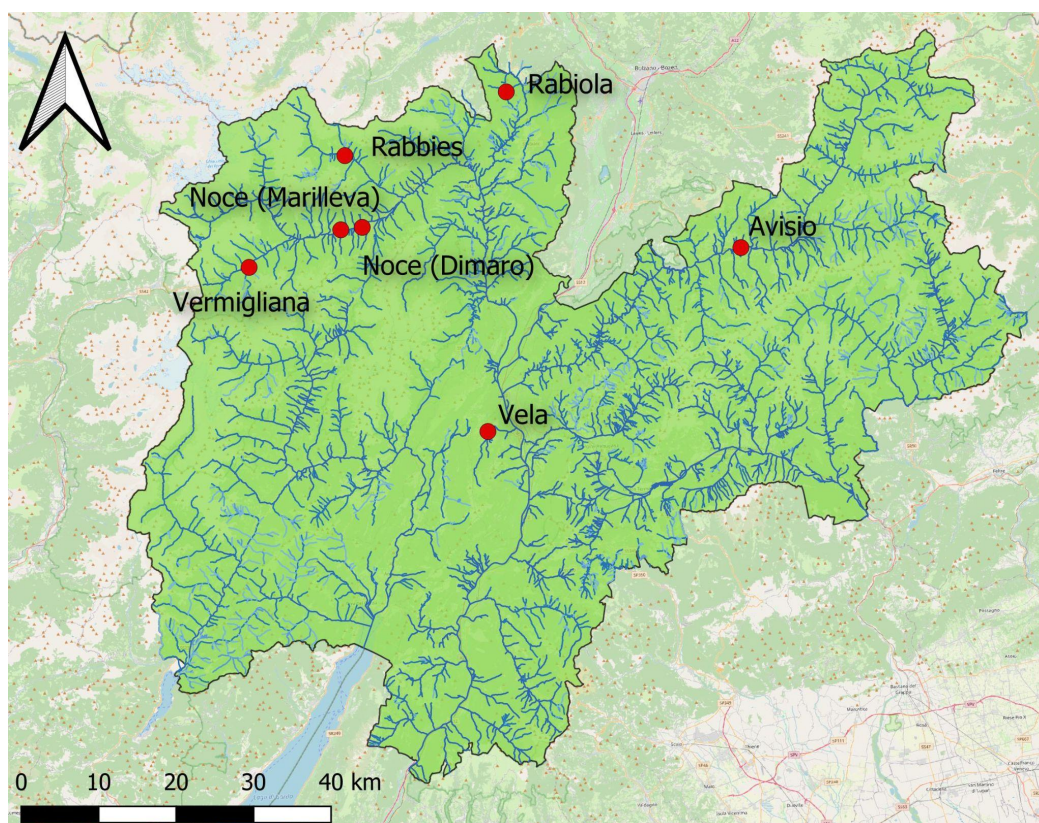


Figura 16: Localizzazione dei casi studio del progetto in provincia di Trento.



Noce - Dimaro



Vermigliana



Vela



Noce - Marilleva



Rabiola



Rabbies



Avisio

Figura 17: Immagini illustrative delle morfologie fluviali dei casi studio.

Tabella 5: Sommario delle caratteristiche idro-morfologiche dei casi studio. Località in cui è situato il tratto di studio; classificazione morfologica (s = canale singolo; m = multi-canale); regime idrologico (da classificazione PGUAP; gl = glaciale; np = nivo-pluviale); dimensioni bacino afferente al caso studio; percentili (97 e 50) di portata rilevante

Caso studio	località	morfologia	idrologia	area bacino (km ²)	Q ₉₇ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)
Avisio	Cavalese	m	np	555.3	1.872	7.368
Noce - Dimaro	Dimaro	m	gl	381	3.525	11.372
Noce - Marilleva	Marilleva	s	gl	361	3.525	11.372
Vermigliana	Vermiglio	m	gl	80.67	0.538	1.695
Rabbies	San Bernardo di Rabbi	s	np	86.6	0.499	1.566
Vela	Cadine (Trento)	s	np	16.89	0.009	0.193
Rabiola	Castelfondo	s	np	4.09	0.003	0.043

Tabella 6: Sommario dati idrologici utilizzati e durata serie

Caso studio	Origine serie	Periodo	# anni
Avisio	Idrometro "Masi di Cavalese"	1995 - 2020	26
Noce - Dimaro	Simulazione idrologica	2001 - 2006	6
Noce - Marilleva	Simulazione idrologica	2001 - 2006	6
Vermigliana	Idrometro "Vermiglio"	1996 - 2019	24
Rabbies	Idrometro "San Bernardo di Rabbi"	2006 - 2019	14
Vela	Idrometro	2014 - 2019	9
Rabiola	Idrometro	2011 - 2014	4

4.2 Specie target

Per le analisi di habitat si sono considerate come specie target le specie trota marmorata e trota fario (Fig. 18), essendo esse le specie più comuni e caratterizzanti i corsi d'acqua trentini (PAT, 2001). Nei seguenti paragrafi, si presentano le principali caratteristiche di ciascuna specie.

Trota marmorata

La trota marmorata (*Salmo trutta marmoratus*) è endemica della parte meridionale delle Alpi e in tempi storici era, in molti casi, la specie principale presente nei corsi d'acqua dell'area di studio. Nonostante fosse storicamente una semispecie dominante nei torrenti di fondovalle e nei fiumi pedemontani, oggi la sua presenza è di molto ridotta, a causa delle alterazioni endemiche e della concorrenza (e ibridazione) con la trota fario. Morfologicamente, si distingue per la caratteristica livrea marmorizzata. La trota marmorata può raggiungere dimensioni considerevoli dove si presentino condizioni idonee, con una lunghezza massima di 150 cm e un peso di 20 kg. La frega o riproduzione avviene tra ottobre e novembre, periodo in cui le uova vengono deposte in un nido scavato nel sedimento (ghiaia). I nuovi esemplari si nutrono quasi esclusivamente di insetti, e le dimensioni delle prede aumentano con l'aumentare della taglia dell'animale. Inoltre è nota la sua ibridazione con la trota fario, da cui nasce prole feconda. Gli ibridi tra le due specie sono distinguibili per la livrea intermedia tra marmorata e fario.

Trota fario

La trota fario (*Salmo trutta fario*) è il salmonide più diffuso nell'area, anche a causa di periodiche immissioni artificiali. La sua presenza copre un ampio spettro di tipologie fluviali, essendo presente sia in torrenti montani, che in torrenti di fondovalle e fiumi pedemontani. La specie presenta una grande variabilità nella livrea e ibrida facilmente con la trota marmorata. Può raggiungere una taglia massima di circa 60 cm e un peso di 3 kg. La frega avviene in tardo autunno, nei mesi tra ottobre e dicembre.



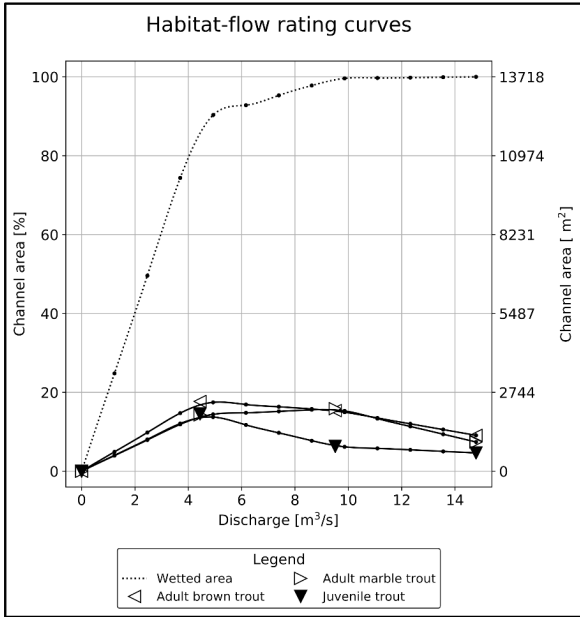
Figura 18: Esempari adulti di trota marmorata (a) e fario (b). Immagini riprodotte da Wikimedia Commons, 2022.

4.3 Curve habitat-portata

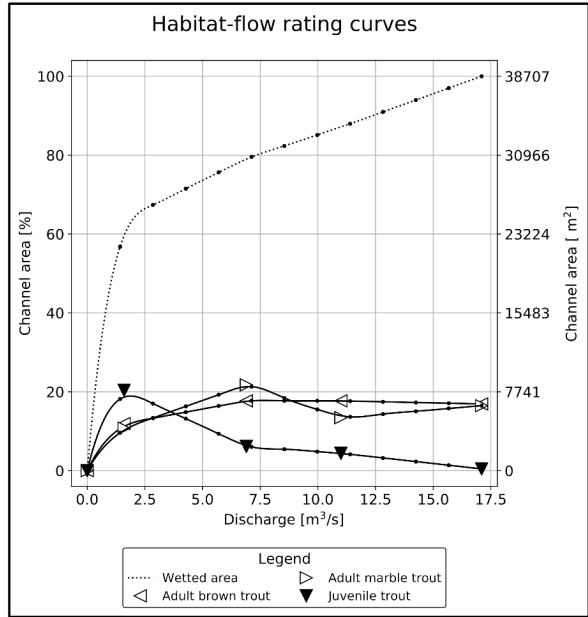
L'elaborazione tramite software Simstream Web delle mappe di habitat rilevate in campo (Appendice A.1) ha permesso di stimare la disponibilità di habitat alle varie portate misurate, e di ottenere quindi le curve habitat-portata per ciascuna specie e stadio vitale (Fig. 19 e Fig. 20).

Le curve risultano essere diverse tra i vari tratti, rispecchiando le unicità delle caratteristiche idro-morfologiche degli stessi. Si possono però osservare alcuni trend e caratteristiche comuni alle curve. Mediamente, la disponibilità di habitat alle diverse portate raggiunge valori massimi nel range di 20-40 % rispetto all'area bagnata massima osservata. Fa eccezione la curva per la trota fario adulta della Vermigliana, che raggiunge valori pari a quasi il 60 %. Le curve riferibili a tratti mono-cursali, quali il Rabbies, il Vela o la Rabiola, tendono generalmente ad avere un picco a portate medio-basse, con una successiva riduzione della disponibilità di habitat al crescere delle portate. Morfologie più complesse, con canali multipli, come quelle di Vermigliana e Avisio, sono invece caratterizzate da picchi meno definiti, e da una riduzione più lenta delle disponibilità di habitat con l'aumento della portata. Questo è generalmente dovuto alla presenza di canali secondari che si attivano solo a portate più alte, e che offrono quindi ancora buone disponibilità di habitat nonostante le condizioni idrauliche (in termini di profondità e velocità dell'acqua) nel canale principale non siano più idonee per le specie ittiche presenti. Il confronto delle curve dei due tratti del fiume Noce a Marilleva e Dimaro, che presentano sostanziali differenze morfologiche nonostante siano situate a pochi chilometri di distanza tra loro, mette in evidenza come le caratteristiche idro-morfologiche, quali le differenti distribuzioni di substrato, o l'abbondanza di boulders o altri rifugi, possano fortemente influenzare l'idoneità di habitat di un tratto. Si può infine notare come la curva riferita allo stadio giovanile tenda ad avere disponibilità medie e percentuali più basse rispetto alle curve degli stadi adulti delle due specie di trota considerate.

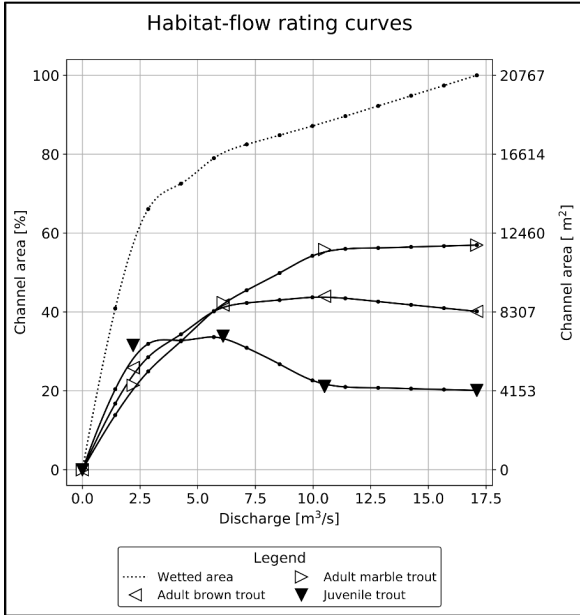
Avisio



Noce (Dimaro)



Noce (Marilleva)



Vermigliana

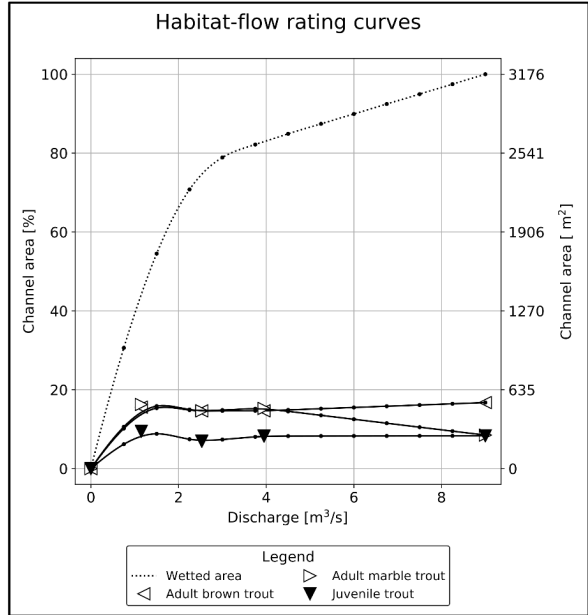
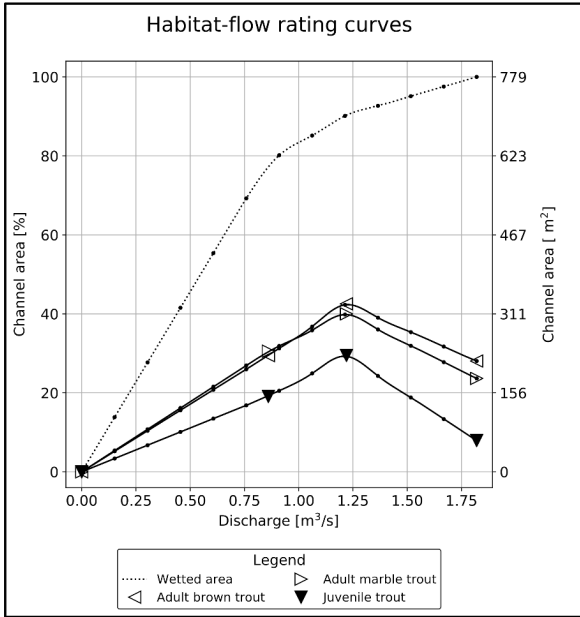
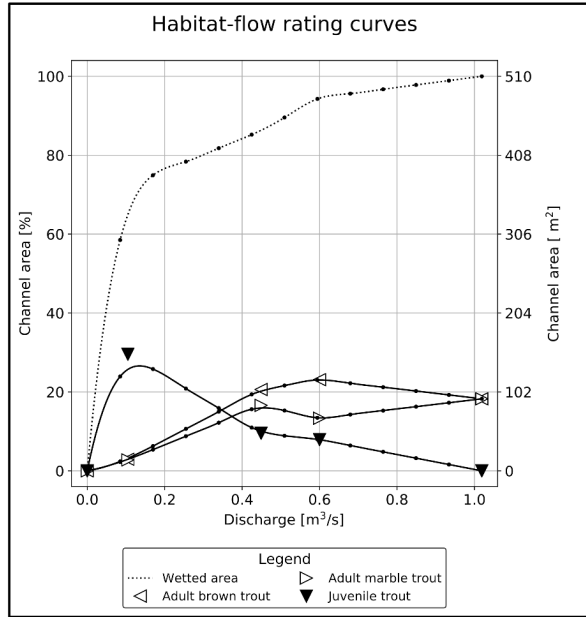


Figura 19: Curve habitat-portata per le specie trota marmorata e trota fario (adulta e giovane), per i tratti fluviali di Avisio, Noce (Dimaro), Noce (Marilleva) e Vermigliana.

Rabbies



Vela



Rabiola

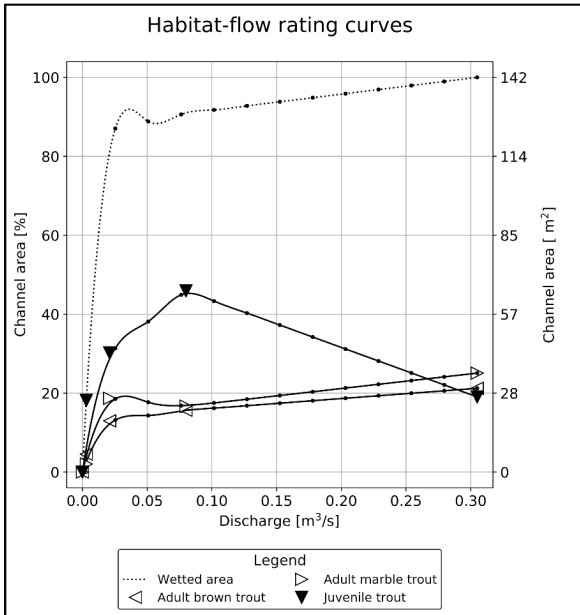


Figura 20: Curve habitat-portata per le specie trota marmorata e trota fario (adulta e giovane), per i tratti fluviali di Rabbies, Vela, Rabiola.

5 Integrità dell'habitat: confronto scenari di rilascio con DMV e DE

5.1 Descrizione scenari

In questa prima fase di analisi si mettono a confronto scenari ipotetici di derivazione imponendo come portate minime di rilascio i regimi di DMV e DE. In Tab. 7 si riassumono le fonti utilizzate per il calcolo delle portate mensili per DMV e DE.

Il DMV è stato calcolato tramite l'approccio riportato nel PGUAP e basato su GIS, secondo la procedura descritta nel capitolo 2.1. Il calcolo del regime di DE secondo la Direttiva Alpi Orientali richiede una serie idrologica. Nei casi in cui era disponibile una serie idrologica di durata medio-lunga (> 10 anni), e per coerenza con le serie utilizzate per le analisi di habitat e il calcolo degli indici (ISH, ITH e IH), il calcolo delle portate di DE è stato fatto sulla base delle serie di portata misurate dalle stazioni idrometriche. Per gli altri casi studio invece è stato necessario utilizzare serie di portata simulate attraverso il modello idrologico utilizzato per i bilanci idrici PAT (capitolo 2.3). I valori di portata risultanti, modulati su base mensile vengono riportati in Tab. 8, e le differenze medie percentuali tra DMV e DE in Tab. 9.

La portata massima di concessione (Q_c) è stata inizialmente calcolata per ogni singolo scenario (DMV o DE) seguendo l'approccio illustrato nel capitolo 3.4; si è infine selezionata una portata di derivazione unica corrispondente alla media dei due valori ottenuti per gli scenari DMV e DE (Tab. 8). A titolo di esempio, le Fig. 21 e Fig. 22 mostrano le serie di portata alterata corrispondenti agli scenari DMV e DE, a confronto con lo scenario di riferimento, rispettivamente per i casi studio Vermigliana e Vela. E' da notare come per diversi intervalli temporali le due serie alterate (colori blu e verde) siano praticamente sovrapposte.

Per ogni scenario sono stati quindi calcolati gli indici di disponibilità spaziale (ISH) e temporale (ITH) di habitat e l'indice di integrità IH. Per ogni caso studio i risultati sono stati confrontati fra gli scenari DMV e DE. In caso di valori degli indici inferiori al limite inferiore dello stato "buono" ($IH < 0.6$) si è cercato di capire quali fossero le cause a partire dall'analisi delle serie temporali di habitat. Proprio sui fattori individuati come determinanti per i valori degli indici non "buoni" si è basata la generazione di scenari aggiuntivi, concepiti proprio per affrontare le criticità emerse. Gli scenari aggiuntivi sono descritti e analizzati nella fase 2 di questo lavoro, (cap. 6).

Tabella 7: approccio seguito per il calcolo dei regimi di DMV e DE

	DMV	DE
Avisio	GIS	serie misurata (idrometro "Masi di Cavalese")
Noce - Dimaro	GIS	serie modellata (bilanci idrici PAT)
Noce - Marilleva	GIS	serie modellata (bilanci idrici PAT)
Vermigliana	GIS	serie misurata (idrometro "Vermiglio")
Rabbies	GIS	serie misurata (idrometro "San Bernardo di Rabbi")
Vela	GIS	serie modellata (bilanci idrici PAT)
Rabiola	GIS	serie modellata (bilanci idrici PAT)

Tabella 8: Sommario delle portate mensili DMV e DE e delle portate massime di derivazione (Q_c), utilizzate per la modellazione degli scenari di derivazione.

		Portata (in m ³ /s)												
		Q_c	DMV / DE											
			G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Avisio	8.3		1.666			2.332			1.999			2.332		1.666
			1.872			1.817	4.047	3.774	2.404	2.283	1.830	2.100	2.828	1.872
Noce (Dimaro)	12		1.334			2.020						1.334		
			2.875	1.299	1.803	2.737	3.121	2.730	2.299	2.459	2.875			
Noce (Marilleva)	12		1.264			1.914						1.264		
			2.724	1.250	1.734	2.632	3.002	2.625	2.211	2.365	2.74			
Vermigliana	1.9		0.267			0.401						0.267		
			0.538			0.349	0.844	1.068	0.822	0.670	0.437	0.538		
Rabbies	1.9		0.373			0.521			0.447			0.521		0.373
			0.499			0.344	0.682	0.898	0.612	0.457	0.367	0.499		
Vela	0.19		0.059			0.083			0.071			0.083		0.059
			0.122			0.094	0.103	0.095	0.072	0.069	0.070	0.080	0.122	
Rabiola	0.06		0.012			0.017			0.015			0.017		0.012
			0.013			0.014	0.013	0.011	0.010	0.009	0.011	0.010	0.016	0.013

Tabella 9: Differenze di portata tra i regimi DMV e DE, calcolati come percentuali $(Q_{DE} - Q_{DMV})/Q_{DMV}$ (in %) o differenza assoluta (in l/s). Il colore verde indica un aumento percentuale del DE rispetto al DMV; il rosso indica una diminuzione.

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno	
Avisio	12	12	12	-22	74	62	3	14	-8	-10	21	12	16	%
	206	206	206	-515	1715	1442	72	284	-169	-232	496	206	326	l/s
Noce (Dimaro)	116	116	-3	35	35	55	35	14	22	42	116	116	53	%
	1541	1541	-35	469	717	1101	710	279	439	855	1541	1541	892	l/s
Noce (Marilleva)	116	116	-1	37	38	57	37	16	24	43	117	117	55	%
	1460	1460	-14	470	718	1088	711	297	451	826	1476	1476	868	l/s
Vermigliana	101	101	101	31	110	166	105	67	9	34	101	101	85	%
	271	271	271	82	443	667	421	269	36	137	271	271	284	l/s
Rabbies	34	34	34	-34	31	72	17	2	-18	-4	-4	34	15	%
	126	126	126	-177	161	377	91	10	-80	-22	-22	126	70	l/s
Vela	107	107	107	13	24	14	-13	-3	-1	-4	47	107	36	%
	63	63	63	11	20	12	-11	-2	-1	-3	39	63	26	l/s
Rabiola	8	8	8	-18	-24	-35	-41	-40	-27	-41	-6	8	-19	%
	1	1	1	-3	-4	-6	-7	-6	-4	-7	-1	1	-3	l/s

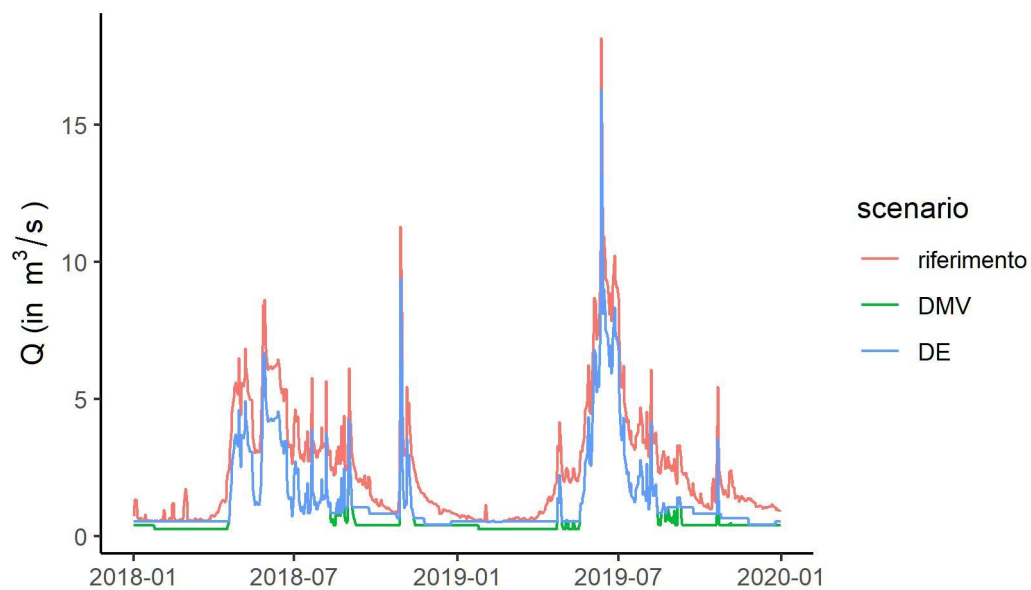


Figura 21: Esempio di serie di portata alterata $Q_r(t)$ (eq. 6a,b,c) risultanti per gli scenari di derivazione DMV e DE, insieme alla serie di portata di riferimento $Q(t)$, per il torrente Vermigliana, negli anni 2018 e 2019.

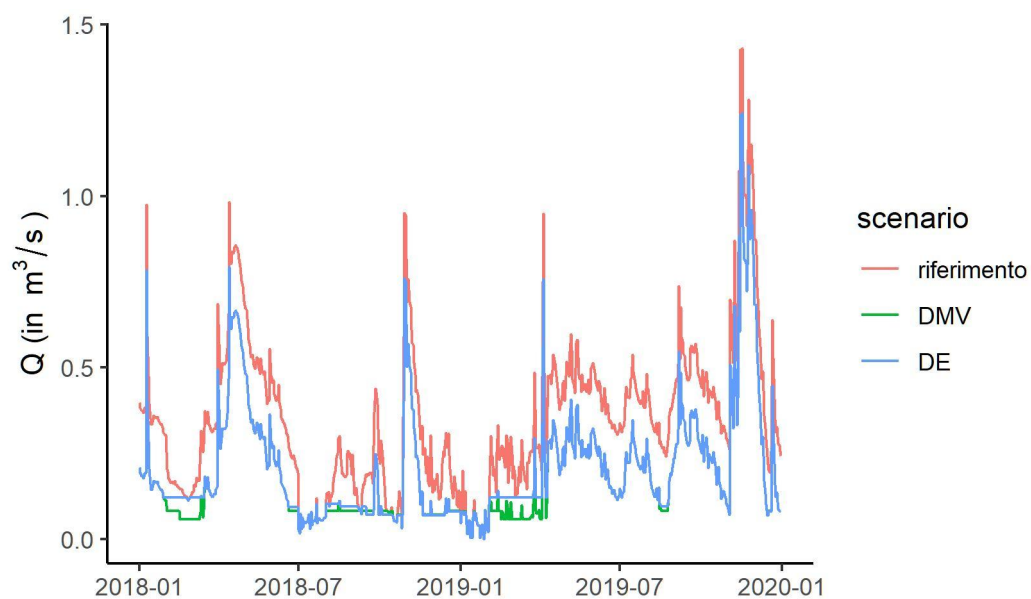


Figura 22: Esempio di serie di portata alterata $Q_r(t)$ (eq. 6a,b,c) risultanti per gli scenari di derivazione DMV e DE, insieme alla serie di portata di riferimento $Q(t)$ per il torrente Vela, negli anni 2018 e 2019.

5.2 Risultati

In Tab. 10 si confrontano gli indici ISH per ogni tratto di studio, e per le specie e stadi vitali target (trota marmorata e fario; giovane e adulto). È possibile osservare come quasi tutti gli scenari analizzati ricadano almeno nella classe di stato “buono” (in verde), con alcuni valori in stato “elevato” (blu), in particolar modo per lo stadio giovane. Si evidenziano criticità con indici in classe “sufficiente” (giallo) in particolar modo per il Noce Marilleva e il Vela. Sono inoltre presenti (sia per lo scenario DMV che DE), due situazioni “pessime” (in rosso) per lo stadio di trota giovane nel tratto Noce - Dimaro. In generale si può osservare un incremento dei valori dell’indice ISH per gli scenari DE rispetto agli scenari DMV.

Tabella 10: Indice di disponibilità spaziale di habitat (ISH) per gli scenari DMV e DE a confronto con lo scenario di riferimento, per le specie trota marmorata e fario, stadi adulto e giovane. I valori rappresentano l’indice ISH; il colore rappresenta la classe di qualità (Tab. 4).

	DMV			DE		
	adulto		giovane	adulto		giovane
	fario	marmorata		fario	marmorata	
Avisio	0.69	0.65	0.79	0.74	0.70	0.85
Noce - Dimaro	0.73	0.70	0	0.81	0.81	0
Noce - Marilleva	0.57	0.48	0.84	0.71	0.59	0.96
Vermigliana	0.60	0.61	0.62	0.76	0.78	0.79
Rabbies	0.63	0.66	0.65	0.67	0.70	0.69
Vela	0.54	0.57	0.94	0.59	0.62	0.87
Rabiola	0.78	0.82	0.78	0.73	0.75	0.72

La Tab. 11 presenta i valori dell’indice ITH. A differenza della precedente tabella per gli indici ISH (Tab. 10), è possibile osservare una variabilità dei valori ITH fra specie, scenari e casi studio meno graduale e decisamente più netto, con la maggioranza dei valori polarizzati fra le classi di qualità più estreme (elevato oppure pessimo). Per i tratti di Avisio, Noce Dimaro e Marilleva, Vermigliana e Rabbies la gran parte dei valori è prossima allo 0, e quindi ricadente nella classe “pessima”, sia per lo scenario DMV che per lo scenario DE. Per il Vela e il Rabiola invece, entrambi gli scenari risultano in valori di ITH pari a 1, e quindi ricadenti in classe di stato “elevato”. L’imposizione del regime DMV piuttosto che DE non comporta differenze significative.

Tabella 11: Indice di disponibilità temporale di habitat (ITH) per gli scenari DMV e DE a confronto con lo scenario di riferimento, per le specie trota marmorata e fario, stadi adulto e giovane. I valori rappresentano l'indice ITH; il colore rappresenta la classe di qualità (Tab. 4).

	ITH (DMV)			ITH (DE)		
	adulto		giovane	adulto		giovane
	fario	marmorata		fario	marmorata	
Avisio	0	0.01	0.05	0	0	0.05
Noce - Dimaro	0.01	0	0.72	0.01	0	0.72
Noce - Marilleva	0	0	0.30	0	0	0.30
Vermigliana	0	0	0	0	0	0
Rabbies	0	0	0	0	0	0
Vela	1	1	0.99	1	1	0.99
Rabiola	1	1	1	1	1	1

Si presentano infine i valori degli indici di integrità spazio-temporale dell'habitat IH, calcolati per ogni caso studio, separatamente per ogni specie e stadio vitale (Tab. 12), e infine come indice riassuntivo per ogni scenario (Tab. 13). Come è possibile osservare in Tab. 12, l'indice IH presenta valori perlopiù bassi (classe "pessima" e "scadente") per i tratti di Avisio, Noce (Dimaro e Marilleva), Vermigliana e Rabbies, dove il fattore limitante risulta la componente temporale dell'indice (ITH). Per Vela e Rabiola il fattore limitante diventa invece la componente spaziale (ISH), fornendo ITH valori sempre di classe "elevata". Gli indici IH sono infatti sempre superiori a 0.5, ricadendo interamente nelle classi "buono" ed "elevato" per il Rabiola, con invece valori in classe "sufficiente" per gli stadi adulti per il Vela.

L'indice complessivo per ogni caso studio, ottenuto come valore minimo fra quelli risultanti per ciascuna specie e stadio vitale considerati, viene riportato in Tab. 13, dove è possibile osservare che solo per il Rabiola le alterazioni causate dalle ipotetiche derivazioni sottoposte a regime di DMV e DE mantengono uno stato "buono". Per il Vela si raggiungono valori di IH prossimi allo 0.6, ma leggermente inferiori a tale valore, ricadendo dunque nella classe "sufficiente" per entrambi gli scenari. Infine, sia il regime di DMV che quello di DE risultano in alterazioni classificate in classe "pessima" per gli altri casi studio.

Mettendo a confronto l'applicazione del regime DMV con il regime DE sull'alterazione spazio-temporale dell'habitat (Tab. 13 e Fig. 23), si osserva un leggero miglioramento dell'indice ISH medio (calcolato come media di tutti i valori ISH per ogni caso studio, specie e stadio vitale), che passa da 0.65 per il regime DMV a 0.71 per il regime DE; una sostanziale invarianza dell'indice ITH, il cui valore medio diminuisce di un punto percentuale, passando da 0.34 a 0.33 per rispettivamente i regimi DMV e DE; infine, mediamente, non si riscontrano alcune differenze sull'indice complessivo IH, che per entrambi i regimi ha un valore medio di 0.19.

Tabella 12: Indice d'integrità spazio-temporale di habitat (IH) per gli scenari DMV e DE a confronto con lo scenario di riferimento, per le specie trota marmorata e fario, stadi adulto e giovane. I valori rappresentano l'indice IH (calcolato come valore minimo tra ISH e ITH per ogni singola specie e stadio vitale); il colore rappresenta la classe di qualità (Tab. 4).

	ITH (DMV)			ITH (DE)		
	adulto		giovane	adulto		giovane
	fario	marmorata		fario	marmorata	
Avisio	0	0.01	0.05	0	0	0.01
Noce - Dimaro	0.01	0	0	0.01	0	0
Noce - Marilleva	0	0	0.30	0	0	0.30
Vermigliana	0	0	0	0	0	0
Rabbies	0	0	0	0	0	0
Vela	0.54	0.57	0.94	0.59	0.62	0.87
Rabiola	0.78	0.82	0.78	0.73	0.75	0.72

Tabella 13: Indice (complessivo) di integrità spazio-temporale di habitat (IH) per gli scenari DMV e DE a confronto con lo scenario di riferimento. I valori rappresentano l'indice IH (calcolato come il valore minimo tra tutti gli indici ISH e ITH per le specie e stadi vitali); il colore rappresenta la classe di qualità (definita in Tab. 4); si presenta anche la differenza percentuale (in %) tra lo scenario DMV e lo scenario DE, calcolato come: $(IH_{DMV} - IH_{DE}) / IH_{DMV} \times 100$.

	IH (DMV)	IH (DE)	diff. %
Avisio	0	0	0
Noce - Dimaro	0	0	0
Noce - Marilleva	0	0	0
Vermigliana	0	0	0
Rabbies	0	0	0
Vela	0.54	0.59	9.3
Rabiola	0.78	0.73	-7.7

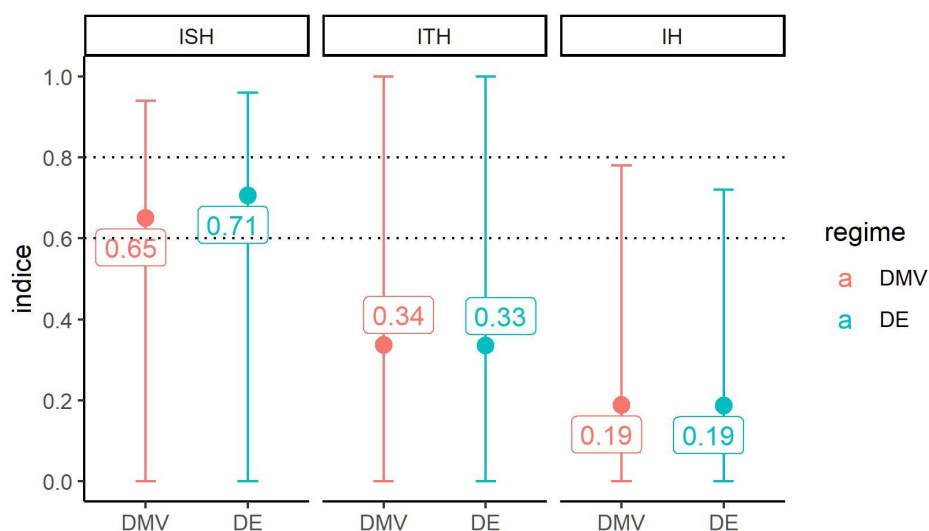


Figura 23: Sommario del confronto degli indici di disponibilità e integrità spatio-temporale di habitat per gli scenari di DMV e DE. In figura: valori medi (pallino colorato) degli indici per tutti i casi studio; valori minimi e massimi (segmento colorato). La media, i minimi e i massimi sono stati calcolati sulla base dei valori riportati in Tab. 10 (ISH), Tab. 11 (ITH) e Tab. 12 (IH), sulla base di 27 valori per scenario.

A seguito delle analisi degli scenari DMV e DE, si è proseguito ad analizzare le criticità che causano bassi valori di indici di disponibilità ed integrità di habitat. Tale analisi è stata condotta confrontando le serie temporali di habitat (e le derivanti curve UCUT, Fig. 11), per comprendere meglio gli effetti dell'applicazione dei vari regimi di DMV e DE, e delle derivazioni, sulla stagionalità e la disponibilità media dell'habitat. Questa possibilità è consentita dal carattere interamente quantitativo e predittivo del metodo in tutti gli step. Si riportano di seguito alcuni casi esemplificativi.

Un confronto degli scenari di derivazione con imposizione di DMV e DE per il Noce Marilleva (Fig. 24), mostra come un aumento medio dei regimi di minimo per via dell'applicazione del DE rispetto al DMV, risulti in una disponibilità media di habitat nella configurazione alterata (grafici a destra) per la trota fario adulta (linea orizzontale blu, b) maggiore rispetto al regime DMV (linea orizzontale blu, a). Questo effetto può essere compreso osservando le curve-habitat portata, e mettendo in relazione la posizione (valore di portata) dei loro massimi in confronto ai valori di portata associati ai valori delle modulazioni DMV e DE (Appendice A.2.12). Il massimo della curva habitat - portata avviene per una portata maggiore dei valori corrispondenti. Un aumento di portata rispetto al DMV corrisponde quindi a un aumento di habitat medio disponibile nella configurazione alterata (Fig. 30).

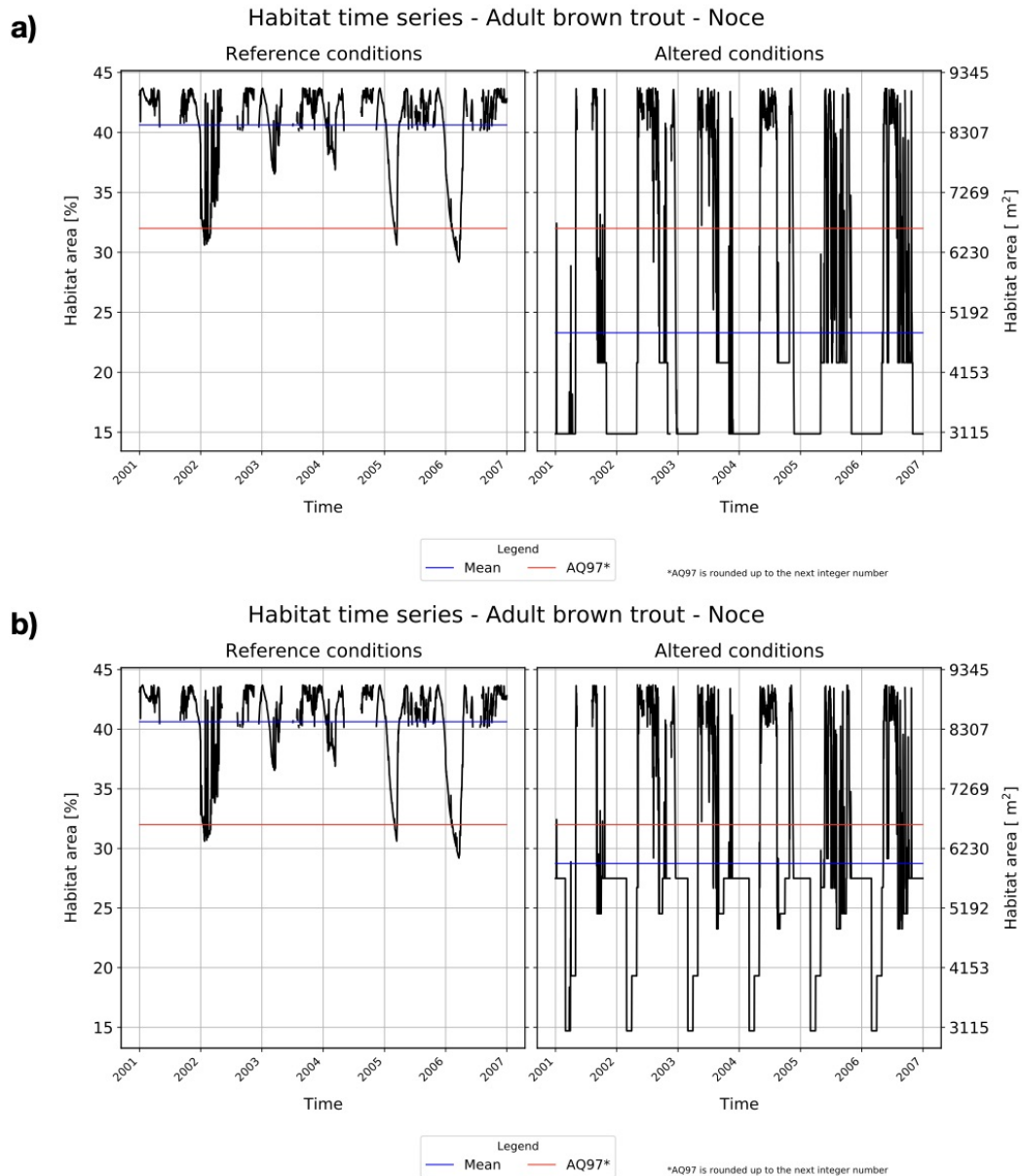


Figura 24: Confronto di serie temporali di habitat per il torrente Noce (Marilleva) in condizioni di riferimento (a sinistra, reference), e alterate (a destra, altered). Sono confrontati gli scenari con applicazione del DMV (a) e di DE (b) per la trota fario adulta.

Per quanto riguarda gli indici ITH, si osserva come l'applicazione dei regimi di DMV e DE aumenti la durata e la frequenza degli eventi continui sotto-soglia (utilizzando come soglia la disponibilità di habitat equivalente alla Q_{97} delle condizioni di riferimento, linee orizzontali rosse nelle Fig. 24 e Fig. 25). Questo comportamento è osservabile nelle serie temporali di habitat riferite sia al caso studio Noce Marilleva (Fig. 24) che Vermigliana, per la trota fario adulta e giovane (Fig. 25). Si può osservare come la derivazione, definita dai parametri di rilascio degli scenari DMV e DE, in entrambi i casi comporti un incremento di eventi sotto-soglia riferibili in particolare al periodo invernale, quando l'idrogramma è caratterizzato da un lungo periodo di magra. In questi scenari, una riduzione delle portate invernali ai valori minimi definiti dal DMV invernale riduce la disponibilità di habitat giornaliera, causando un aumento di lunghi periodi sotto soglia. La durata media degli eventi continuativi di stress, definita sulla base dell'indice AGS (o SDA, in inglese; [#eq_AGS](#)) confrontando le curve

UCUT dei regimi di riferimento e alterati (Fig. 26), incrementa rispettivamente 42.8 e 36.08 volte per lo stadio adulto e giovane della trota fario, risultante quindi per entrambi gli stadi vitali in un valore ITH uguale a 0. Vale la pena ricordare che l'indice ITH raggiunge il valore 0 per un aumento della durata media dei giorni di stress di circa 10 volte.

Si riportano anche le serie temporali di habitat (riferimento e alterato per lo scenario DE; Fig. 27), e le curve UCUT (Fig. 28), per il torrente Vela, in cui sono risultati valori molto diversi dell'indice ITH per gli stessi scenari. In questo caso infatti, l'applicazione del regime di DE non altera durata e frequenza dei periodi sotto-soglia, determinando un valore dell'indice ITH pari a 1.

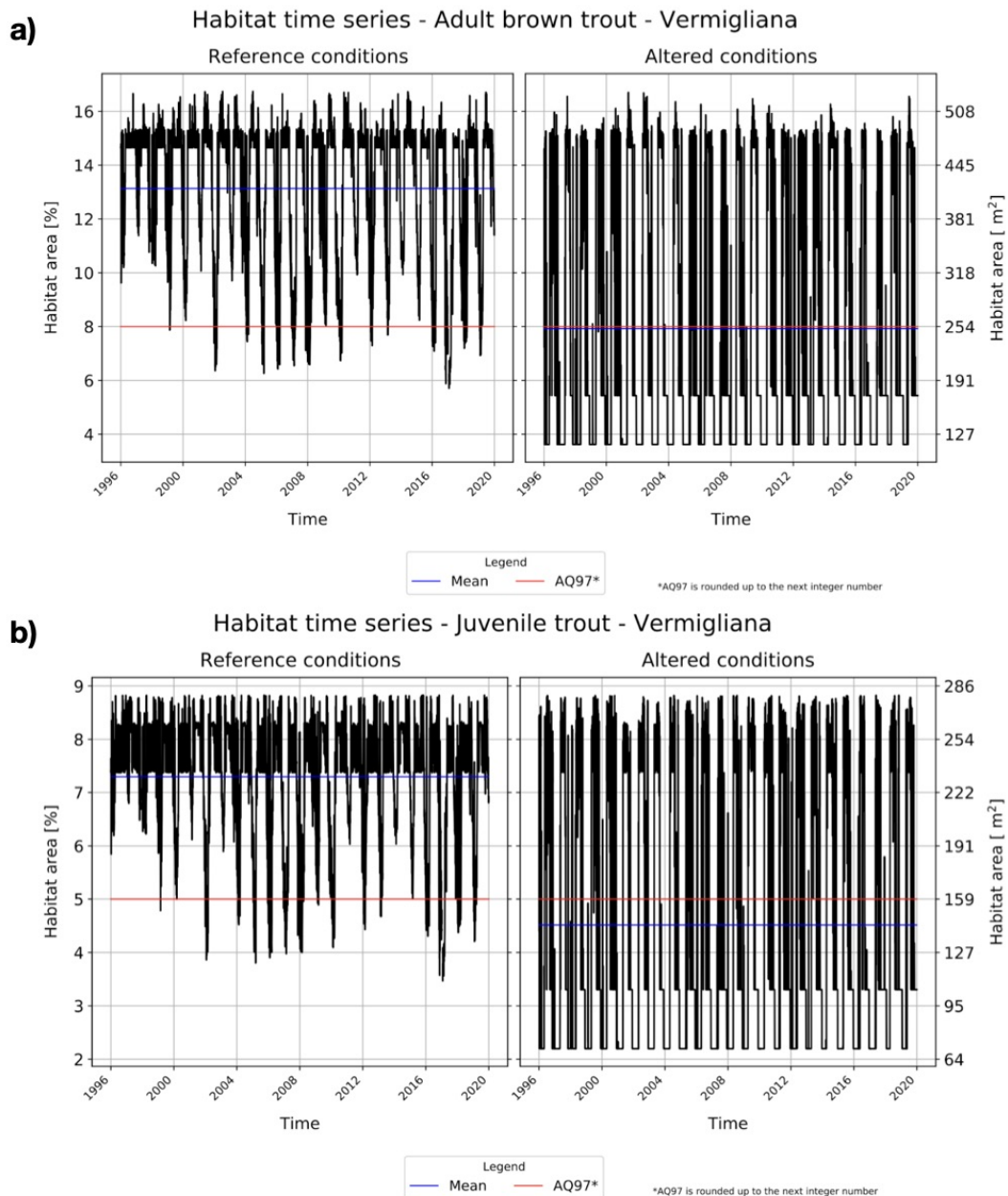


Figura 25: Confronto di serie temporali di habitat per il torrente Vermigliana in condizioni di riferimento (a sinistra, reference), e alterate (a destra, altered) per scenario di derivazione con applicazione del DMV, per trota fario adulta (a) e giovane (b).

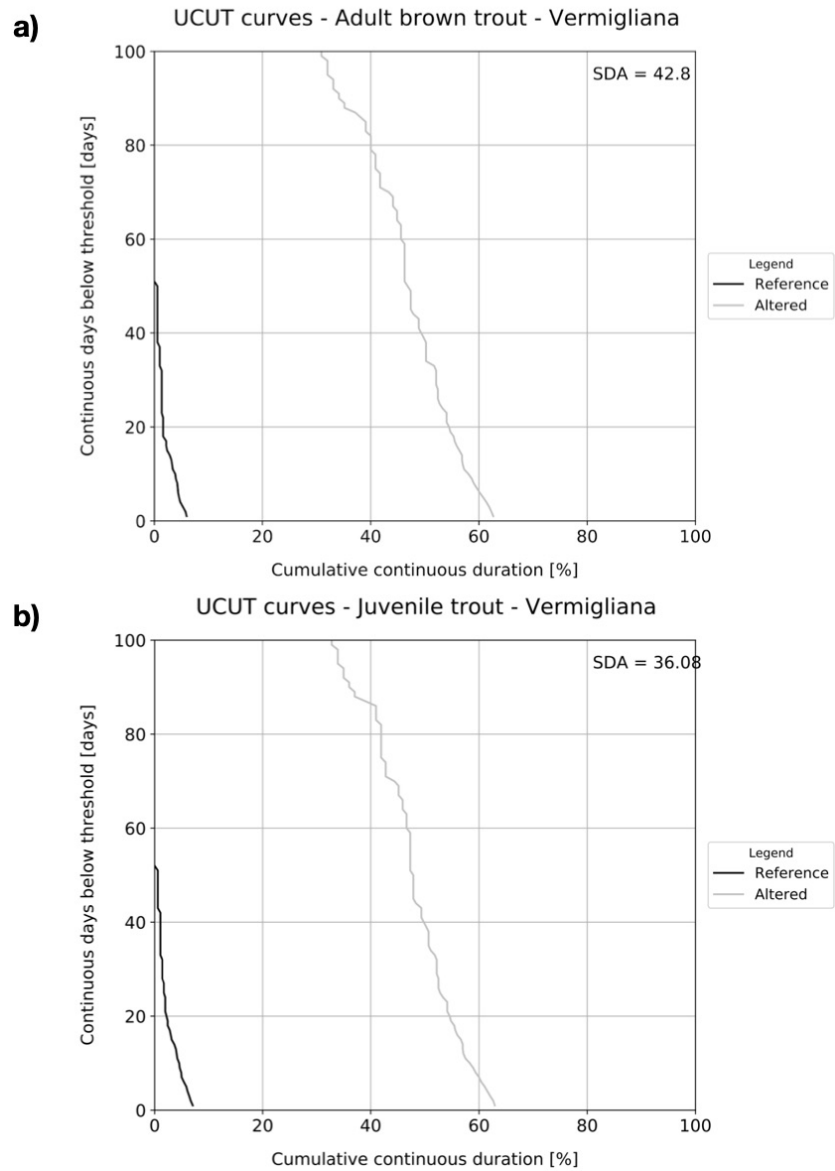


Figura 26: Confronto fra le curve UCUT per il torrente Vermigliana corrispondenti alle condizioni di riferimento e alle condizioni alterate, per scenario di derivazione con applicazione del DMV, per trota fario adulta (a) e giovane (b).

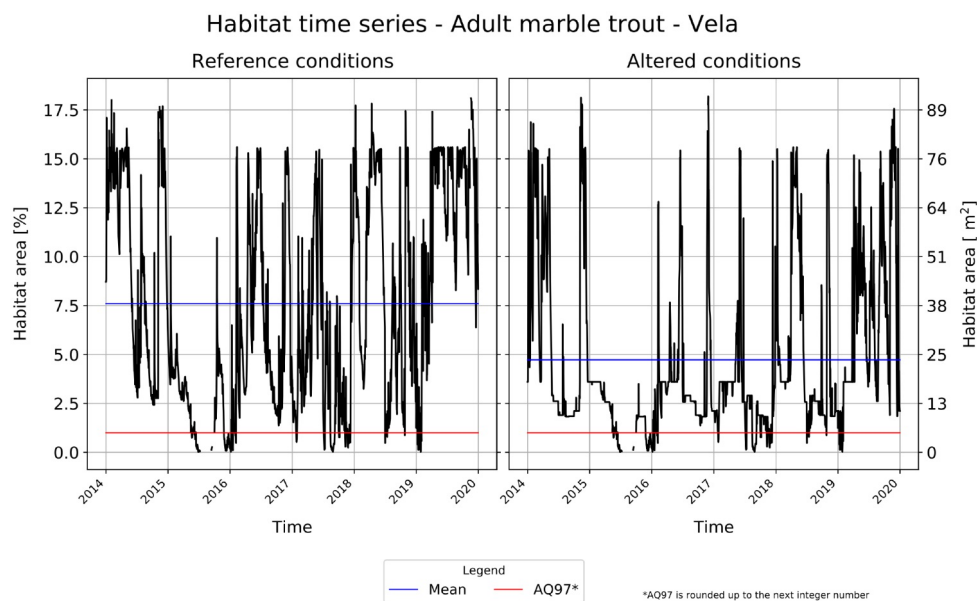


Figura 27: Confronto di serie temporali di habitat per il torrente Vela in condizioni di riferimento (a sinistra, reference), e alterate (a destra, altered), per scenario di derivazione con applicazione del DE, per la trota marmorata adulta.

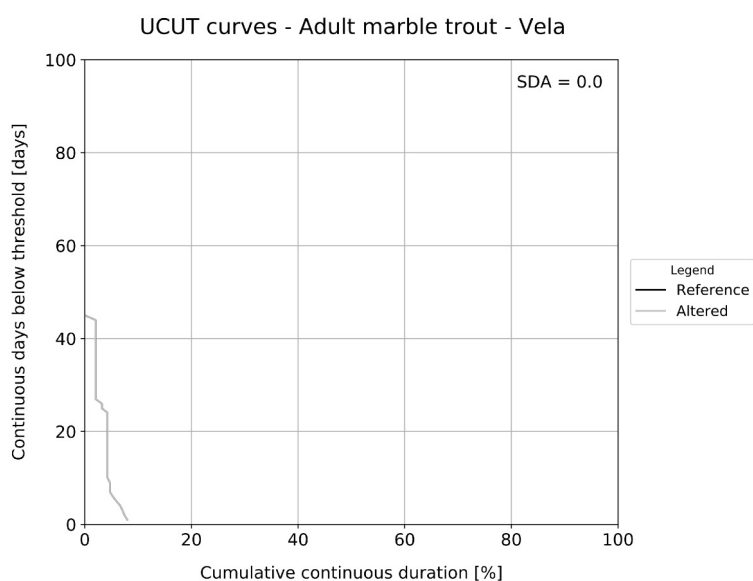


Figura 28: Confronto di curve UCUT per il torrente Vela per condizioni di riferimento e alterate, per scenario di derivazione con applicazione del DE, per trota marmorata adulta. Si noti che le due curve sono sostanzialmente sovrapposte.

E' interessante esaminare congiuntamente fra i vari casi studio i rapporti tra i valori di DMV e DE e la portata soglia Q_{97} utilizzata per la definizione degli eventi di stress (Fig. 29). I torrenti Vela e Rabiola, i cui indici ITH sono prossimi al massimo di 1, presentano generalmente valori di DMV e DE superiori alla portata soglia, mentre negli altri casi i valori minimi di portata (DMV o DE) sono perlopiù inferiori alla Q_{97} e, in alcuni casi, poco superiori.

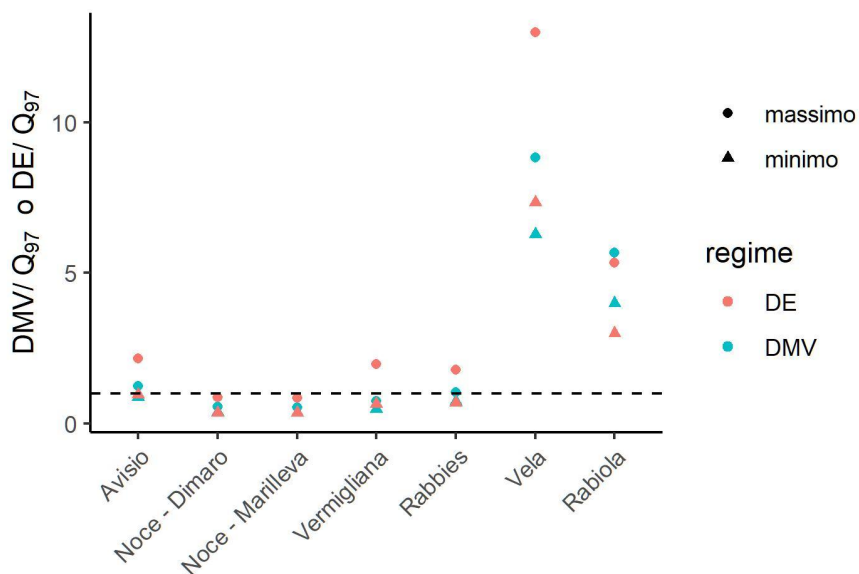


Figura 29: Rapporto tra valori minimi e massimi di DMV e DE e la Q_{97} per ogni caso studio.

Il confronto fra i valori di portata è indicativo ma non esaustivo, poiché le curve habitat - portata difficilmente presentano un andamento regolare e monotono crescente in tutto l'intervallo di portate nelle quali vengono determinate. Questo effetto si manifesta per es. in Fig. 30, dove si confrontano le distribuzioni delle idoneità relative associate alle portate minime di DMV, DE e Q_{97} per tutti i casi studio, specie target e stadi vitali di interesse. Ogni valore di idoneità relativa è stato calcolato come rapporto fra l'area idonea associata a una singola portata, e il valore massimo di area idonea dell'intera curva habitat - portata. È possibile osservare come, in media, le idoneità riferibili alla portata minima di DMV differiscano poco da quelle della portata minima DE, che risultano in generale leggermente superiori; entrambe, nella visione d'insieme, risultano comunque inferiori alle idoneità associate alla Q_{97} , cui corrisponde anche una maggior variabilità di idoneità relativa rispetto a quanto riscontrabile con le altre portate. Le differenze sono particolarmente marcate per lo stadio adulto di trota fario e marmorata.

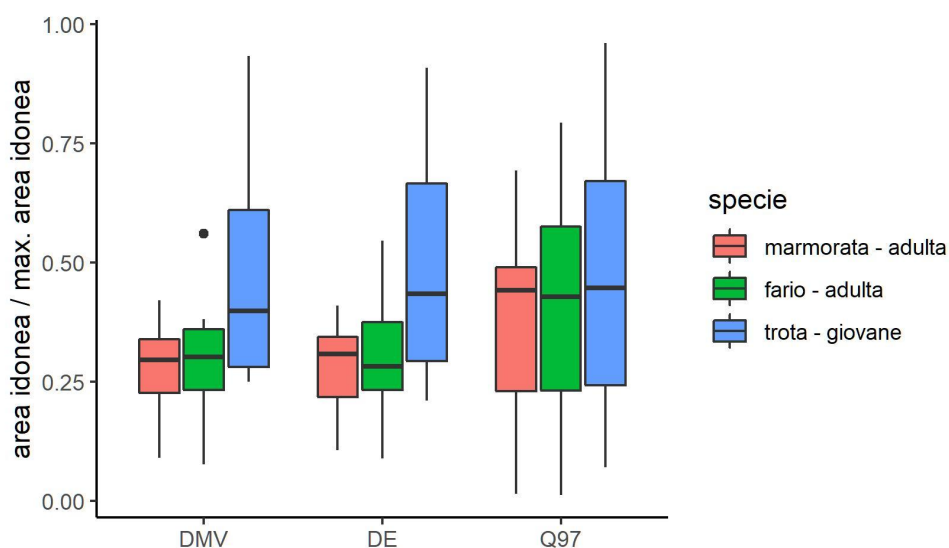


Figura 30: Confronto idoneità relativa (rapporto tra area idonea e area massima della curva) per valori minimi dei regimi DMV e DE, e della portata Q_{97} .

5.3 Discussione e analisi delle criticità

In questa prima fase sono stati confrontati due scenari ipotetici di derivazioni sui sette casi studio di progetto, il regime DMV da PGUAP e il regime DE da Direttiva Deflussi Ecologici. Il risultato principale è che né il regime DMV né il regime DE così calcolati sono generalmente sufficienti a garantire un'integrità spazio-temporale dell'habitat almeno "buona" in presenza di un'ipotetica derivazione ad acqua fluente con portata massima di concessione ricavata dal metodo delle curve di utilizzazione descritto al cap. 3.3. Inoltre, le differenze di integrità di habitat che emergono confrontando il regime DMV e il regime DE sono minime.

In un caso su sette (torrente Rabiola) i regimi DMV e DE corrispondono a una integrità di habitat in classe "buona" (Tab. 13). Una classificazione prossima al "buono" (IH compreso tra 0.6 e 0.8) si ottiene anche per il torrente Vela, per cui l'IH assume valori poco al di sotto della soglia di classe buona, risultando pari a 0.54 e 0.59 rispettivamente per le derivazioni con regime DMV e DE. Per tutti gli altri casi esaminati (Avisio, Noce Dimaro e Marilleva, Vermigliana e Rabbies), l'IH ha valore nullo, a seguito del comportamento a soglia del fattore limitante che risulta in questi cinque casi l'indice ITH.

Un confronto fra gli indici di disponibilità spaziale (ISH) e temporale (ITH) consente di evidenziare quali siano i fattori limitanti nei vari casi.

Nel passaggio da DMV a DE si osserva generalmente un incremento medio dell'indice ISH, mentre l'indice ITH rimane pressoché invariato (Fig. 23). L'aumento medio dell'indice ISH è attribuibile a un aumento medio del regime dei minimi imposto dall'applicazione del regime DE rispetto al regime DMV (Tab. 9), al quale corrisponde un aumento medio delle idoneità (Fig. 30). I prelievi durante i periodi di magra naturale riducono infatti le portate in alveo al regime DMV o DE. L'incremento di portata associato al DE non si traduce invece in un aumento dell'indice ITH, che assume valori o molto alti (prossimi al massimo 1) per Vela e Rabiola, o molto bassi (prossimi al minimo 0) per i restanti tratti, comportamento legato alla presenza di una soglia netta nel calcolo dell'indice. Gli indici IH, calcolati come il minimo dei singoli indici, risultano quindi:

- limitati dalla disponibilità temporale di habitat, quando ITH presenta valori prossimi allo 0 (Avisio, Noce Dimaro e Marilleva, Vermigliana e Rabbies)
- limitati dalla disponibilità spaziale di habitat, quando ITH ricade in classe elevata (Vela e Rabiola).

Le maggiori criticità si riscontrano durante i periodi di magra naturali, tipicamente il periodo invernale, caratterizzati da valori bassi di portata, e quindi in quasi tutti i casi di disponibilità di habitat, che vengono ulteriormente ridotti a seguito del prelievo idrico (Fig. 25). Questo ha come conseguenza un aumento della durata continua e della frequenza dei periodi di stress, con habitat disponibile sotto la soglia di habitat corrispondente alla portata Q_{97} . Quando i valori di DMV e DE sono inferiori rispetto alle Q_{97} e i tre valori si localizzano nella porzione monotona crescente della curva habitat - portata (Fig. 29) alle portate di DMV e DE, sono associate percentuali di idoneità inferiori rispetto alla soglia Q_{97} (Fig. 30). Questo avviene per molte (ma non tutte le) specie in 5 dei tratti considerati. In tali casi, quando la portata in alveo viene ridotta ai regimi di DMV o DE, la disponibilità di habitat si riduce rispetto alla soglia associata alla portata Q_{97} . Ne consegue quindi un aumento di durata e frequenza dei periodi di stress per la fauna ittica, risultanti in valori molto ridotti di ITH. E' importante rimarcare come tale effetto si osservi frequentemente nei

casi esaminati ma non invariabilmente, sottolineando l'importanza di esaminare la sito-specificità di ciascun caso in termini di regime idrologico e curva habitat - portata. Quando il comportamento a soglia non determina invece la riduzione marcata dell'ITH, il fattore limitante diventa invece l'ISH come riscontrato sui torrenti Vela (per trota marmorata e fario adulta), Noce Marilleva (per marmorata e fario adulta), e Noce Dimaro (per trota giovane).

L'analisi dettagliata delle criticità sopra esposte consente di formulare ipotesi mirate per lo sviluppo di scenari di rilascio migliorativi. Fra le molteplici opzioni che potenzialmente si possono ideare operando sulla modulazione temporale del rilascio, nel gruppo di lavoro si è concordato di esplorare due serie di scenari:

1. una prima serie con aumento del DMV ottenuto tramite l'applicazione di un coefficiente moltiplicativo costante e uguale per tutte le stagionalità considerate
2. una seconda serie che prevede, oltre alla modulazione del DMV, un blocco di derivazione nei mesi che vanno da novembre a marzo, identificati come i più critici per la durata di eventi di stress.

Dato che l'aumento del DMV rilasciato si traduce inevitabilmente in una riduzione dei volumi prelevabili, è stata contemplato nell'analisi degli scenari migliorativi un aumento della portata massima di concessione Q_c , per simulare l'effetto di una possibile compensazione della perdita per le attività produttive collegate alla derivazione.

Gli scenari così proposti sono analizzati e discussi nel seguente capitolo 6.

6 Integrità dell'habitat secondo scenari di rilascio alternativi

6.1 Descrizione scenari

Sulla base delle criticità evidenziate nel precedente capitolo 5, sono stati modificati i parametri di rilascio dell'ipotetica derivazione, definendo le seguenti due serie di scenari di rilascio alternativi:

- 1) amplificazione dei valori di DMV tramite un fattore moltiplicativo, mantenendo la stessa modulazione temporale definita dal PGUAP, e possibile incremento della portata massima di concessione.
- 2) Caratteristiche analoghe alla serie precedente con blocco di derivazione invernale (da novembre a marzo).

Un sommario delle combinazioni dei parametri su cui sono basati tali scenari è presentato in Tab. 14.

Il prosieguo del capitolo presenta in forma riassuntiva i risultati (in termini di indici ISH, ITH e IH) per i vari scenari, e si discutono infine gli effetti che, mediamente, ognuna di queste scelte può avere sulla disponibilità spazio-temporale dell'habitat, e quindi sui valori risultanti degli indici.

Tabella 14: Parametri utilizzati per la definizione degli scenari di rilascio alternativi, a partire dal regime di DMV: fattore moltiplicativo del DMV, fattore moltiplicativo della portata massima di concessione (fattore moltiplicativo Q_c); periodo dell'eventuale blocco di derivazione invernale.

	fattore moltiplicativo DMV	fattore moltiplicativo Q_c	blocco invernale
Avisio	1, 1.5, 2, 2.5	1, 1.5, 2	Nov - Mar
Noce - Dimaro	1, 1.5, 2, 2.5, 3.5, 4	1, 1.5, 2	Nov - Mar
Noce - Marilleva	1, 1.5, 2, 2.5, 3.5, 4	1, 1.5, 2	Nov - Mar
Vermigliana	1, 1.5, 2, 2.5	1, 1.5, 2	Nov - Mar
Rabbies	1, 1.5, 2, 2.5	1, 1.5, 2	Nov - Mar
Vela	1, 1.5, 2, 2.5	1, 1.5, 2	Nov - Mar
Rabiola	1, 1.5, 2, 2.5	1, 1.5, 2	Nov - Mar

6.2 Risultati

Si presentano inizialmente i risultati per tutti gli scenari risultanti dall'aumento proporzionale del DMV e della portata massima concessa.

Per il caso studio Avisio (Fig. 31) si osserva che, nonostante l'ISH non sia limitante, è necessario un fattore moltiplicativo di almeno 1.5 del DMV per il raggiungimento dello stato "elevato" per l'indice ITH, e di conseguenza per l'IH. Si osserva inoltre che, a parità di fattore moltiplicativo del DMV, è possibile aumentare la portata massima derivabile fino a un fattore 2, mantenendo la classe di habitat "buona" (ma non più "elevata").

Per i casi studio Noce a Dimaro (Fig. 32) e Marilleva (Fig. 33) si osserva un aumento medio dell'indice ISH all'aumentare del fattore moltiplicativo DMV. Per il Noce a Dimaro si rende però necessario un fattore DMV pari a 4 per il raggiungimento di valori maggiori a 0.6 per tutte le specie e stadi vitali considerati. Similmente, un coefficiente di 3.5 è necessario per ottenere valori ITH maggiori a 0.6. Si necessita quindi di una modulazione di almeno 4 volte il DMV per realizzare degli scenari di derivazione in classe "buona". Risulta possibile però aumentare a un fattore 2 la concessione della portata massima concessa, mantenendo la stessa classe di qualità dell'habitat. In maniera analoga, per il Noce a Marilleva, la disponibilità spaziale dell'habitat risulta non limitante a partire da un fattore DMV di 2.5, mentre è necessario un fattore moltiplicativo di 4 per l'indice ITH. Tale vincolo si rispecchia anche sull'indice IH, ma non risulta possibile aumentare la portata concessa senza scadere nella classe "sufficiente".

Per la Vermigliana (Fig. 34), l'aumento del DMV ha un effetto quasi lineare sulla disponibilità media spaziale dell'habitat, che supera la soglia 0.6 in seguito a modulazione con fattore pari a 1.5. Risulta però necessario aumentare il DMV di un fattore 2.5 per ottenere valori di ITH in classe "elevata". Con un fattore moltiplicativo di 2.5 è possibile mantenere in classe "elevata" la derivazione nonostante un aumento fino a un fattore 2 della portata concessa.

A differenza dei precedenti casi, come già visto in precedenza, il torrente Vela (Fig. 36) non presenta criticità da un punto di vista della disponibilità temporale dell'habitat in nessuno degli scenari moltiplicativi analizzati. Risulta però limitante la disponibilità spaziale espressa dall'indice ISH. Si necessita quindi un valore di DMV pari almeno a 1.5 volte le portate considerate (da PGUAP) per ottenere un indice spaziale e quindi un indice IH in classe "buona". Con un fattore DMV di 2.5 risulta inoltre possibile anche incrementare la portata massima concessa fino ad un fattore di 2, mantenendo tutti gli scenari in classe "buona".

Il torrente Rabiola (Fig. 37), infine, non presenta criticità in nessuno degli scenari considerati. L'indice ITH è sempre prossimo al valore 1 (e quindi in classe "elevata") in tutti gli scenari considerati. Il coefficiente ISH passa dalla classe "buona" alla classe "elevata" a partire da un coefficiente moltiplicativo del DMV di 1.5.

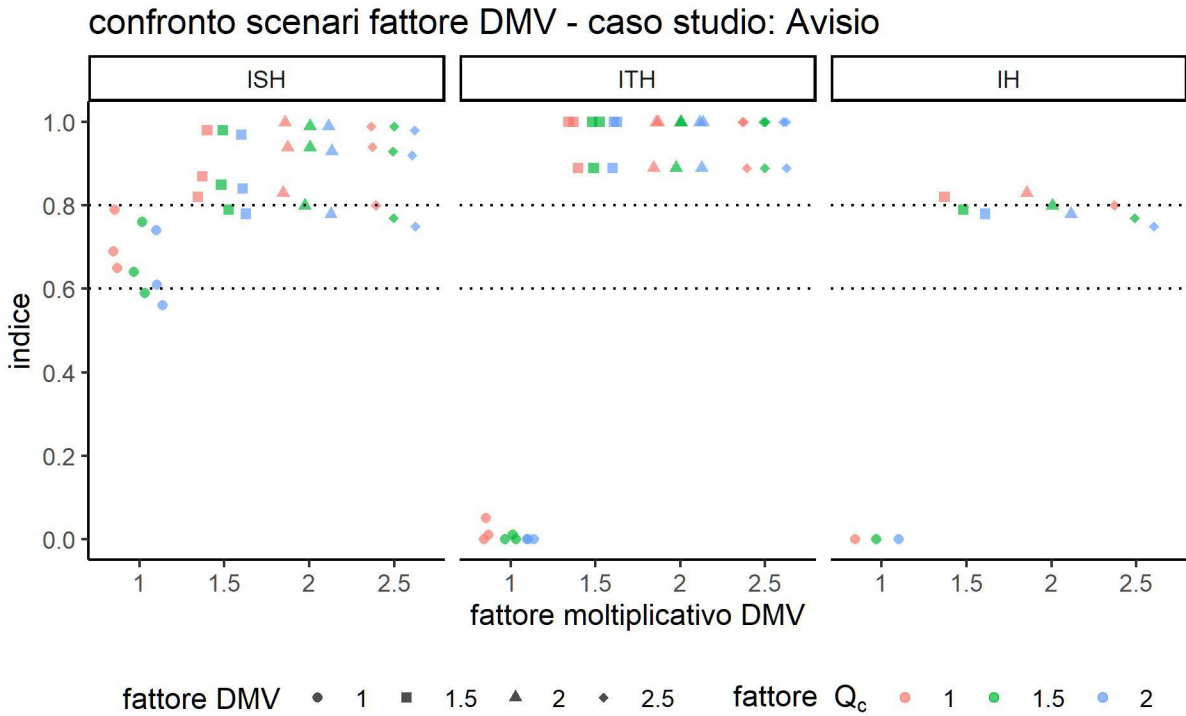


Figura 31: Scenari con fattore moltiplicativo per DMV e Q_c per torrente Avisio. Per ogni combinazione di fattori si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale adulto e giovane (per un totale di 3 punti per ogni combinazione). I punti sono visualizzati in modalità 'jitterdodge' che ne sfasa la posizione orizzontale per una migliore visualizzazione.

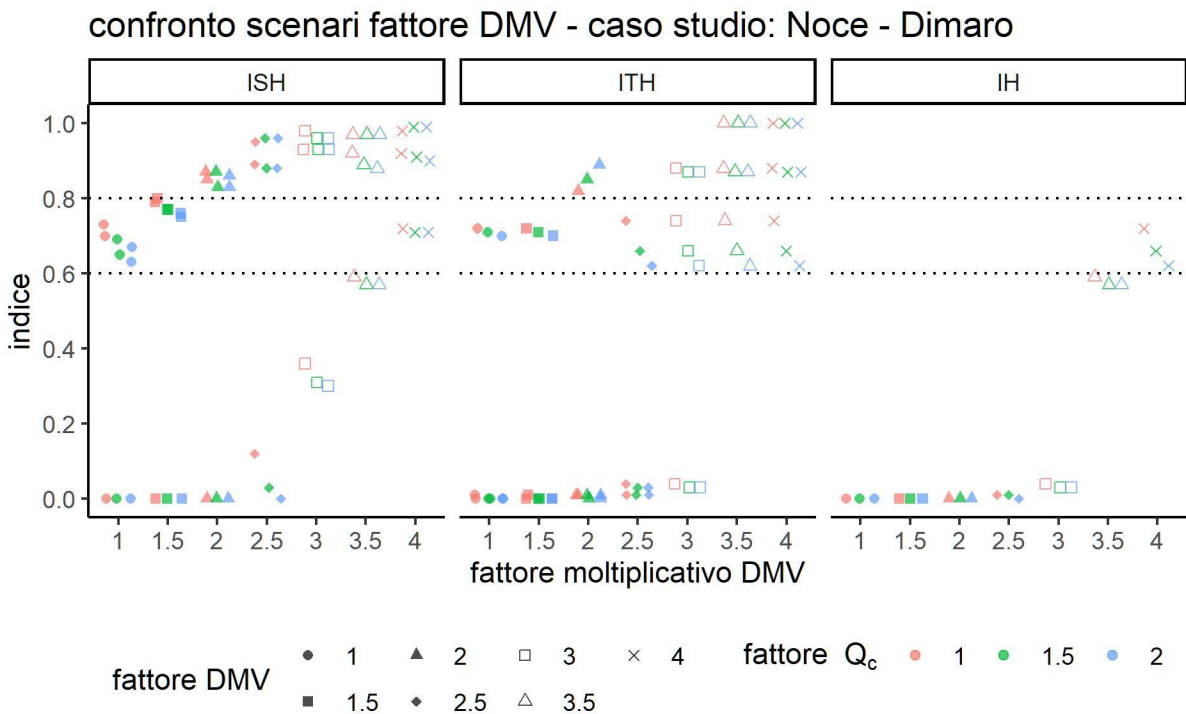


Figura 32: Scenari con fattore moltiplicativo per DMV e Q_c per torrente Noce a Dimaro. Per ogni combinazione di fattori si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale adulto e giovane (per un totale di 3 punti per ogni combinazione). I punti sono visualizzati in modalità 'jitterdodge' che ne sfasa la posizione orizzontale per una migliore visualizzazione.

confronto scenari fattore DMV - caso studio: Noce - Marilleva

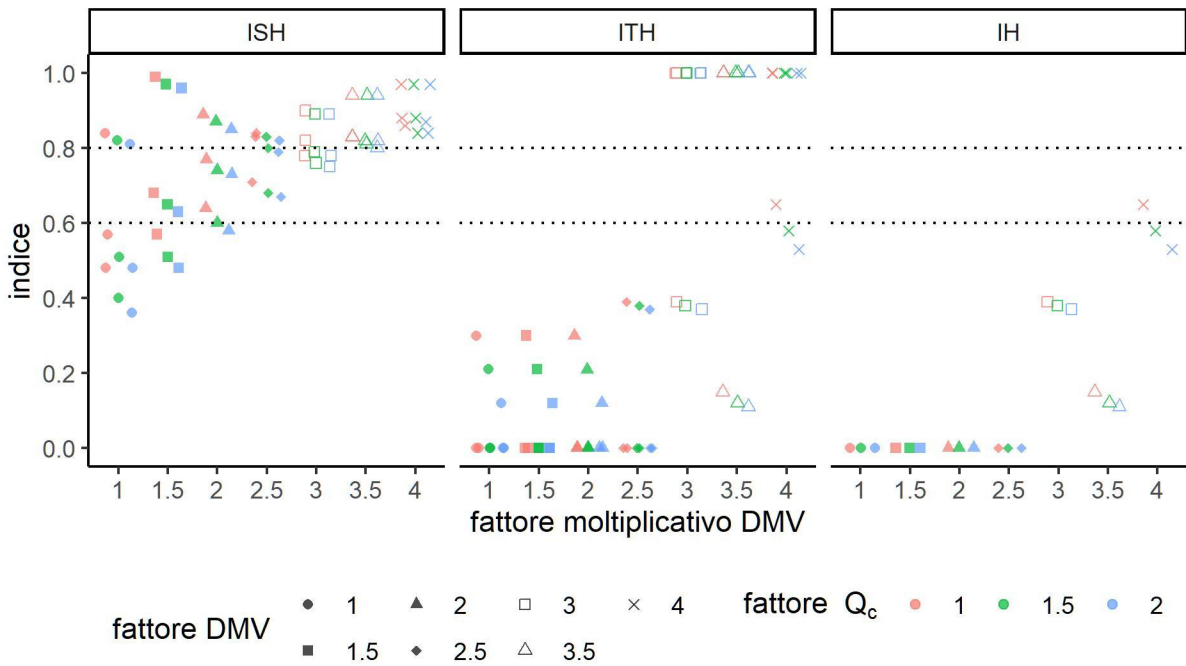


Figura 33: Scenari con fattore moltiplicativo per DMV e Q_c per torrente Noce a Marilleva. Per ogni combinazione di fattori si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale adulto e giovane (per un totale di 3 punti per ogni combinazione). I punti sono visualizzati in modalità 'jitterdodge' che ne sfasa la posizione orizzontale per una migliore visualizzazione.

confronto scenari fattore DMV - caso studio: Vermigliana

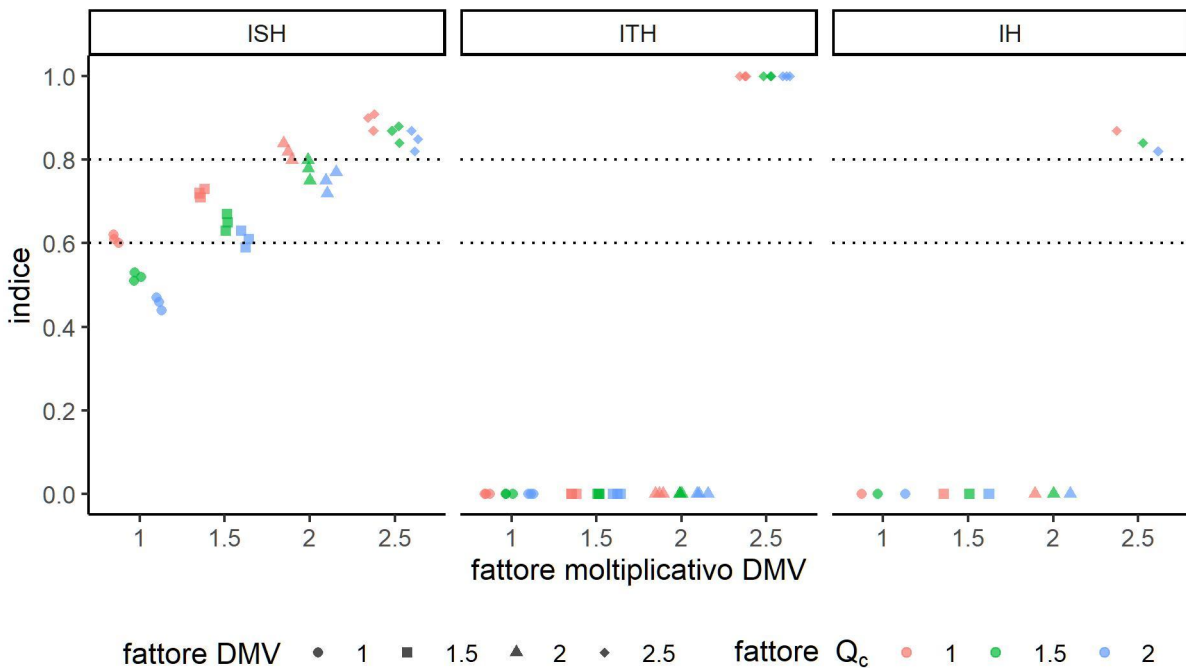


Figura 34: Scenari con fattore moltiplicativo per DMV e Q_c per torrente Vermigliana. Per ogni combinazione di fattori si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale adulto e giovane (per un totale di 3 punti per ogni combinazione). I punti sono visualizzati in modalità 'jitterdodge' che ne sfasa la posizione orizzontale per una migliore visualizzazione.

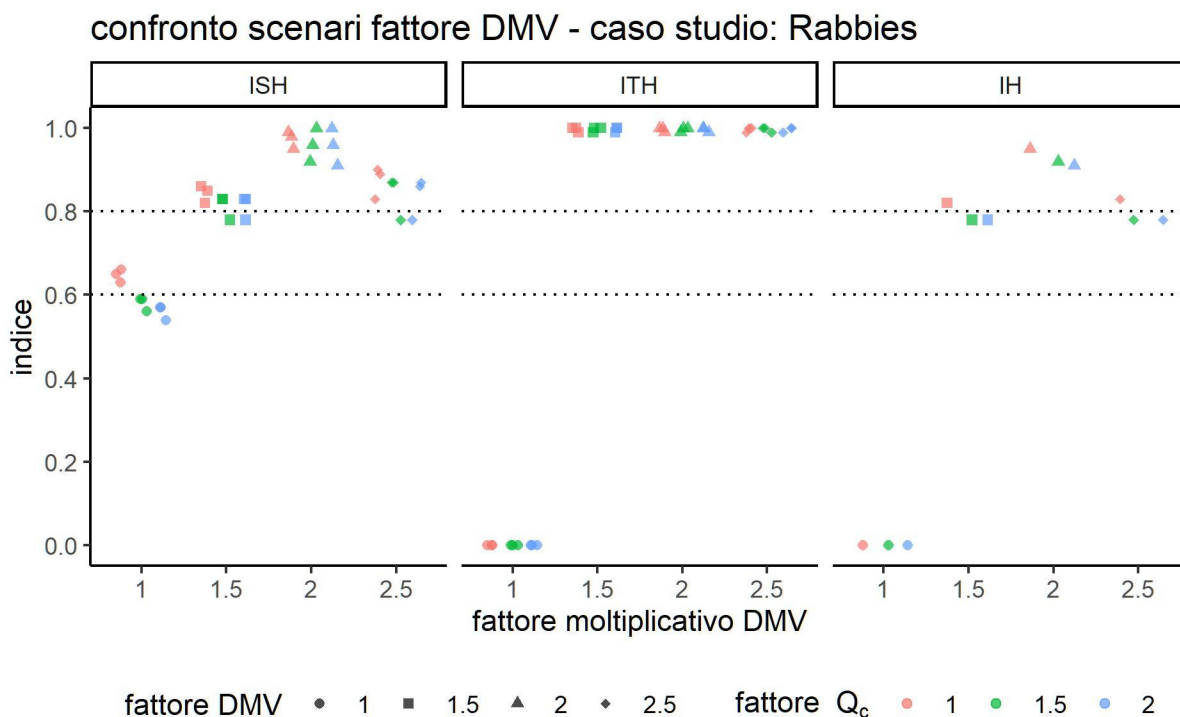


Figura 35: Scenari con fattore moltiplicativo per DMV e Q_c per torrente Rabbies. Per ogni combinazione di fattori si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale adulto e giovane (per un totale di 3 punti per ogni combinazione). I punti sono visualizzati in modalità 'jitterdodge' che ne sfasa la posizione orizzontale per una migliore visualizzazione.

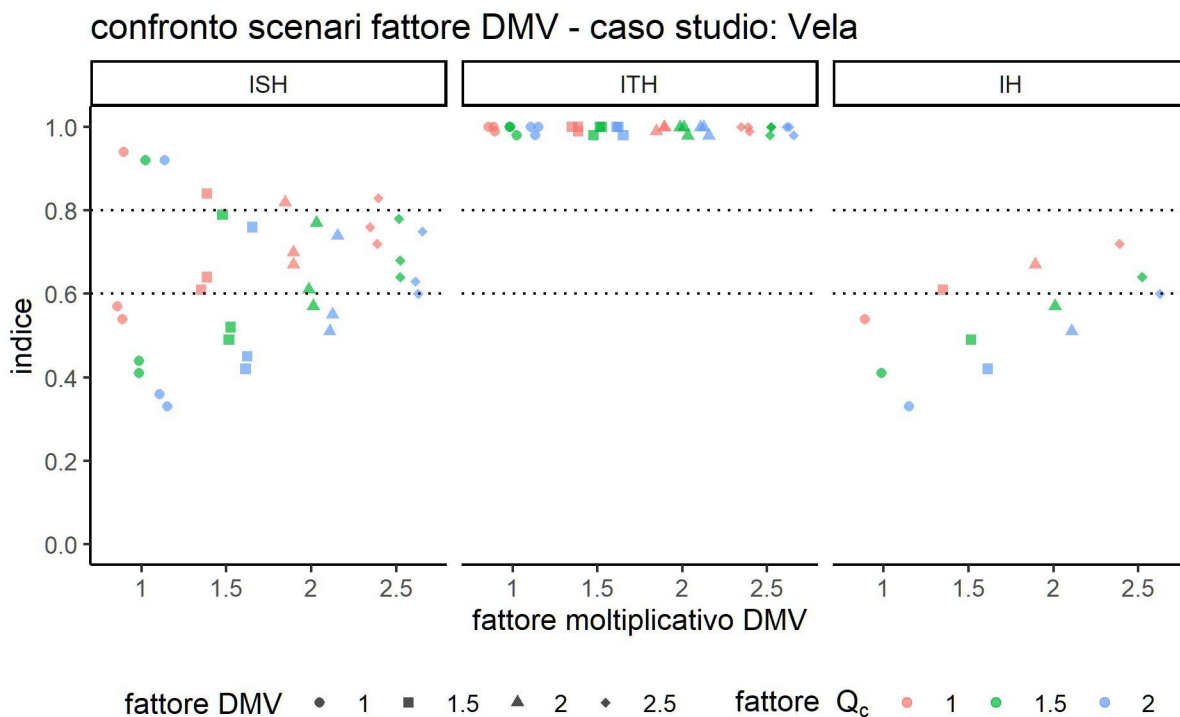


Figura 36: Scenari con fattore moltiplicativo per DMV e Q_c per torrente Vela. Per ogni combinazione di fattori si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale adulto e giovane (per un totale di 3 punti per ogni combinazione). I punti sono visualizzati in modalità 'jitterdodge' che ne sfasa la posizione orizzontale per una migliore visualizzazione.

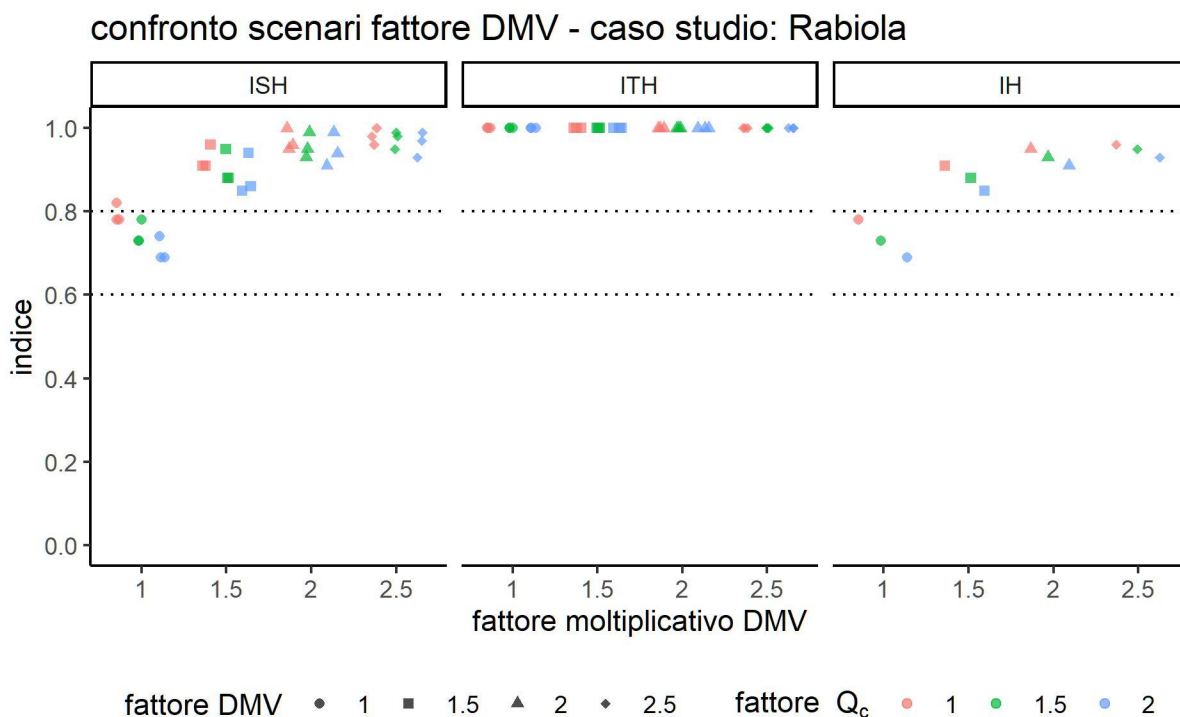


Figura 37: Scenari con fattore moltiplicativo per DMV e Q_c per torrente Noce a Dimaro. Per ogni combinazione di fattori si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale adulto e giovane (per un totale di 3 punti per ogni combinazione). I punti sono visualizzati in modalità 'jitterdodge' che ne sfasa la posizione orizzontale per una migliore visualizzazione.

Si passa quindi a esaminare i risultati della serie di scenari che prevedono un blocco di derivazione nei mesi da novembre a marzo (Fig. 38 e Fig. 39).

Si può osservare che, con la singola eccezione del Noce a Dimaro, nessuno dei casi studio analizzati presenta criticità nell'indice ISH, che permane sempre in classe almeno "buona", e in quasi la totalità dei casi in classe "elevata", anche con imposizione del DMV base (quindi con coefficiente pari a 1). Una situazione analoga a quanto visto per gli scenari precedentemente esposti si osserva invece per l'indice ITH, per cui la soglia di 0.6 viene generalmente superata soltanto con una modulazione del DMV superiore a 1 (con le uniche eccezioni per i torrenti Vela e Rabiola).

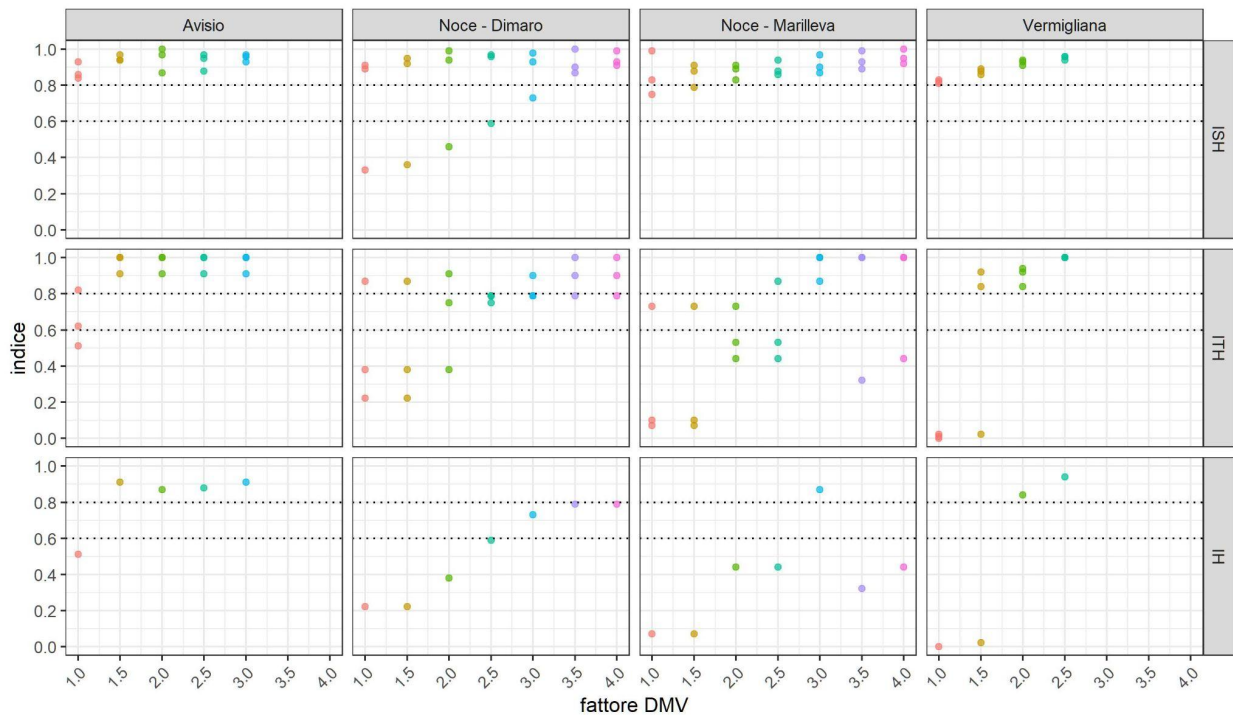


Figura 38: Scenari con interruzione del prelievo invernale (mesi Novembre - Marzo) e fattore moltiplicativo per DMV, per i casi studio Avisio, Noce (Dimaro), Noce (Marilleva) e Vermigliana. Per ogni fattore si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale e giovane (per un totale di 3 punti per ogni fattore). Si noti che in diverse situazioni i valori degli indici sono pressoché coincidenti, e i relativi punti di conseguenza risultano sovrapposti

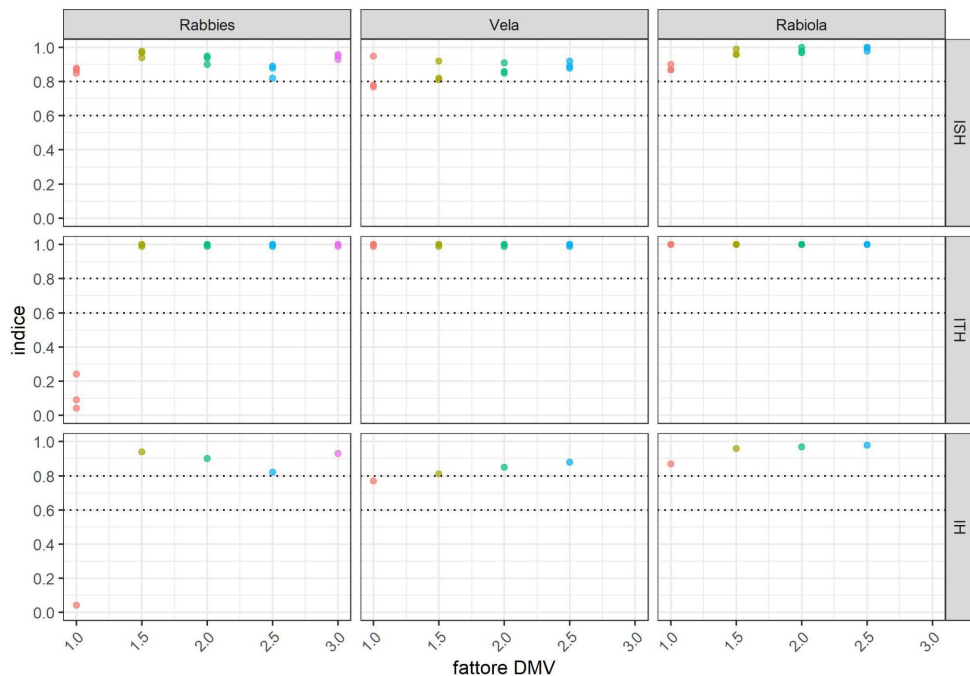


Figura 39: Scenari con stop produzione invernale (mesi Novembre - Marzo) e fattore moltiplicativo per DMV, per i casi studio Avisio, Noce (Dimaro), Noce (Marilleva) e Vermigliana. Per ogni fattore si rappresentano gli indici riferiti alle specie trota fario e marmorata, stadio vitale e giovane (per un totale di 3 punti per ogni fattore). Si noti che in diverse situazioni i valori degli indici sono pressoché coincidenti, e i relativi punti di conseguenza risultano sovrapposti

Il confronto tra gli scenari senza e con blocco invernale (Tab. 15) mostra che: è possibile simulare derivazioni ipotetiche che raggiungano la classe di qualità dell'habitat almeno "buona" attraverso una modulazione del DMV per mezzo di coefficiente moltiplicativo. Si nota inoltre che, **mediamente, l'applicazione del blocco invernale permette di ottenere risultati analoghi agli scenari senza blocco invernale, ma con coefficiente moltiplicativo del DMV più basso.** Inoltre, tra gli scenari analizzati, non sempre è stato possibile raggiungere la classe "elevata", neppure implementando il blocco invernale. In alcuni casi però, come ad esempio nel caso del Vela, l'implementazione di un blocco invernale in combinazione con un incremento del DMV ha permesso di ottenere risultati in classe "elevata", altrimenti non possibili con il solo incremento del DMV (anche con valori più alti).

Tabella 15: Fattore moltiplicativo DMV necessario per ottenere IH in classe "buona" ($0.6 \leq IH < 0.8$) o "elevata" ($IH \geq 0.8$), con o senza blocco di produzione invernale.

	Q_{97} / DMV_{min}	fattore DMV			
		IH > 0.6		IH > 0.8	
		senza	con	senza	con
blocco invernale					
Avisio	1.12	1.5	1.5	1.5	1.5
Noce - Dimaro	2.64	4	3	-	-
Noce - Marilleva	2.79	4	3	-	-
Vermigliana	2.01	2.5	2	2.5	2
Rabbies	1.34	1.5	1.5	1.5	1.5
Vela	0.16	1.5	1	-	1.5
Rabiola	0.25	1	1	1.5	1

6.3 Discussione

Gli scenari alternativi di rilascio (parametri in Tab. 14) sviluppati per affrontare le criticità (capitolo 5) associate a derivazioni con rilascio pari a DMV e DE (capitoli 2.1, 2.2, 3.3) hanno rivelato possibili opzioni di derivazione che garantiscano un'integrità di habitat almeno buona (IH maggiore o uguale a 0.6).

Per tutti i casi studio analizzati si è osservato un aumento medio dell'indice ISH legato alla maggiorazione del DMV. Si sono comunque osservati valori minimi di ISH più bassi della soglia 0.6 per singole specie target o stadi vitali considerati. A differenza dell'indice ISH, l'indice di disponibilità temporale ITH non aumenta gradualmente con l'aumentare del valore del DMV, ma presenta un marcato comportamento a soglia, che ne determina valori "buoni" o "elevati", soltanto quando il rilascio minimo una certa soglia, che spesso, ma non sempre, coincide con il valore di portata Q_{97} . Anche in queste situazioni sono però possibili dei minimi

per specifiche specie o stadi vitali e il passaggio attraverso la soglia, in funzione di condizioni idromorfologiche sito-specifiche può riflettersi in una discontinuità non sempre marcata nella variazione di ITH con la portata minima rilasciata (Fig. 32 e Fig. 33).

Dato che, come già evidenziato nel capitolo 5 (scenari DMV e DE) il fattore limitante per l'integrità dell'habitat non è sempre la disponibilità temporale, il superamento della soglia, ancorché comportando il miglioramento dell'indice ITH può non essere condizione sufficiente per il raggiungimento della classe "buona". E' possibile infatti che le condizioni di disponibilità spaziale non permettano un valore almeno "buono" di IH, richiedendo un ulteriore aumento della portata minima rilasciata. Per le casistiche analizzate, una modulazione del DMV che superi, almeno nei periodi più critici, la soglia identificata dalla Q_{97} , rappresenta quindi un requisito necessario (ma non sempre sufficiente) al raggiungimento della classe di qualità almeno "buona".

Si è inoltre simulato l'effetto di un aumento (fino a un max di 2x) della portata massima di concessione come possibile opzione compensativa all'aumento dei rilasci minimi, a beneficio delle attività produttive dipendenti dalla derivazione. Tale aumento può avvenire senza rilevanti differenze nei valori degli indici ISH, ITH e IH in molti dei casi analizzati. Questo suggerisce una possibile approccio per identificare opzioni di gestione della risorsa idrica in grado di ottimizzare la disponibilità spazio-temporale dell'habitat (tramite una modulazione del DMV), riducendo gli effetti avversi sul comparto produttivo (per mezzo di un aumento della portata massima derivabile).

Il secondo insieme di scenari analizzati ha previsto un blocco della derivazione durante i mesi invernali (Novembre-Marzo). Benché il semplice blocco della derivazione non migliori in maniera netta gli indici (Fig. 38), l'aumento dei rilasci DMV può essere più contenuto rispetto al caso in cui il prelievo avvenga anche in inverno. Se in generale il blocco di derivazione invernale comporta un miglioramento della disponibilità spaziale di habitat, con valori di ISH quasi sempre nella classe "elevata", l'effetto soglia viene in parte mantenuto per l'indice ITH. E' quindi necessaria una maggiorazione del DMV per ottenere valori di ITH almeno in classe "buona", che tuttavia risulta più contenuta rispetto agli scenari che non applicavano il blocco invernale (Tab. 15). Si osserva inoltre che, a parità di fattore moltiplicativo del DMV, in alcuni casi è possibile aumentare la classe di qualità dell'habitat da "buono" ad "elevato". Il blocco di derivazione invernale, che può essere visto come una ulteriore modifica della modulazione temporale dei parametri che definiscono la derivazione, rappresenta quindi un'opzione gestionale interessante nei casi in cui una maggiorazione del DMV risulti difficoltosa, o in cui sia necessario il mantenimento dell'integrità spazio-temporale dell'habitat "elevato" in siti di particolare interesse e valore ambientale.

Il confronto degli scenari e l'analisi delle criticità hanno messo in evidenza l'importanza di analizzare in maniera più approfondita le cause delle criticità riscontrate, andando quindi oltre al mero confronto degli indici complessivi IH finali. Le criticità possono infatti essere limitate soltanto ad alcune stagionalità, o specie e stadi vitali. Riconoscerne le cause può essere di supporto nello sviluppo di scenari e regole alternative, che consentano di mantenere l'integrità spazio-temporale dell'habitat a seguito di una derivazione, conciliando esigenze di qualità ambientale con esigenze delle attività produttive dipendenti dalla derivazione.

7 Conclusioni e prospettive

7.1 Conclusioni

Il progetto MesoPAT ha consentito di ampliare l'applicazione della metodologia MesoHABSIM a sette casi studio in Provincia di Trento, coprendo una varietà di morfologie fluviali, regimi idrologici e dimensioni dell'alveo rappresentativi di una consistente porzione del reticolo idrografico del Trentino. Tali applicazioni sono state utilizzate per sperimentare possibili scenari di Deflusso Ecologico secondo le recenti normative nazionali e distrettuali.

Il progetto ha visto in prima battuta un'intensa attività di raccolta dati in campo che, unita all'individuazione delle specie ittiche target per i tratti analizzati e alla successiva analisi dati, ha consentito di determinare le curve "habitat - portata", relazioni quantitative fra l'habitat disponibile e la portata in alveo, per i 7 casi studio. Successivamente sono stati simulati ipotetici scenari di derivazione idrica ad acqua fluente poco a monte dei tratti di studio, generando così le corrispondenti serie di portata che si verificherebbero nei tratti sottesi dalle derivazioni. Ogni scenario è stato definito attraverso una specifica combinazione di portata massima di concessione (stimata con il metodo delle curve di utilizzazione) e regime delle portate di rilascio. Si sono inizialmente simulati scenari di rilascio "standard" così come risulterebbero dall'applicazione diretta delle discipline del PGUAP e della Direttiva Deflussi Ecologici (Distretto Alpi Orientali) per il DMV e il DE. Successivamente, sulla base delle criticità evidenziate dagli scenari standard, si sono ideati scenari di derivazione alternativi, corrispondenti a rilasci minimi maggiori, più dinamici nel tempo, e anche a portate massime di concessione maggiore.

L'analisi degli scenari "standard" (cap. 5) ha evidenziato quanto segue:

1. Per la maggior parte dei casi analizzati (5 su 7), né il regime DMV né il regime DE riescono a garantire una integrità spazio-temporale dell'habitat almeno "buona". Nella maggior parte di essi, nonostante valori abbastanza alti dell'indice ISH, la componente temporale dell'indice risulta molto bassa. Solo per uno dei casi studio analizzati, il Rabiola, l'indice IH ricade in classe "buona". Per il Vela invece l'applicazione del DMV e del DE permettono risultati solo di poco inferiori alla soglia 0.6 fissata per la classe "buona".
2. Il confronto fra i valori degli indici di disponibilità spaziale (ISH) e temporale (ITH) consente di evidenziare quale sia la componente limitante l'integrità dell'habitat nei vari casi studio, specie e stadio vitale. In particolare, l'indice IH risulta limitato dalla disponibilità temporale di habitat quando ITH presenta valori prossimi allo 0, come si riscontra nei tratti di Avisio, Noce Dimaro e Marilleva, Vermigliana e Rabbies. L'indice IH è invece limitato dalla disponibilità spaziale di habitat, quando ITH ricade in classe elevata (Vela e Rabiola). La variabilità dell'ITH con le portate minime di rilascio manifesta una discontinuità più o meno marcata a causa della presenza di una soglia nella formula di calcolo, pari all'habitat disponibile in condizioni di magra (Q_{97}).
3. Le maggiori criticità si riscontrano durante i periodi di magra naturali, tipicamente il periodo invernale. L'analisi degli output intermedi dell'applicazione del metodo consente di comprenderne le cause. Laddove il fattore limitante è la componente temporale dell'indice (ITH) le portate che corrispondono ai regimi DMV e DE risultano

spesso inferiori alla portata Q_{97} della relativa serie idrologica assunta come riferimento. Spesso, ma non invariabilmente, tali valori di portata si ritrovano nella parte della curva ad andamento monotono crescente, e sono inferiori all'intervallo delle portate cui corrisponde il massimo dell'habitat disponibile. In questi casi alla Q_{97} sono mediamente associati valori di idoneità di habitat più alti rispetto alle portate di DMV e DE. Questo fa sì che, in periodi di magra naturale, durante i quali la portata in alveo si riduce al DMV o DE a causa della derivazione, si prolunghino i periodi di stress per l'habitat, diventando anche molto più lunghi rispetto alle condizioni di riferimento. Questo effetto si verifica frequentemente, ma non invariabilmente, sottolineando l'importanza di esaminare la sito-specificità di ciascun caso in termini di regime idrologico e curva habitat - portata.

4. Non si osservano differenze significative fra l'imposizione dei regimi DMV e DE in termini di variazione di habitat. L'applicazione del regime DE corrisponde in media a portate più alte rispetto alle portate del regime DMV. Questo determina valori di ISH più alti, e valori sostanzialmente identici per l'indice temporale ITH tra i due regimi.

Uno dei principali punti di forza della metodologia MesoHABSIM, e in generale dei metodi idraulico - habitat, è la possibilità di svolgere un'analisi dettagliata dei motivi alla base di criticità osservate nella risposta degli indici di habitat a differenti scenari di alterazione idromorfologica. Grazie a queste analisi, è possibile formulare ipotesi mirate per delineare scenari di rilascio migliorativi. Sono stati ideati e analizzati nel progetto le seguenti due serie di scenari (cap. 6):

- una prima serie con aumento del DMV ottenuto tramite l'applicazione di un coefficiente moltiplicativo costante e uguale per tutte le stagionalità considerate
- una seconda serie che prevede, oltre alla modulazione del DMV, un blocco di derivazione nei mesi che vanno da novembre a marzo, identificati come i più critici per la durata di eventi di stress.

Dato che l'aumento del DMV rilasciato si traduce inevitabilmente in una riduzione dei volumi prelevabili, è stata contemplato nell'analisi degli scenari migliorativi un aumento della portata massima di concessione Q_c , per simulare l'effetto di una possibile compensazione della perdita per le attività produttive collegate alla derivazione.

L'analisi di questi scenari alternativi (cap. 6) ha evidenziato quanto segue:

1. Un aumento del DMV secondo fattori moltiplicativi compresi fra 1.5 e 4 a seconda dei casi studio permette in generale di aumentare il valore degli indici ISH, raggiungendo la classe "buona" pur con qualche eccezione per specie o stadio vitale cui possono corrispondere valori di ISH al di sotto della soglia 0.6.
2. In molti casi, a causa dell'effetto soglia che contraddistingue l'indice ITH, l'aumento del DMV consente di ottenere valori di ITH "buoni" o "elevati" quando i valori minimi del DMV sono superiori al valore di portata corrispondente al 97-esimo percentile della serie delle portate (Q_{97}). Tale comportamento non si verifica in tutti i casi, poiché dipende, in ultima analisi, dalla forma della curva habitat - portata, e dalla posizione relativa dei valori delle portate minime di rilascio, della Q_{97} , e dei valori di portata associati agli eventuali massimi presenti nella curva. La condizione è pertanto da ritenersi non sufficiente e soprattutto non generalizzabile, richiedendo un'attenta analisi caso per caso.

3. L'implementazione di un blocco di derivazione invernale consente di ottenere integrità dell'habitat almeno buona (IH superiore a 0.6) contenendo l'incremento del DMV rispetto agli scenari che non prevedono un blocco temporaneo della derivazione. Mantenendo invece l'aumento del DMV come emerge dal punto (1) è possibile spesso ottenere un'integrità di habitat "elevata", obiettivo che può essere necessario soddisfare per la tutela di tratti fluviali di particolare pregio ambientale e interesse naturalistico.

7.2 Prospettive future

Lo svolgimento del progetto MesoPAT e i risultati ottenuti suggeriscono una serie di prospettive e direzioni future da sviluppare in relazione all'applicazione delle metodologie idraulico-habitat, in particolare, anche se non esclusivamente, nell'ambito delle sperimentazioni relative ai Deflussi Ecologici.

Le analisi svolte suggeriscono i seguenti sviluppi specifici.

- Sono stati analizzati gli effetti dell'applicazione di regimi di DMV (o DE) su ipotetiche derivazioni ad acqua fluente con restituzione. Futuri sviluppi potrebbero considerare scenari alternativi sulla base di altre tipologie di prelievo, come ad esempio le derivazioni con serbatoio o i prelievi irrigui. A differenza dei prelievi a scopo idroelettrico, i prelievi per finalità irrigue sono tipicamente concentrati in particolari stagioni e spesso di minore entità.
- Molti dei parametri necessari al calcolo delle portate dei DE da Direttiva, e delle analisi di habitat, vengono stimati sulla base dei dati idrologici disponibili, cui è associata un'intrinseca incertezza. In particolare, la stima della portata Q_{97} influenza sia il DE che il calcolo dell'indice ITH. Occorrerebbe quindi tenere conto di come le incertezze derivanti dalla modellazione idrologica piuttosto che dalle misure idrometriche, e dalla stima della curva di durata delle portate derivanti da una lunghezza non ottimale delle serie, possano tradursi in incertezze sulle analisi di habitat.
- Gli scenari analizzati hanno considerato gli effetti dell'alterazione del regime idrologico sulla disponibilità spazio-temporale di habitat in un tratto fluviale. L'applicazione della metodologia MesoHABSIM richiede la determinazione di una curva habitat-portata, che associa la disponibilità di habitat idoneo (in termini di quantità e qualità) al variare della portata, a morfologia fluviale fissata. Nel contesto gestionale, in modo complementare all'applicazione di un Deflusso Ecologico, è possibile prevedere anche delle operazioni di riqualificazione morfologica del tratto fluviale. Il cambiamento morfologico influenzerebbe la forma della curva habitat-portata, e di conseguenza permetterebbe un ulteriore ambito di manovra per ottimizzare la qualità dell'habitat in maniera complementare al Deflusso Ecologico. Sviluppi futuri potrebbero prevedere sperimentazioni su tratti di studio oggetto di riqualificazione morfologica fluviale, per studiarne gli effetti sulla disponibilità di habitat.

Il progetto infine, nel suo complesso e nel quadro più ampio della gestione della risorsa idrica, suggerisce alcune linee di lavoro future più generali.

- a) **Sfruttare le potenzialità quantitative del metodo per sviluppare analisi multicriteri costi-benefici.** Il carattere quantitativo e predittivo del metodo consente di quantificare, accanto agli effetti di ogni scenario della derivazione sull'integrità dell'habitat, anche i corrispondenti volumi idrici prelevabili per ogni scenario. La Tab. 16 mostra un esempio per alcuni degli scenari analizzati. E' possibile esaminare congiuntamente per ogni scenario i valori dell'indice IH per la qualità ambientale e un idoneo indicatore delle ricadute economiche sui comparti produttivi che dipendono dalla derivazione. Attraverso il confronto fra più scenari di gestione, è quindi possibile ricercare scenari ottimali dal punto di vista sia ambientale che economico. Nei casi esaminati nel progetto MesoPAT, ad esempio, è possibile mantenere la classe almeno "buona", senza ridurre i volumi medi prelevabili rispetto agli scenari "standard" (DMV, DE) incrementando, fino a un fattore 2, la portata massima di concessione. Risultano di particolare interesse, in questa direzione, sperimentazioni in altre regioni italiane (Vassoney et al., 2020)

Tabella 16: Confronto di volumi medi annui prelevati a seguito di modulazione della portata massima concessa (Q_c). In tutti gli scenari considerati hanno $IH > 0.6$.

	Scenario		Volume medio annuo derivato (in mil. m ³)	Diff. relativa (in %)
	fattore DMV	fattore Qc		
Avisio	1.5	1	137.6	35
		2	186.1	
Noce (Dimaro)	4	1	172.4	27
		2	219.1	
Vermigliana	2.5	1	29.9	41
		2	42.1	
Rabbies	1.5	1	30.4	26
		2	38.2	
Vela	2.5	1	2.2	44
		2	3.2	
Rabiola	1	1	0.5	53
		2	0.8	

b) **Potenziare il monitoraggio in continuo delle portate.** Per una gestione sostenibile della risorsa idrica, condizione imprescindibile è conoscerne in modo accurato la disponibilità spatio-temporale. L'applicazione dei metodi idraulico-habitat richiede intrinsecamente la disponibilità di serie temporali di portata di lunghezza sufficiente per le analisi statistiche. Tale disponibilità di dati è necessaria anche per il calcolo dei regimi di DE da Direttiva Deflussi Ecologici, nonché per molti altri obiettivi di gestione della risorsa idrica. Le fonti di dati utilizzate per le analisi svolte nel progetto MesoPAT hanno integrato osservazioni dalle reti idrometriche con risultati di modellazione idrologica. A titolo di esempio, in Fig. 40 si riportano i regimi DE calcolati per il torrente Vermigliana, utilizzando serie idrologiche provenienti da fonti differenti (modellazione idrologica e serie di portata misurate tramite stazione idrometrica). Le portate DE risultanti possono mostrare differenze importanti in alcuni momenti dell'anno. I monitoraggi idrometrici istituzionali sono storicamente focalizzati sui regimi di morbida e di piena; il progetto realizzato richiama la necessità di potenziare la diffusione spaziale dei monitoraggi delle portate, con un'attenzione a ridurre le incertezze in tutti i regimi, in particolare quelli di magra, che si rivelano fra i più sensibili nelle analisi di integrità dell'habitat. Questa prospettiva richiede chiaramente adeguati e strutturali investimenti di risorse, sia pubbliche che private, una condivisione dei dati provenienti da più fonti, che hanno un potenziale effetto moltiplicatore elevato, e spesso sottovalutato, nel medio e nel lungo termine, per una gestione sostenibile a 360° della risorsa idrica in grado di coniugare molteplici esigenze, ambientali e socio-economiche.

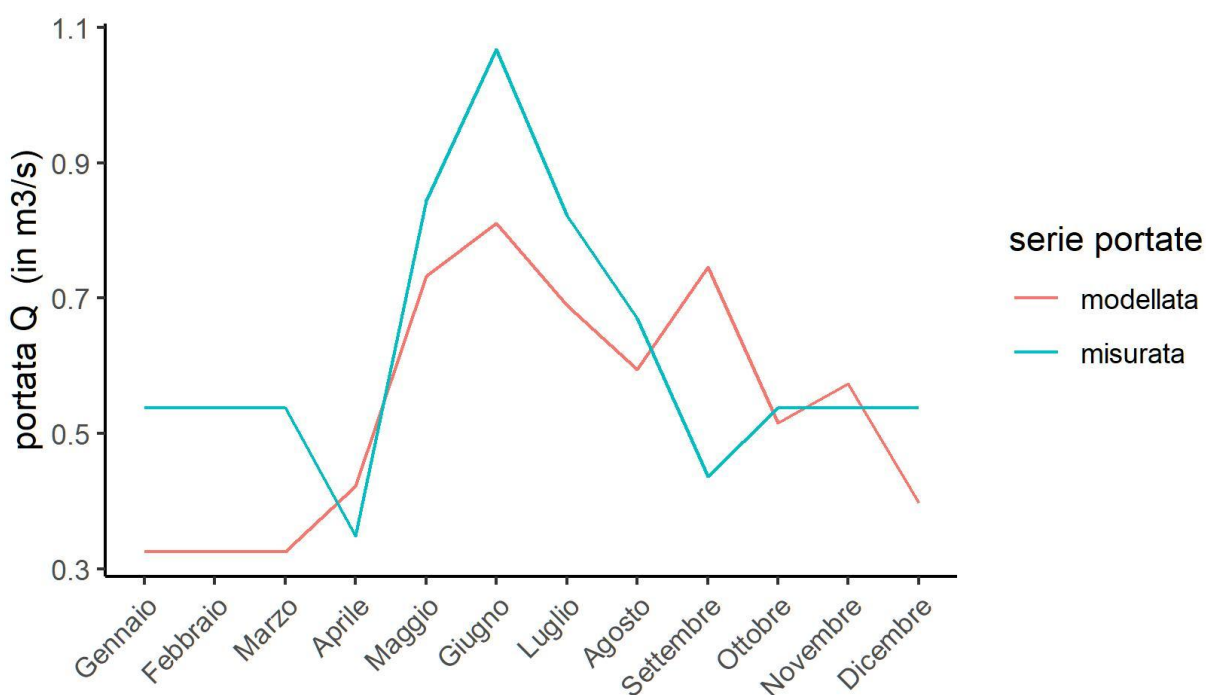


Figura 40: Confronto portate mensili DE per il caso studio Vermigliana calcolate sulla base di serie idrologiche provenienti da fonti differenti: modello idrologico (rosso); idrometro a Vermiglio (azzurro).

c) **Inquadrare le analisi dell'integrità dell'habitat nel quadro più ampio delle dinamiche morfologiche fluviali.** La disponibilità di habitat, in quanto espressione delle caratteristiche idro-morfologiche del corso d'acqua, rappresenta soltanto una componente della qualità ecologica dello stesso. Risulta quindi opportuno considerare gli effetti di una potenziale alterazione anche in luce di altri aspetti di qualità fisico-chimica, biologica, ecologica e morfodinamica. In particolare, all'interno dei vari scenari analizzati, è stato possibile osservare che, nonostante sia possibile ottimizzare DMV e prelievi garantendo una classe di integrità di habitat almeno "buona" questo possa essere associato a una riduzione degli eventi di piena, e quindi a una riduzione del potenziale geomorfico del regime idrologico. Tali eventi sono infatti correlati con processi fluviali, su una scala temporale medio-lunga, e concorrono a definire la struttura fisica degli habitat stessi e il loro "turnover" nel tempo. In Fig. 41 si riportano a titolo di esempio due scenari di derivazione per il torrente Vermigliana, con modulazione DMV pari a 2, e portata massima concessa raddoppiata. Per entrambe le derivazioni la qualità dell'habitat è stata classificata come "elevata", anche se una di queste comporta una sensibile riduzione dei regimi di morbida (portate superiori a 4 m³/s).

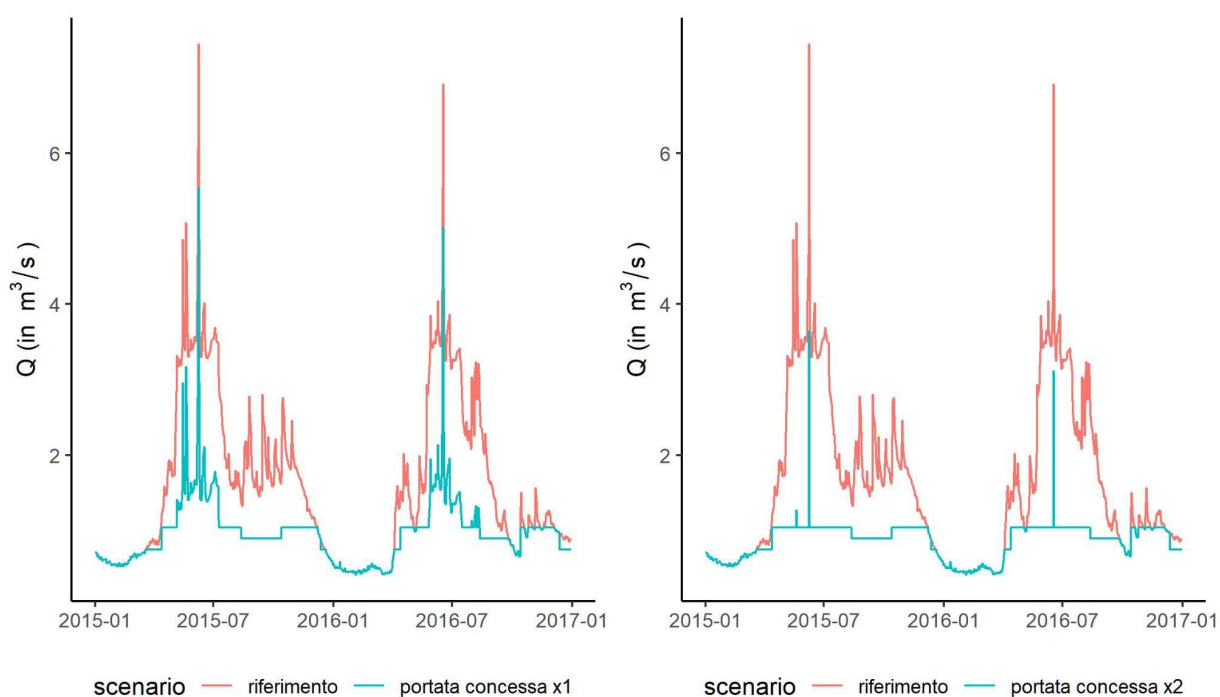


Figura 41: Confronto scenari di derivazione per il torrente Vermigliana, con modulazione del DMV usando un fattore 2, classificati in classe di qualità "elevata". A sinistra, portata di concessione ottimale. A destra, scenario con raddoppiamento della portata di concessione.

8 Bibliografia

Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (2017). “Direttiva deflussi ecologici. Approccio metodologico per la determinazione dei deflussi ecologici nel territorio distrettuale”. [Distretto Idrografico delle Alpi Orientali](#).

Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (2019). “Linee Guida per le attività di verifica e sperimentazione del deflusso ecologico nel reticolo idrografico distrettuale”. [Distretto Idrografico delle Alpi Orientali](#).

Autorità di Distretto Idrografico del Fiume Po. 2017. Direttiva per la determinazione dei deflussi ecologici a sostegno del mantenimento/raggiungimento degli obiettivi ambientali fissati dal Piano di Gestione del distretto idrografico e successivi riesami e aggiornamenti (Direttiva Deflussi Ecologici). <https://pianoacque.adbpo.it/deflusso-ecologico/>

Belletti, B., Rinaldi, M., Bussetini, M., Comiti, F., Gurnell, A. M., Mao, L., Nardi, L., Vezza, P. (2017). “Characterising physical habitats and fluvial hydromorphology: A new system for the survey and classification of river geomorphic units”. *Geomorphology*, 283, 143–157. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.01.032>

Carolli, M., Zolezzi, G., Pellegrini, S., Vezza, P. 2017. Applicazione sperimentale dell’Indice di Integrità dell’Habitat fluviale nella Provincia di Trento. Relazione Tecnica. Università degli Studi di Trento, 101p.

Direttiva Quadro Acque (2000/60). “Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy”. *Official Journal of the European Parliament*. <https://doi.org/10.1039/ap9842100196>

Evangelisti, G. (1982). “Impianti idroelettrici Vol. 1. Opere di Derivazione”. Pàtron Editore, Bologna.

Milhou R., Fish U. and Service W. (1990). “Reference manual for generation and analysis of habitat time series: Version ii”. Technical report.

Parasiewicz, P. (2007). “The MesoHABSIM model revisited”. *River Research and Applications*, 23(8), 893–903. <https://doi.org/10.1002/rra.1045>

Parasiewicz, P., Ryan, K., Vezza, P., Comoglio, C., Ballestero, T., & Rogers, J. N. (2013a). “Use of quantitative habitat models for establishing performance metrics in river restoration planning”. *Ecohydrology*, 6(4), 668–678. <https://doi.org/10.1002/eco.1350>

Parasiewicz, P., Rogers, J. N., Vezza, P., Gortázar, J., Seager, T., Pegg, M., Wiśniewolski, W., Comoglio, C. (2013b). “Applications of the MesoHABSIM Simulation Model”. In *Ecohydraulics* (pp. 109–124). <https://doi.org/10.1002/9781118526576.ch6>

PAT (2001). “Carta ittica del Trentino”. Servizio Faunistico, Trento.

PAT (2006). *“Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche. PARTE TERZA Utilizzazione delle Acque Pubbliche”*. Provincia Autonoma di Trento.

RAFVG (2015). *“Piano Regionale di Tutela delle Acque”*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

Vassoney, E., Mammoliti Mochet, A., & Comoglio, C. (2020). Multicriteria analysis for the assessment of flow release scenarios from a hydropower plant in the Alpine region. *Water Resources Management*, 34(2), 637-651.

Veza, P., Parasiewicz, P., Spairani, M., & Comoglio, C. (2014). *“Habitat modeling in high-gradient streams: The mesoscale approach and application”*. *Ecological Applications*, 24(4), 844–861. <https://doi.org/10.1890/11-2066.1>

Veza 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, Maggio 2017.

Appendice

A.1 Schede casi studio

A.1.1. Avisio

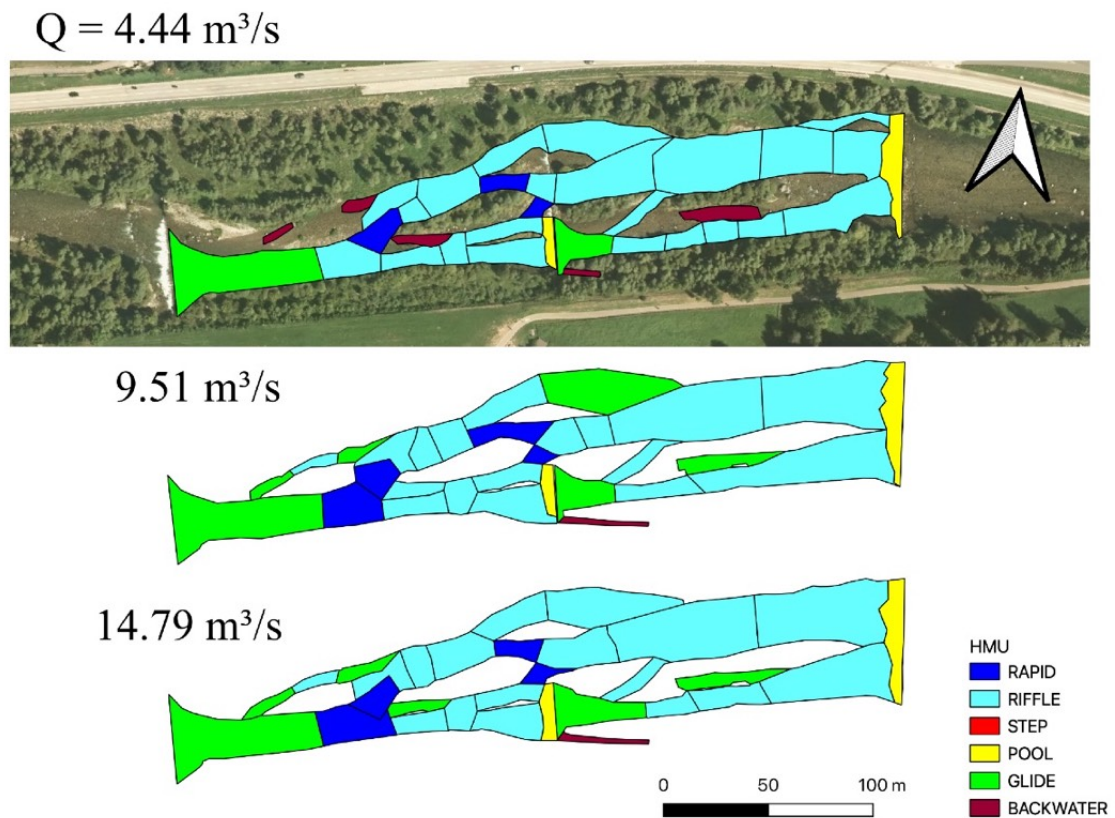


Fig. A.1.1: Tratto fluviale del torrente Avisio in località Cavalese. Mappe di HMU a portate crescenti.

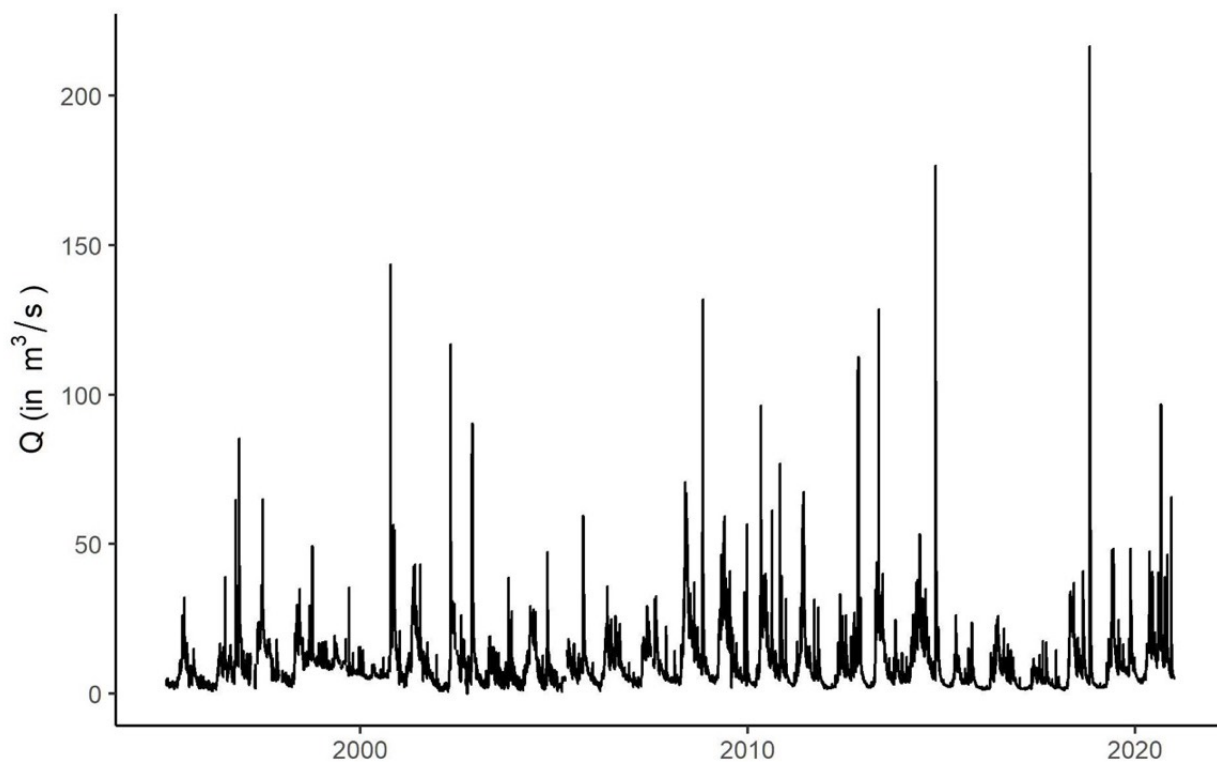


Fig. A.1.2: Serie temporale di riferimento per il torrente Avisio. Idrometro Masi di Cavalese.

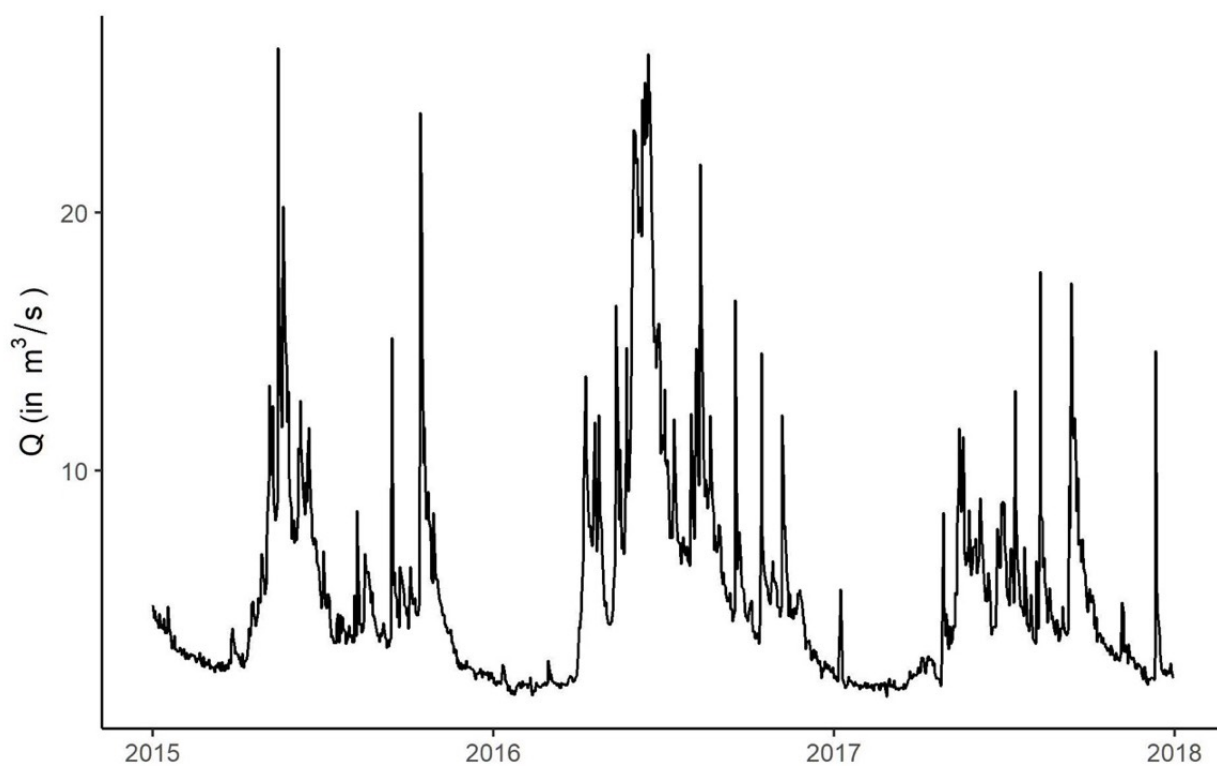


Fig. A.1.3: Estratto dalla serie temporale di riferimento per il torrente Avisio. Idrometro Masi di Cavalese. Anni 2015-2017

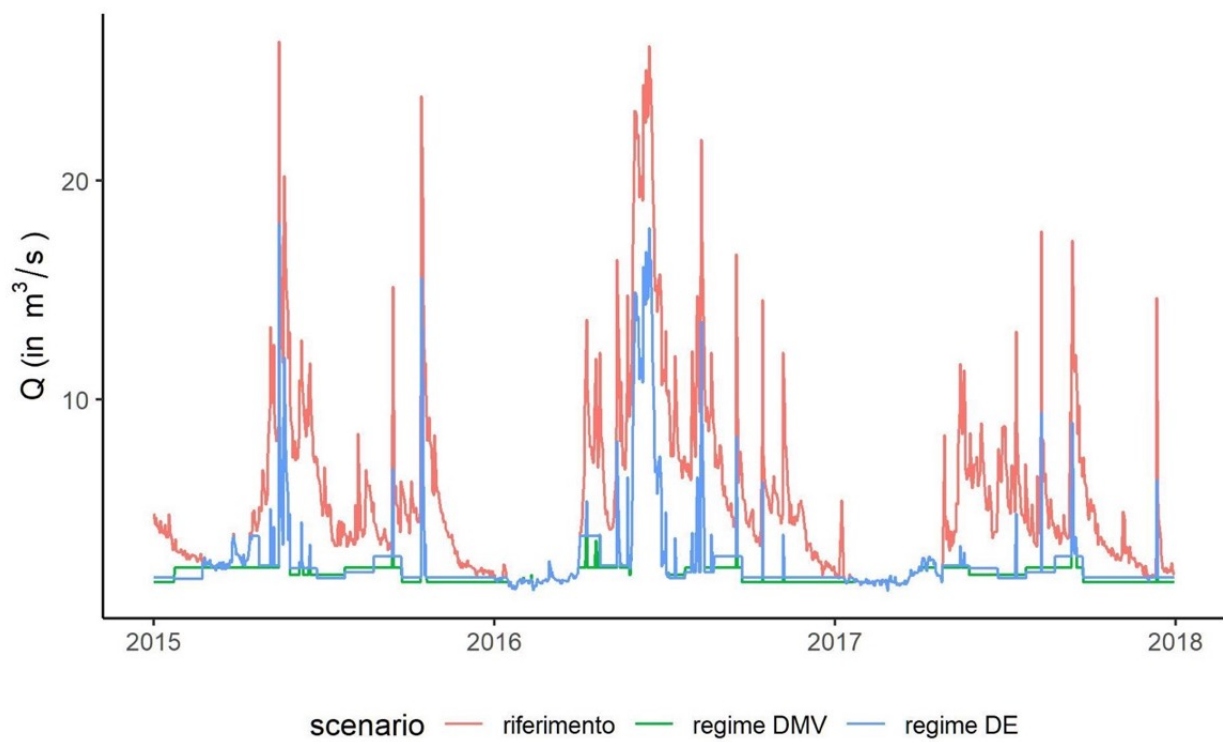


Fig. A.1.4: Confronto degli scenari DMV e DE per il torrente Avisio per gli anni 2015-2017

A.1.2. Noce - Dimaro

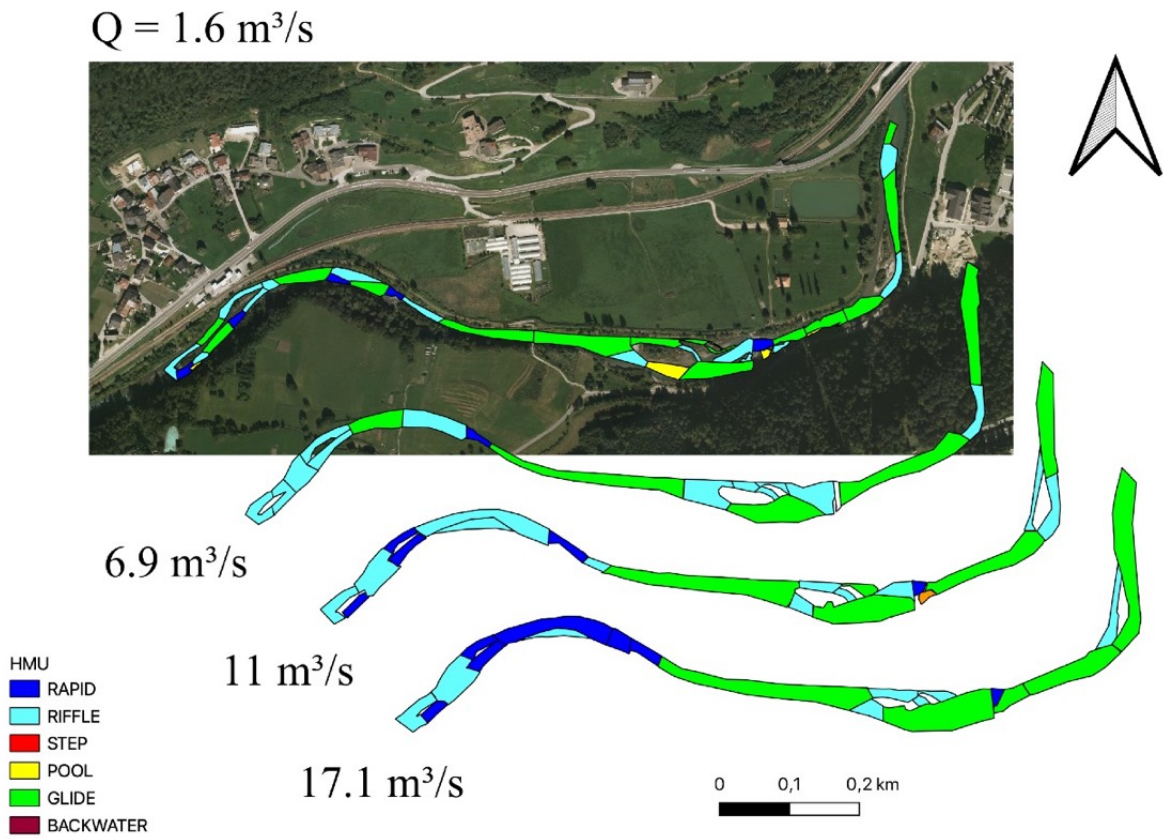


Fig. A.1.5: Tratto fluviale del torrente Noce in località Dimaro. Mappe di HMU a portate crescenti.

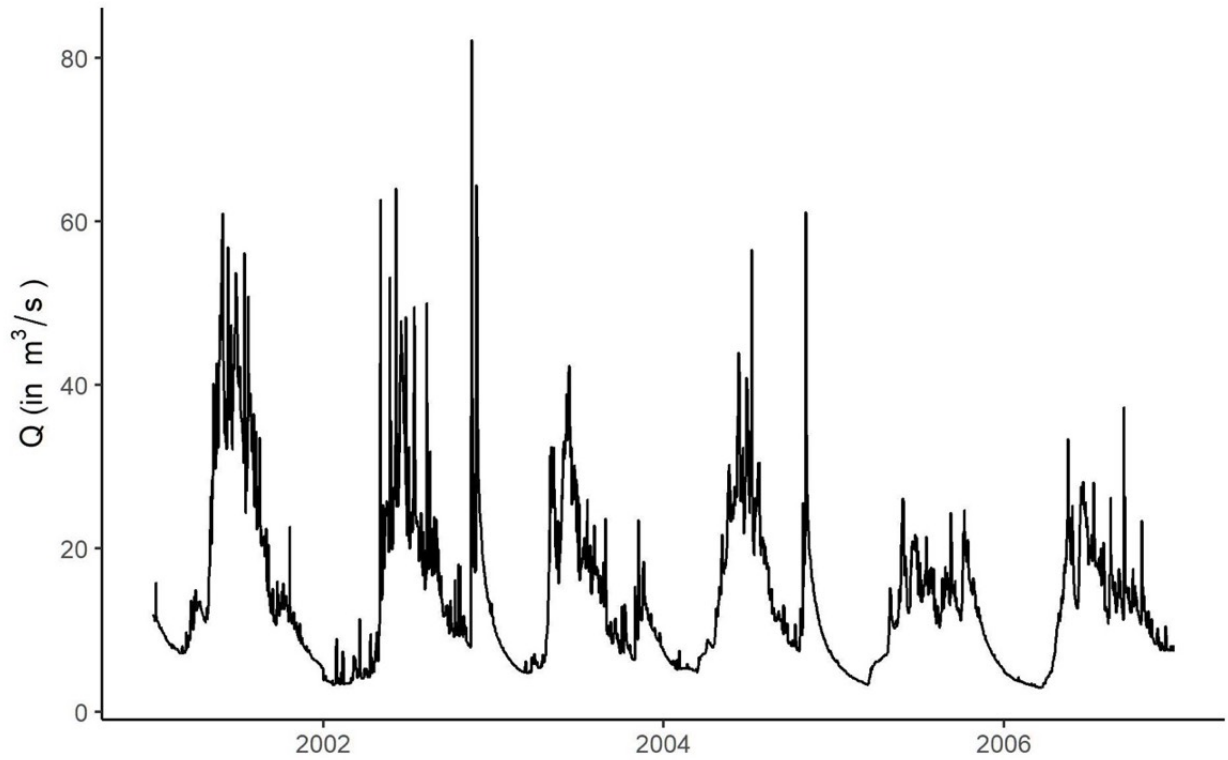


Fig. A.1.6: Serie temporale di riferimento per il Noce presso Dimaro. Simulazione idrologica.

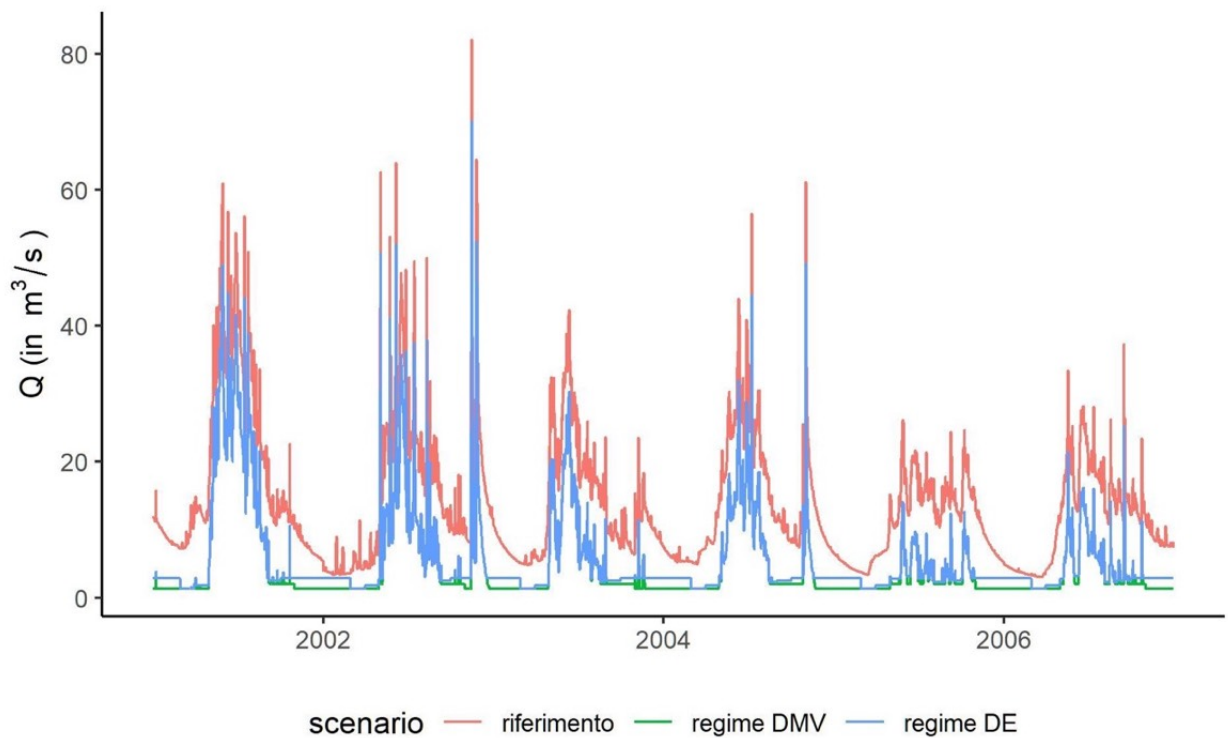


Fig. A.1.7: Confronto degli scenari DMV e DE per Noce Dimaro.

A.1.3. Noce - Marilleva

$Q = 2.2 \text{ m}^3/\text{s}$

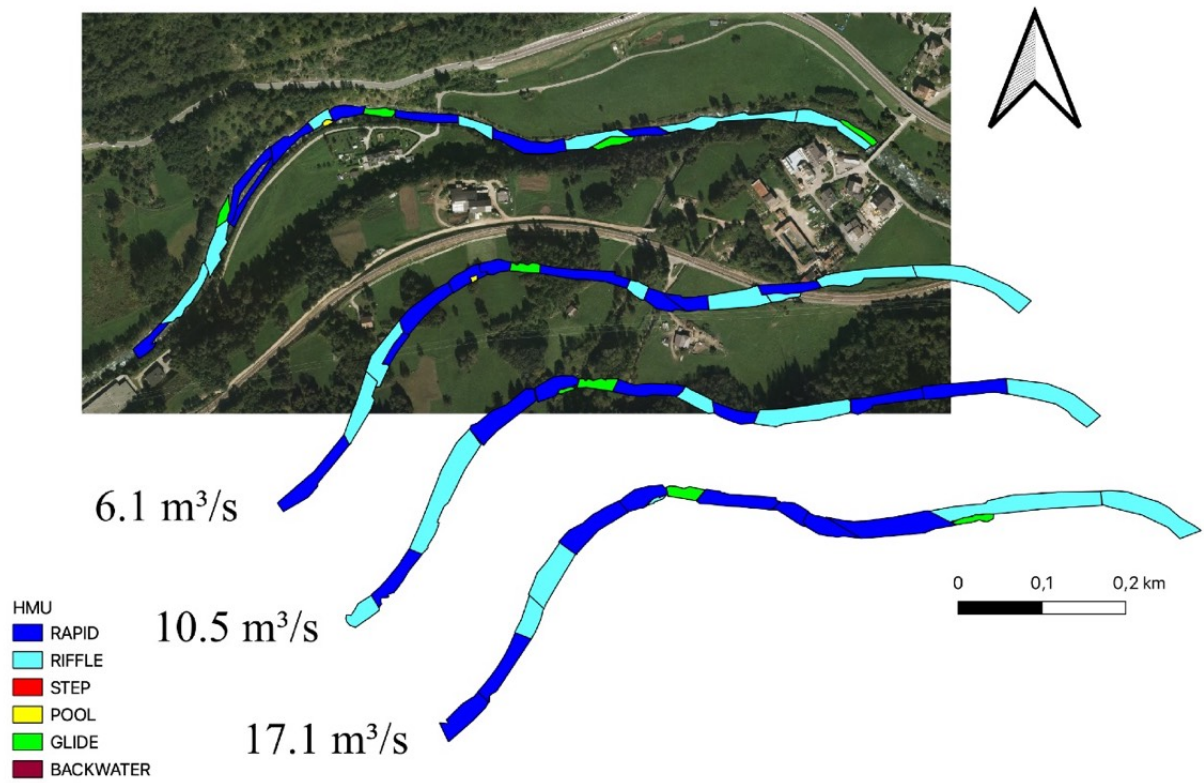


Fig. A.1.8: Tratto fluviale del torrente Noce in località Marilleva. Mappe di HMU a portate crescenti.

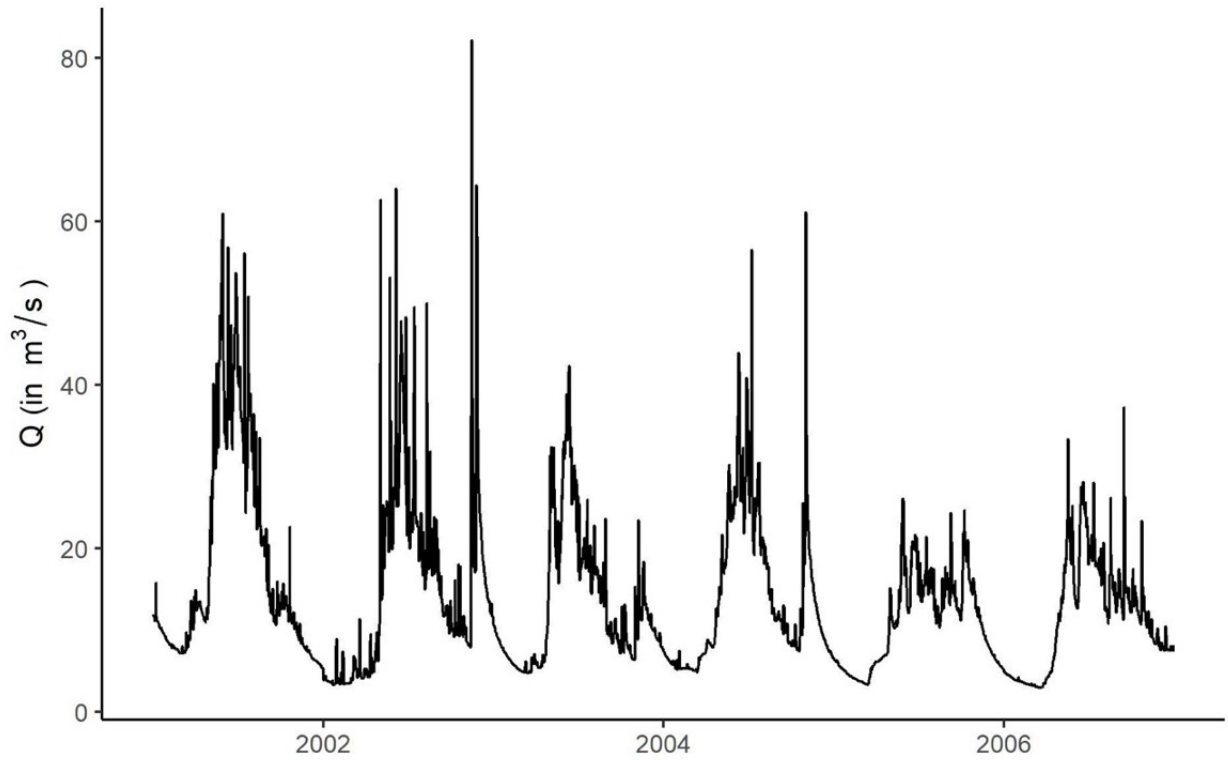


Fig. A.1.9: Serie temporale di riferimento per il Noce Marilleva. Simulazione idrologica.

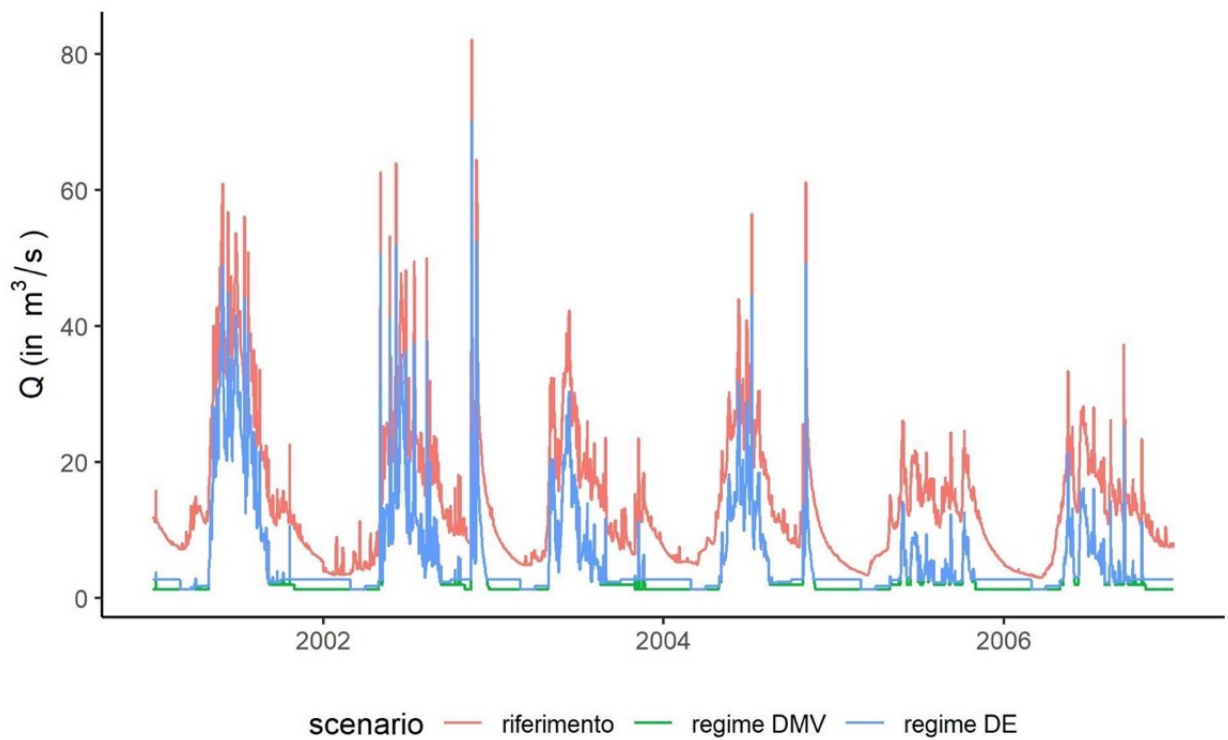


Fig. A.1.10: Confronto degli scenari DMV e DE per Noce Marilleva.

A.1.4. Vermigliana

$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{s}$

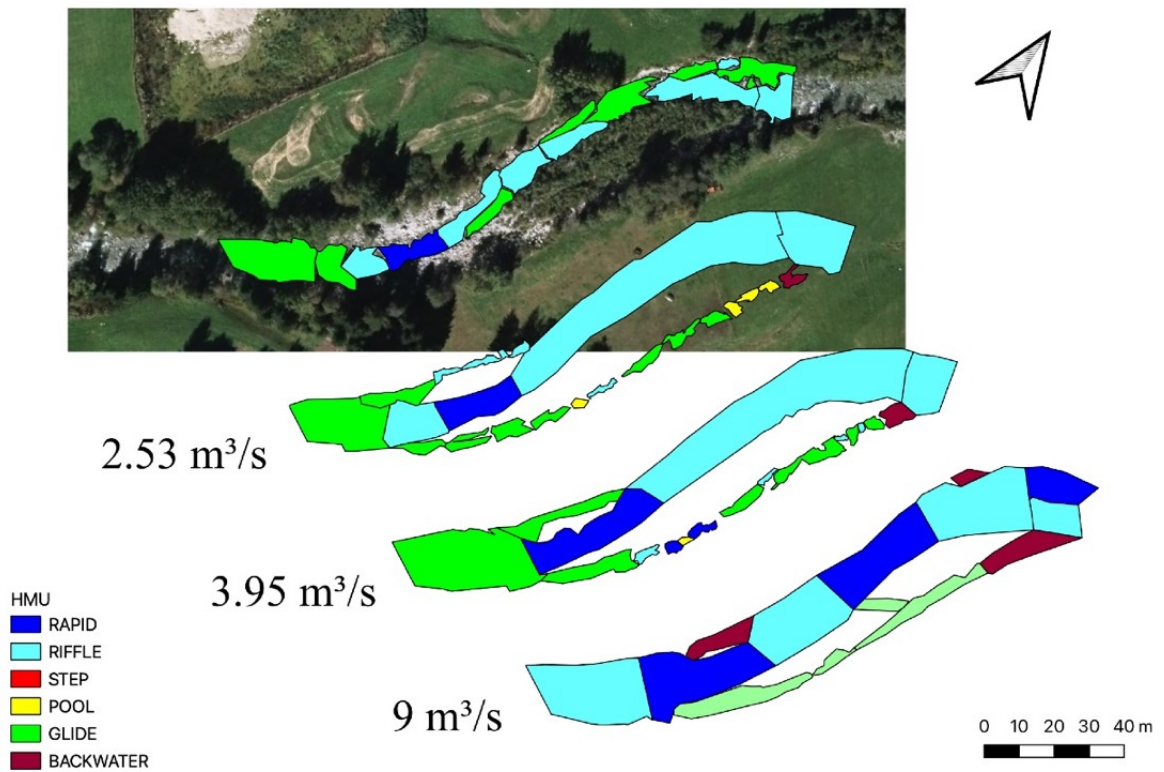


Fig. A.1.11: Tratto fluviale del torrente Vermigliana in località Vermiglio. Mappe di HMU a portate crescenti.

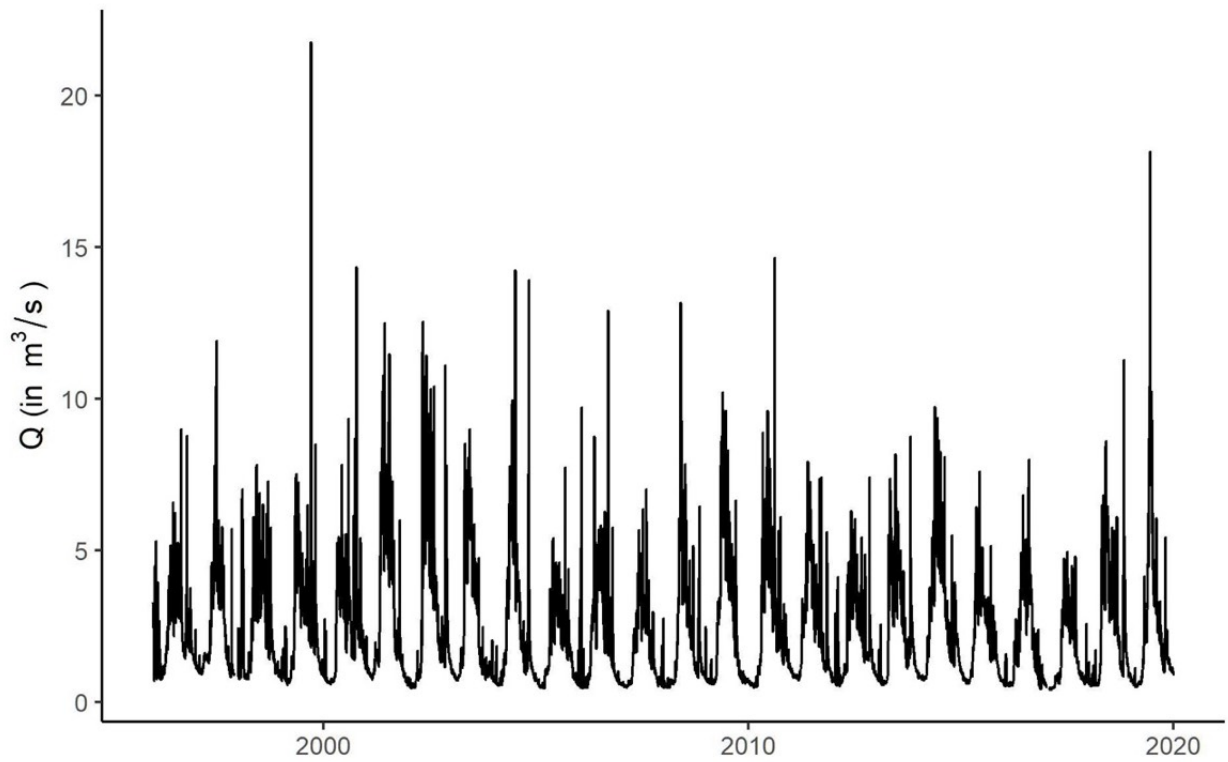


Fig. A.1.12: Serie temporale di riferimento per la Vermigliana. Idrometro Vermiglio.

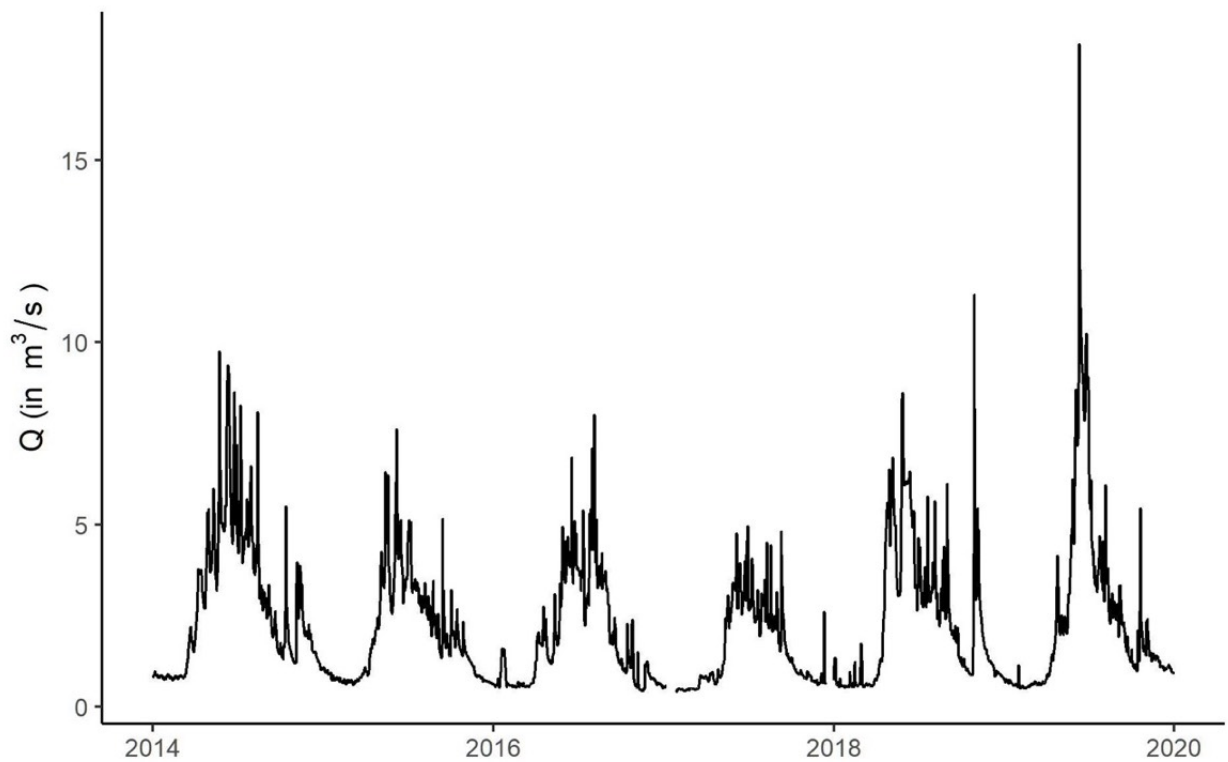


Fig. A.1.13: Estratto dalla serie temporale di riferimento per la Vermigliana. Idrometro Vermiglio. Anni 2014-2019

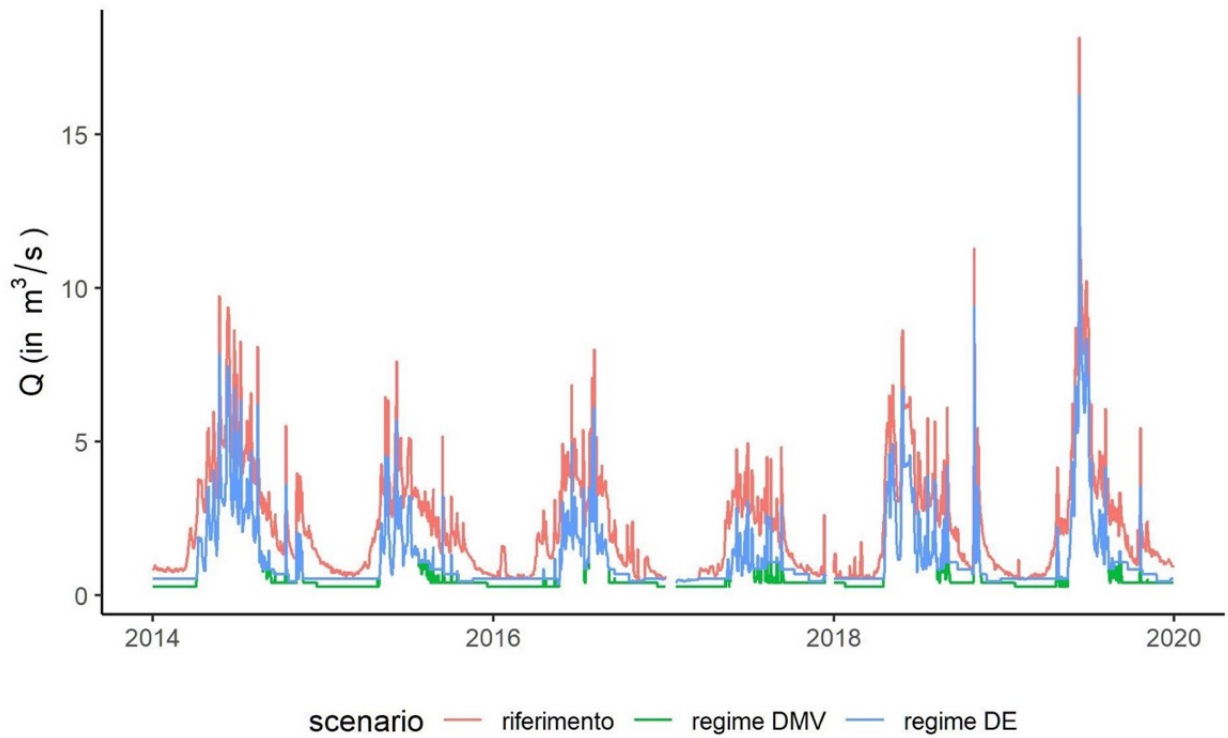


Fig. A.1.14: Confronto degli scenari DMV e DE per la Vermigliana per gli anni 2014-2019

A.1.5. Rabbies

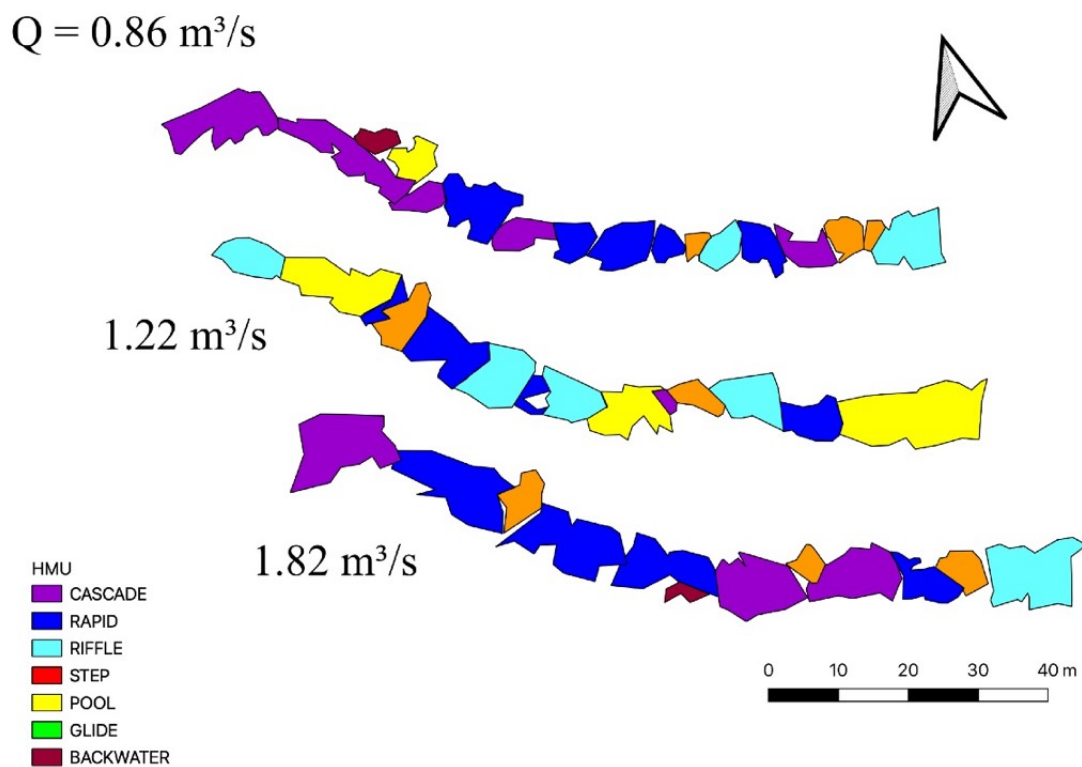


Fig. A.1.15: Tratto fluviale del torrente Rabbies in località San Bernardo di Rabbi. Mappe di HMU a portate crescenti.

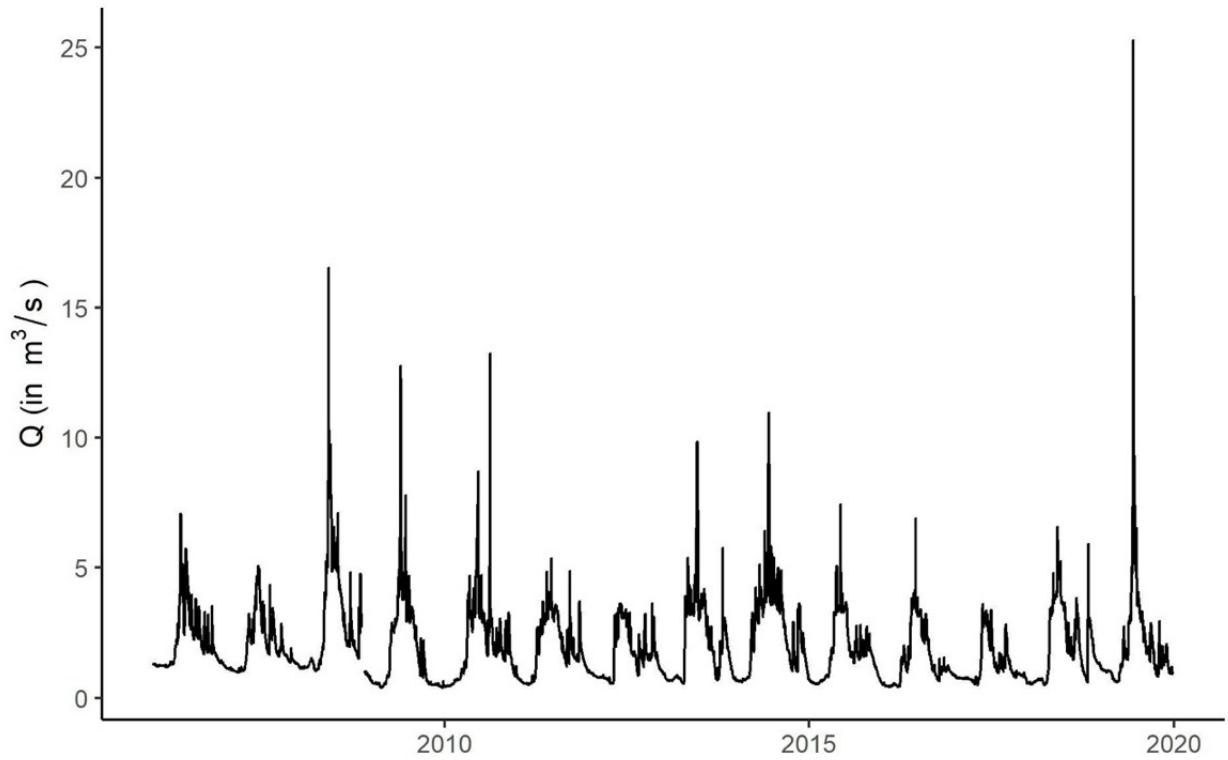


Fig. A.1.16: Serie temporale di riferimento per il torrente Rabbies. Idrometro San Bernardo di Rabbi.

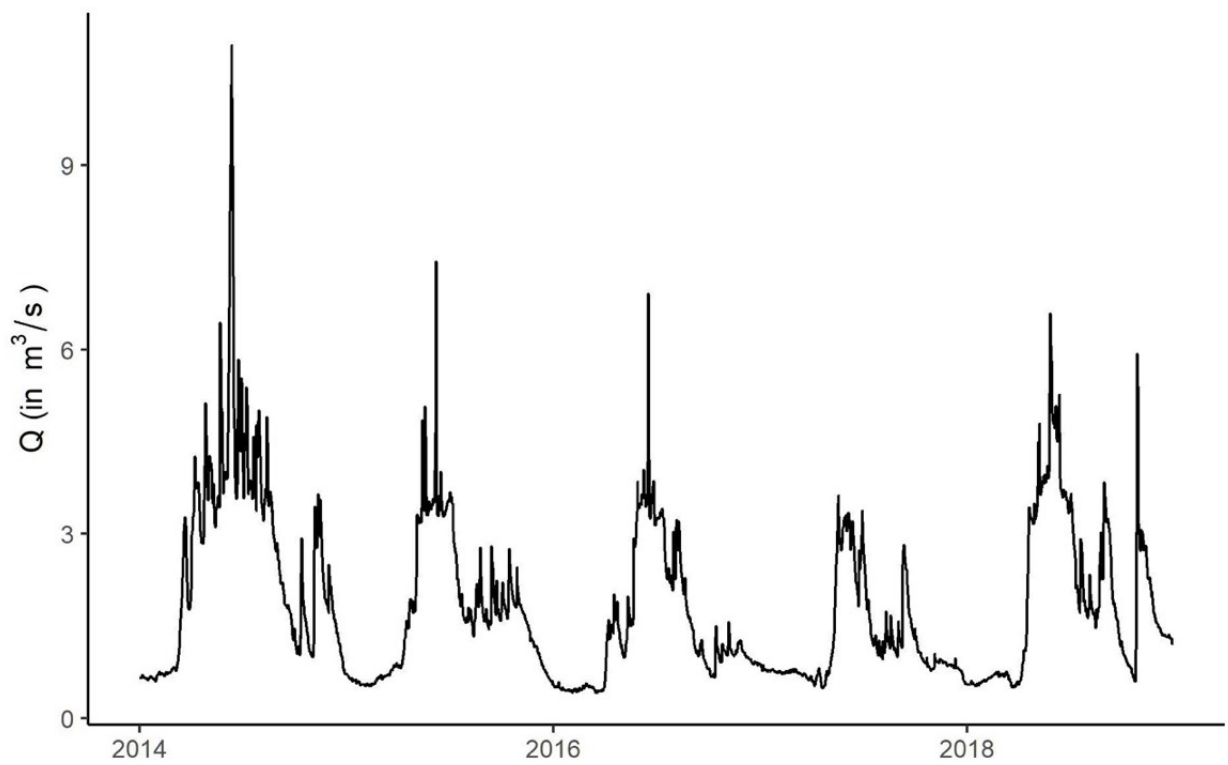


Fig. A.1.17: Estratto dalla serie temporale di riferimento per il torrente Rabbies. Idrometro San Bernardo di Rabbi. Anni 2014-2018

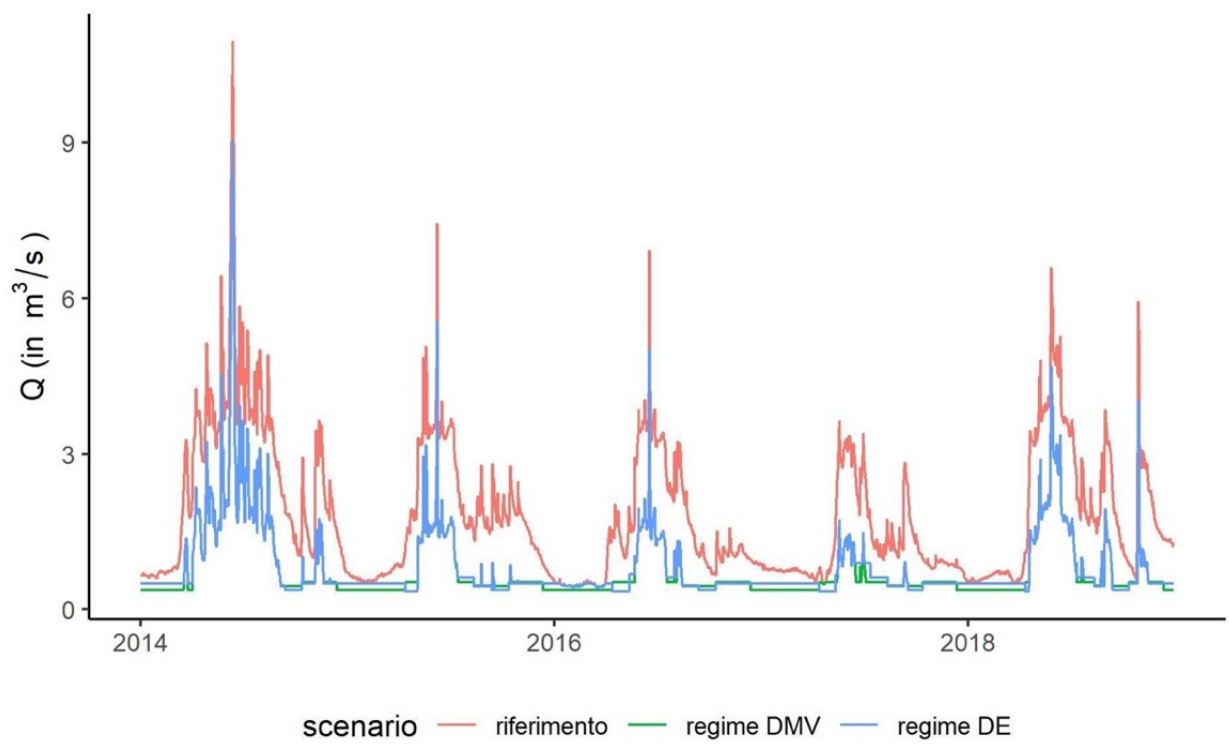


Fig. A.1.18: Confronto degli scenari DMV e DE per il torrente Rabbies per gli anni 2014-2018

A.1.6. Vela

$Q = 0.105 \text{ m}^3/\text{s}$

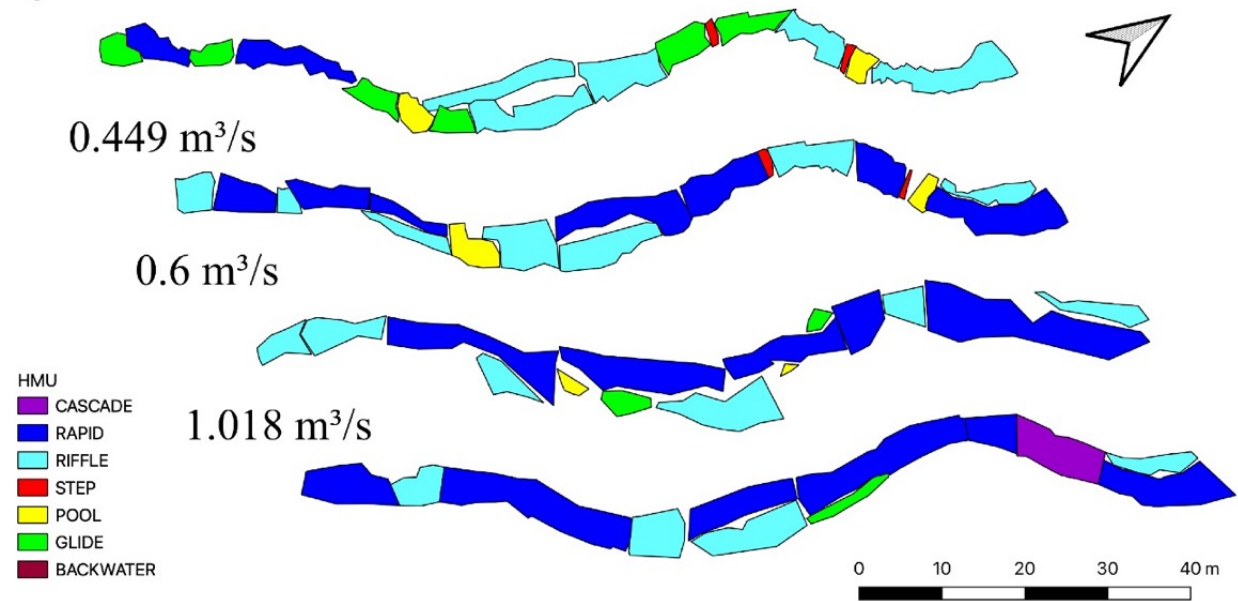


Fig. A.1.19: Tratto fluviale del rio Vela in località Cadine. Mappe di HMU a portate crescenti.

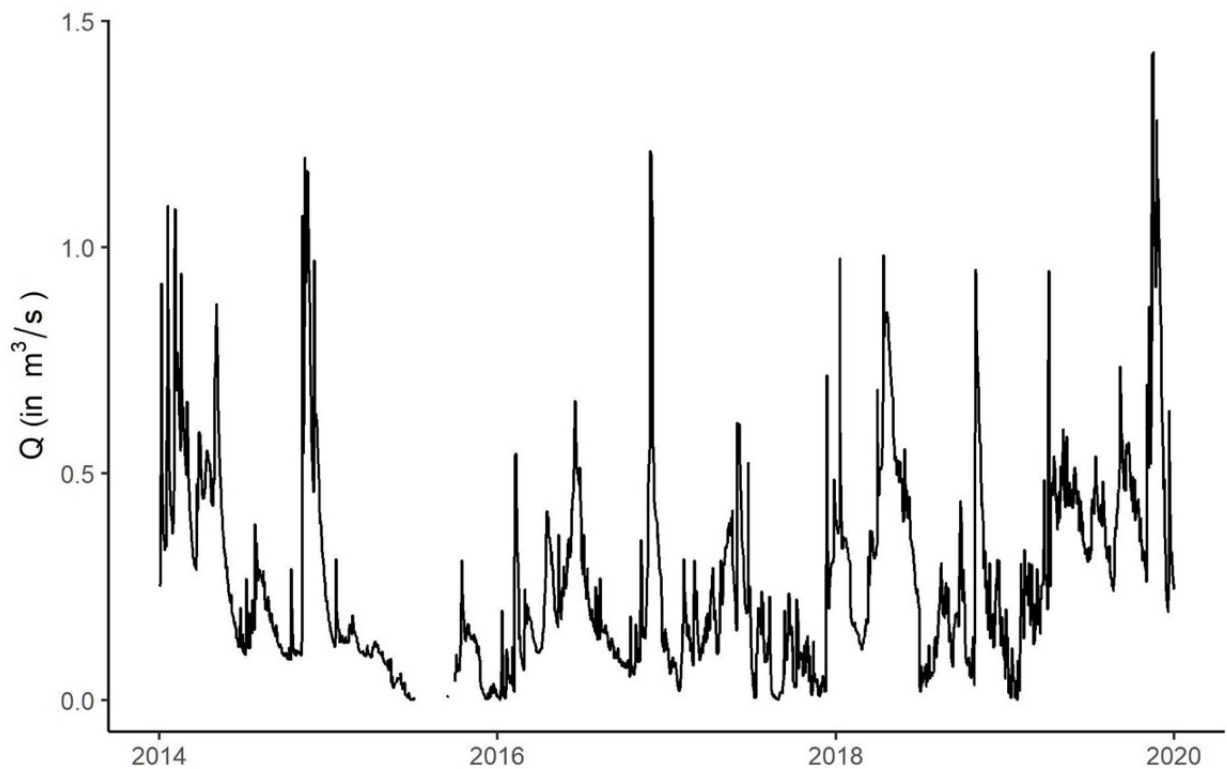


Fig. A.1.20: Serie temporale di riferimento per il Rio Vela. Idrometro.

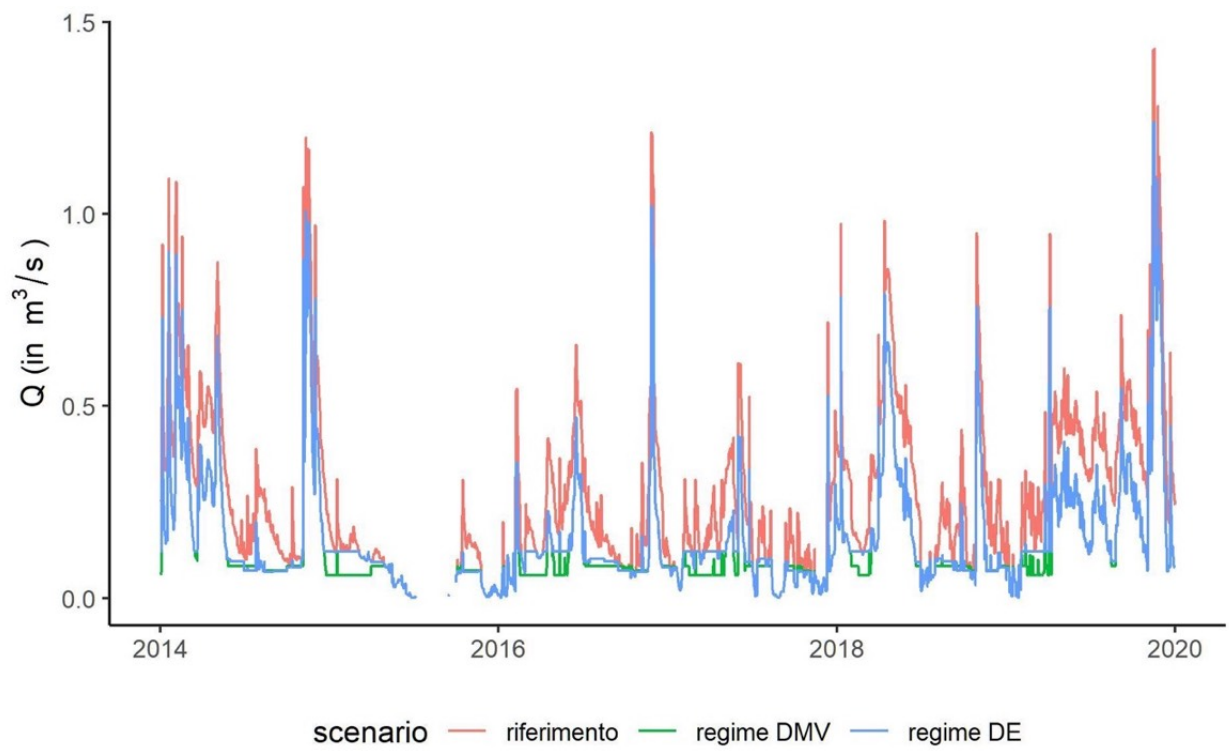


Fig. A.1.21: Confronto degli scenari DMV e DE per il Rio Vela.

A.1.7. Rabiola

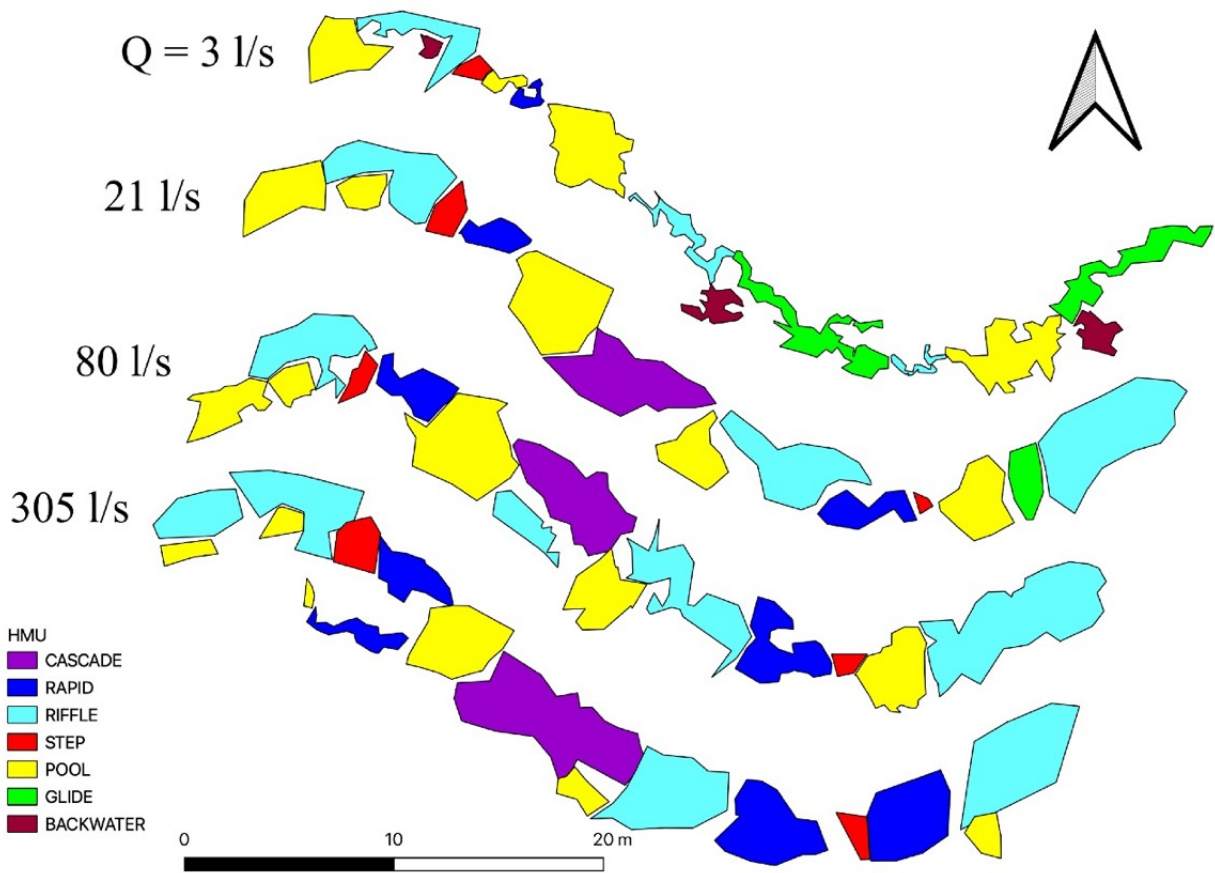


Fig. A.1.22: Tratto fluviale del rio Rabiola in località Castelfondo. Mappe di HMU a portate crescenti.

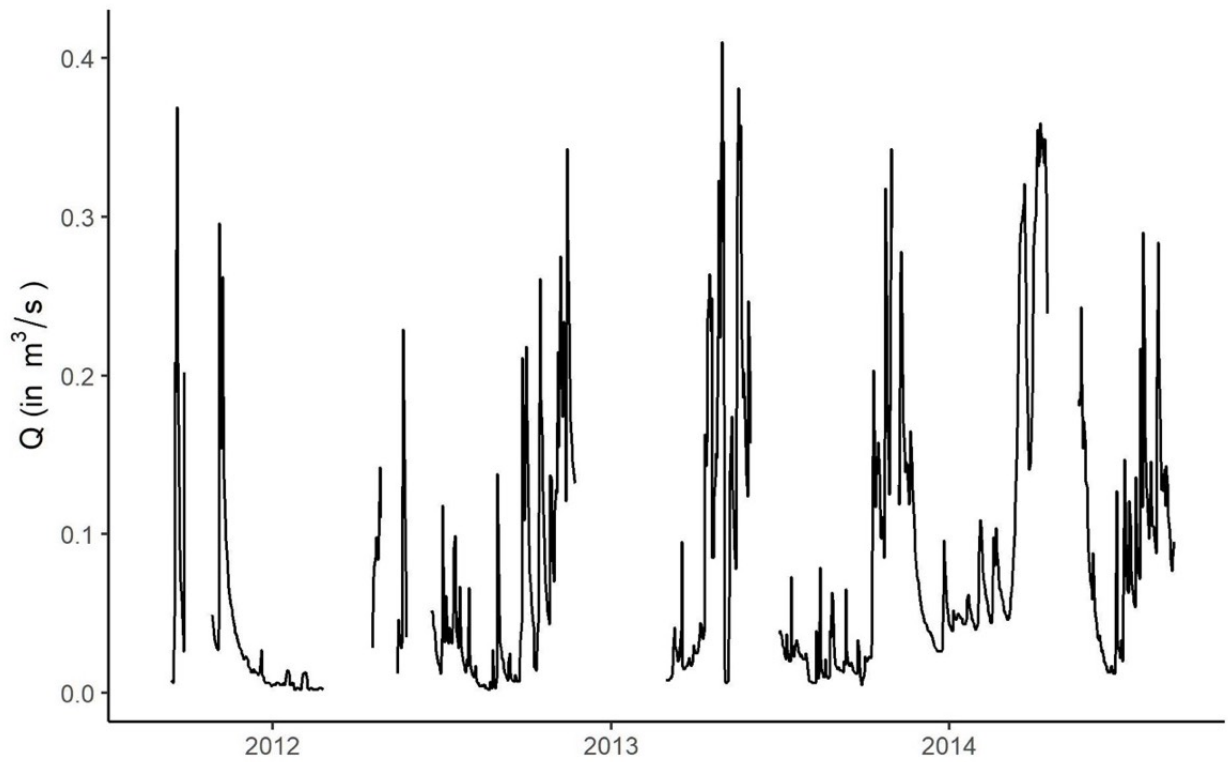


Fig. A.1.23: Serie temporale di riferimento per il Rio Rabiola. Idrometro.

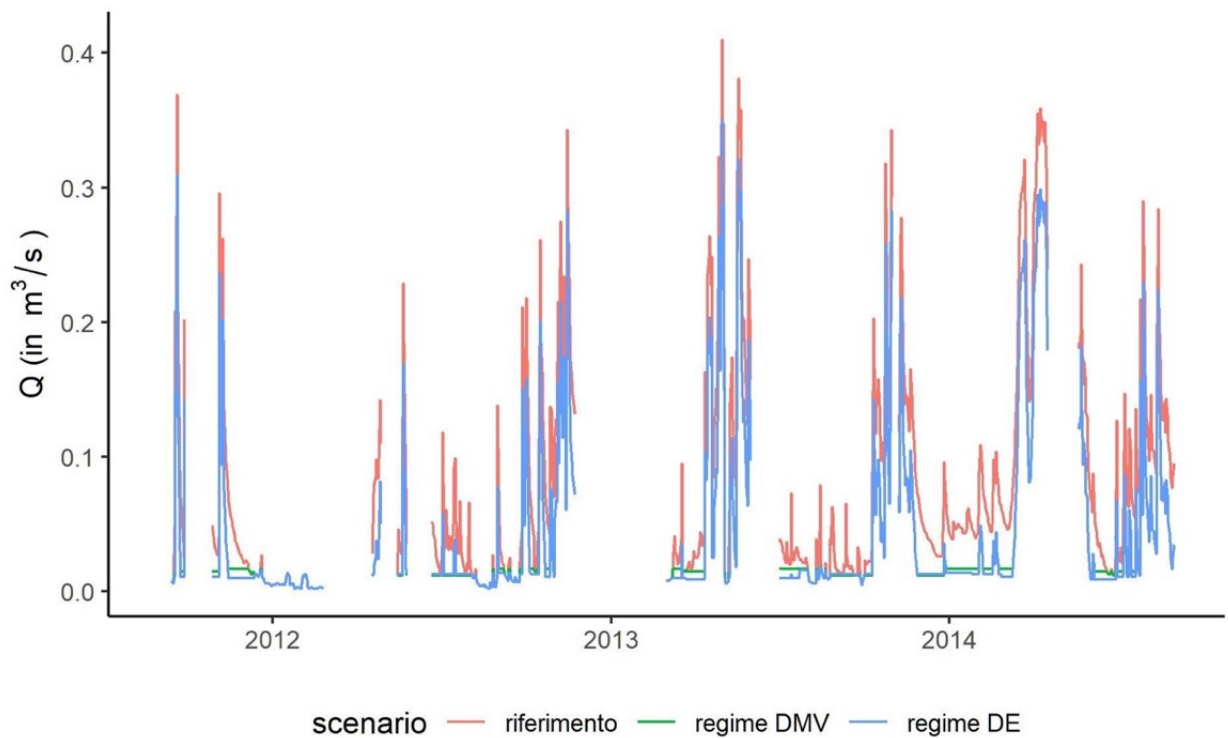
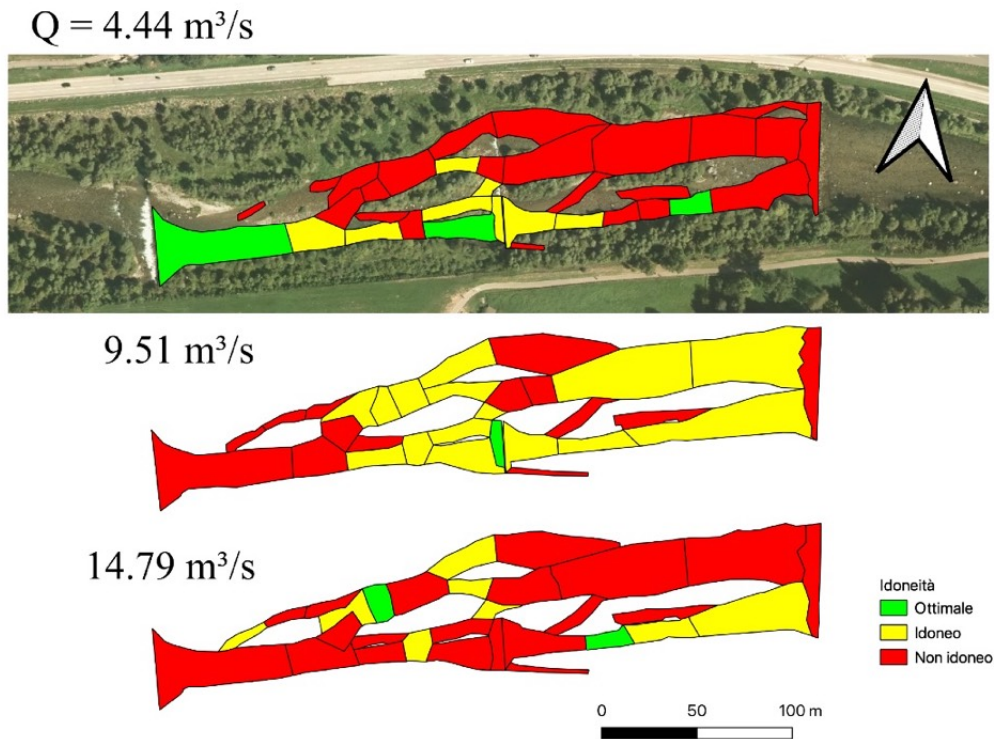


Fig. A.1.24: Confronto degli scenari DMV e DE per il Rio Rabiola.

A.2. Mappe di idoneità e curve habitat - portata

A.2.1. Avisio



A.2.1: Mappe di idoneità per trota marmorata adulta, Avisio.

Fig.

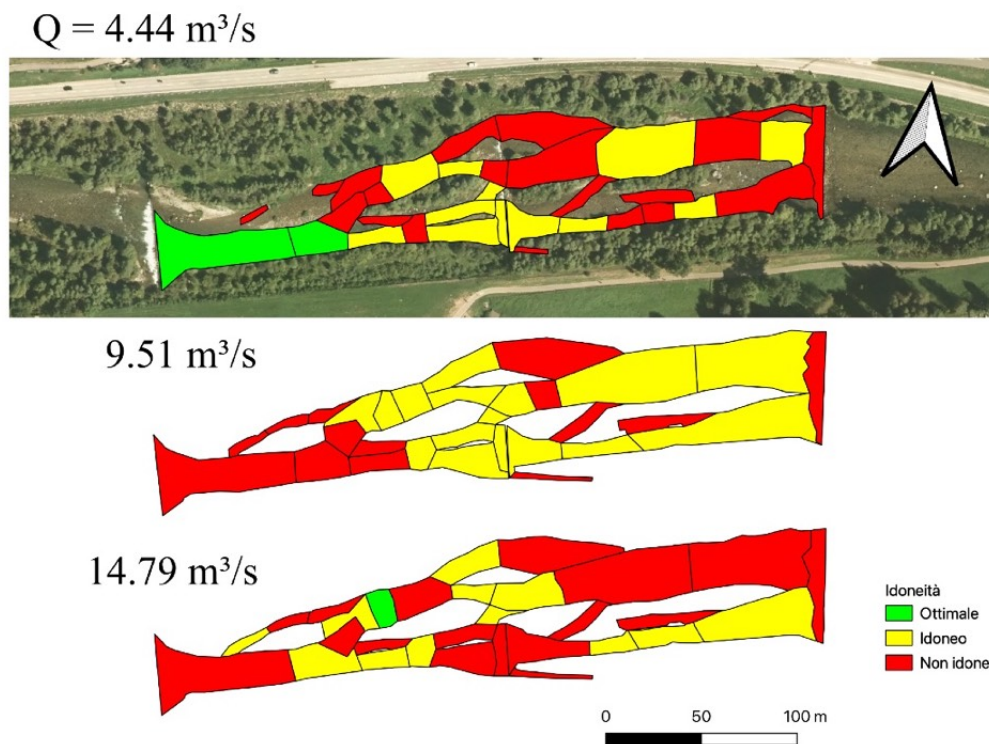


Fig. A.2.2: Mappe di idoneità per trota fario adulta, Avisio.

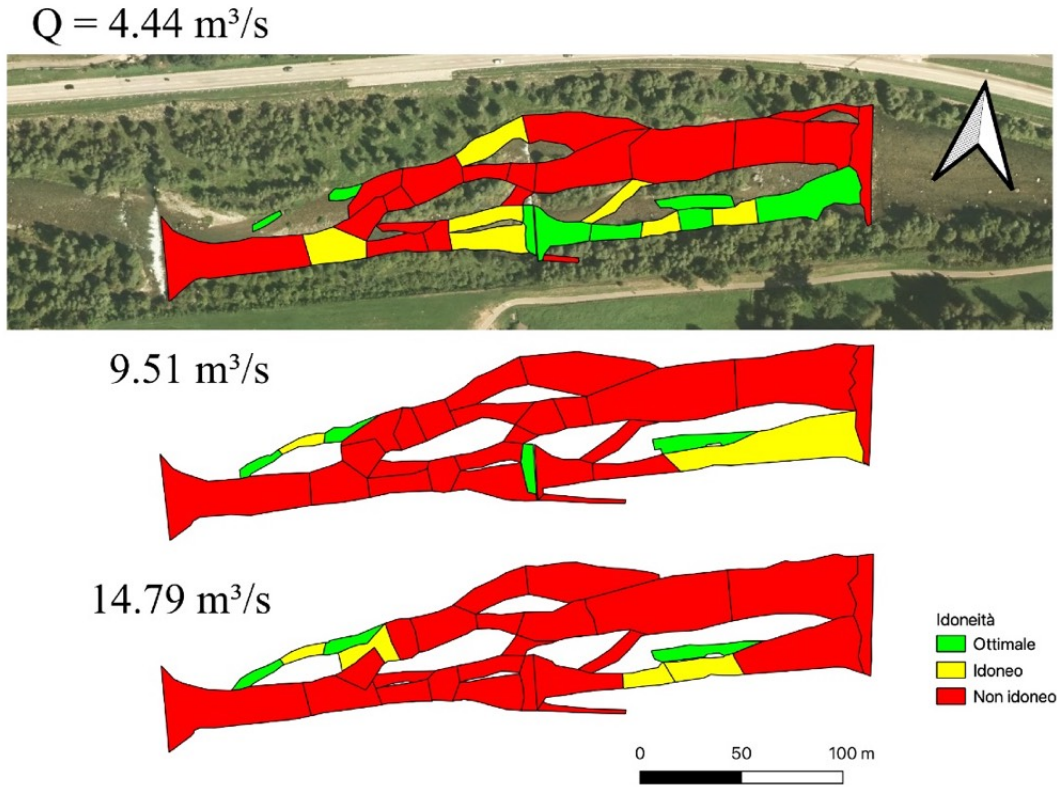


Fig. A.2.3: Mappe di idoneità per trota giovane, Avisio.

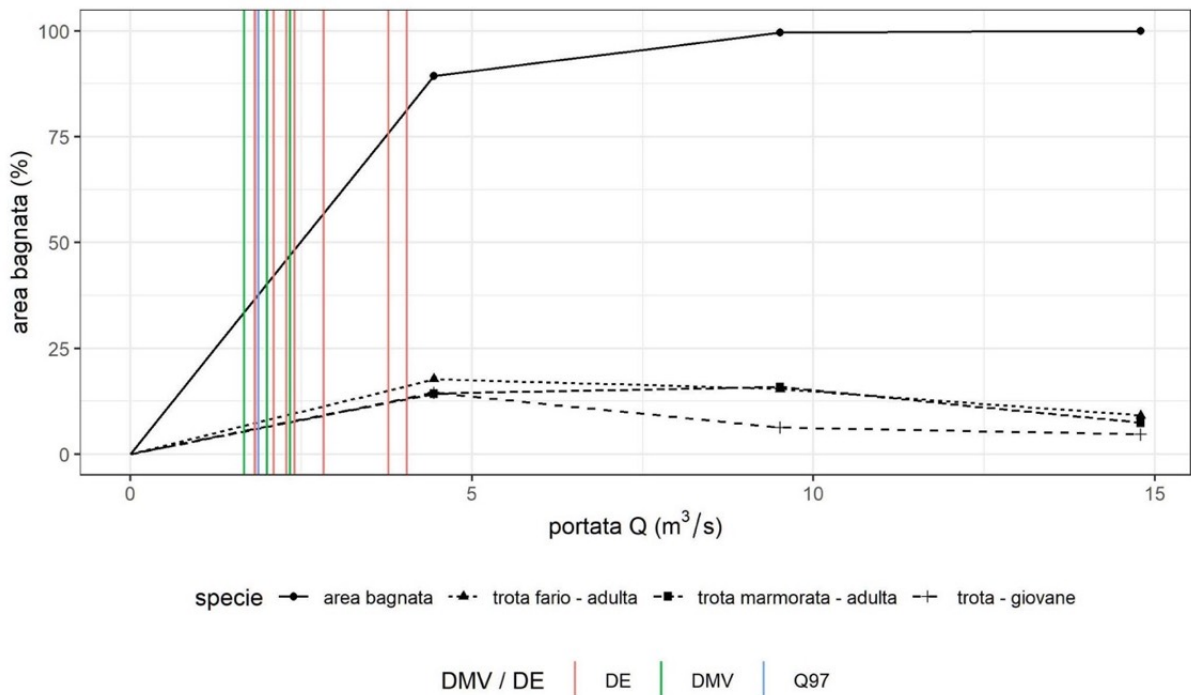


Fig. A.2.4: Curve habitat - portata per il tratto del torrente Avisio in località Cavalese, per le specie trota fario (adulta), trota marmorata (adulta) e trota (giovane). Le linee verticali rappresentano i valori di portata del DMV (verde), DE (rosso) e della Q_{97} (blu).

A.2.2. Noce - Dimaro

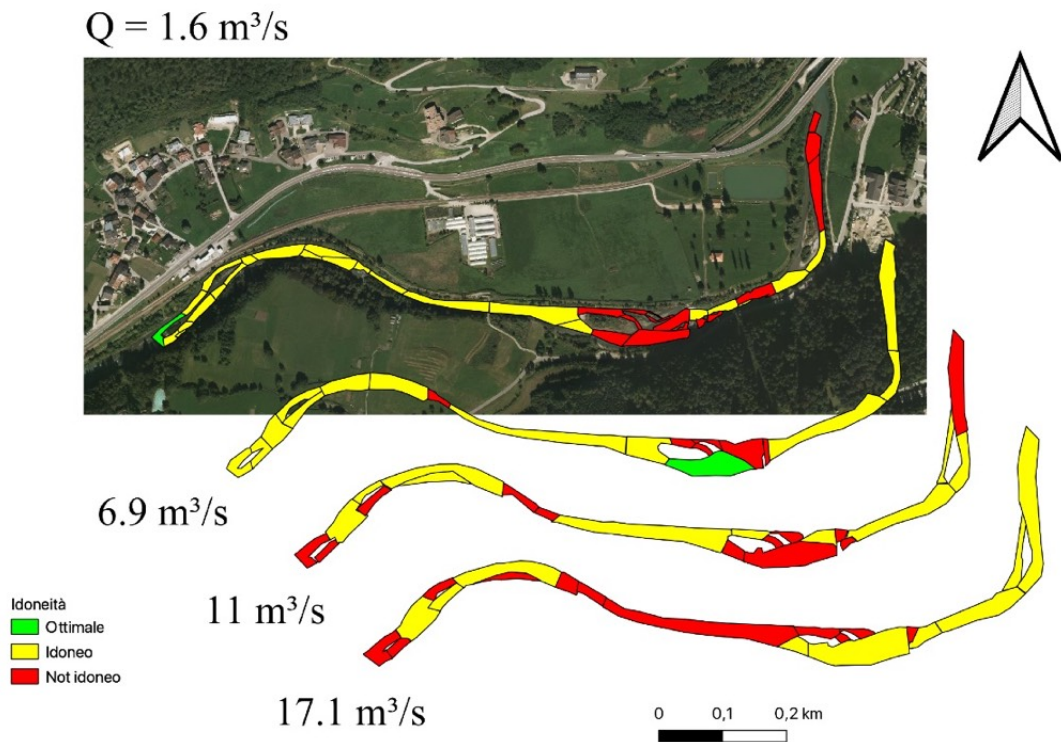


Fig. A.2.5: Mappe di idoneità per trota marmorata Adulta, Noce (Dimaro).

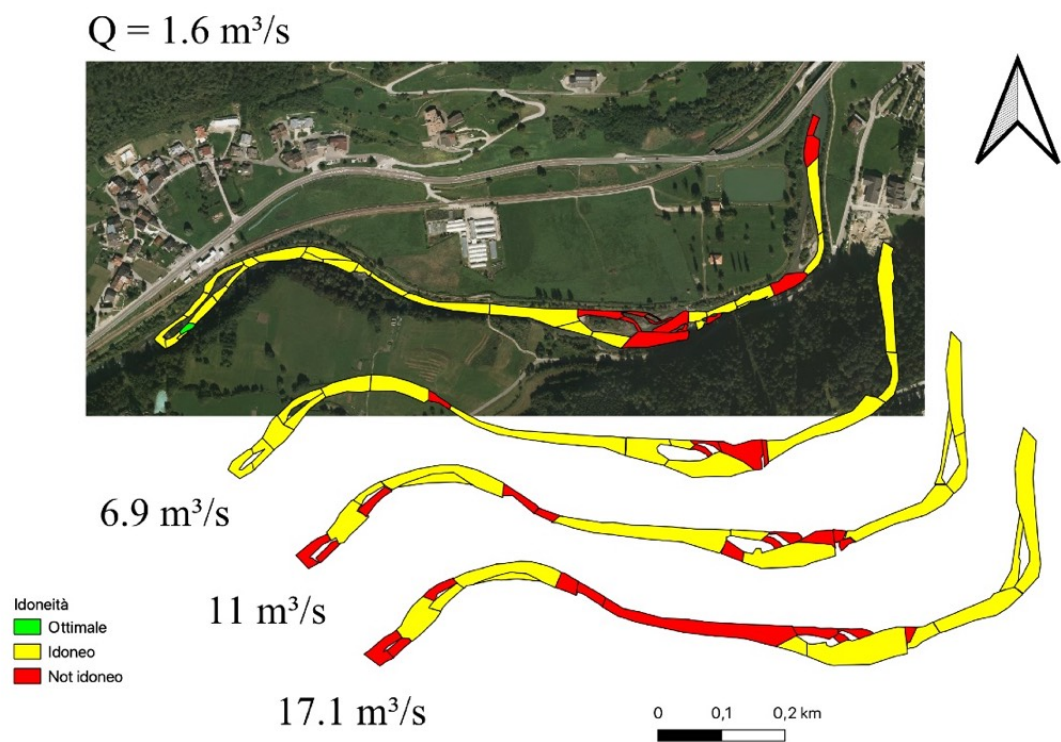


Fig. A.2.6: Mappe di idoneità per trota fario Adulta, Noce (Dimaro).

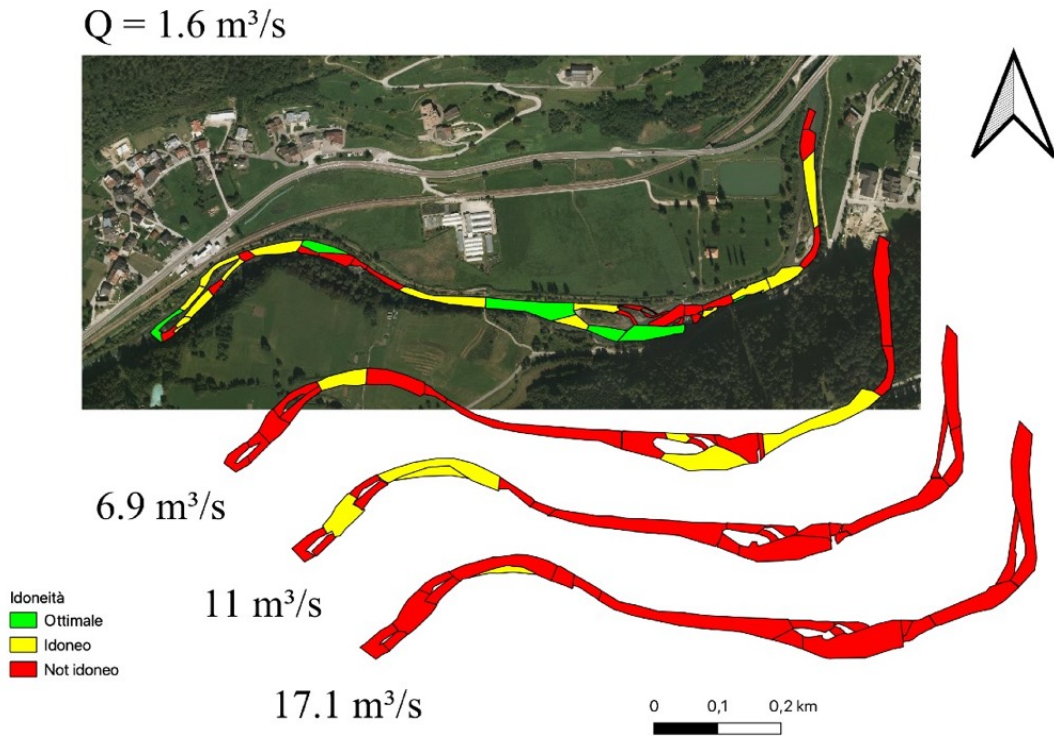


Fig. A.2.7: Mappe di idoneità per trota giovane, Noce (Dimaro).

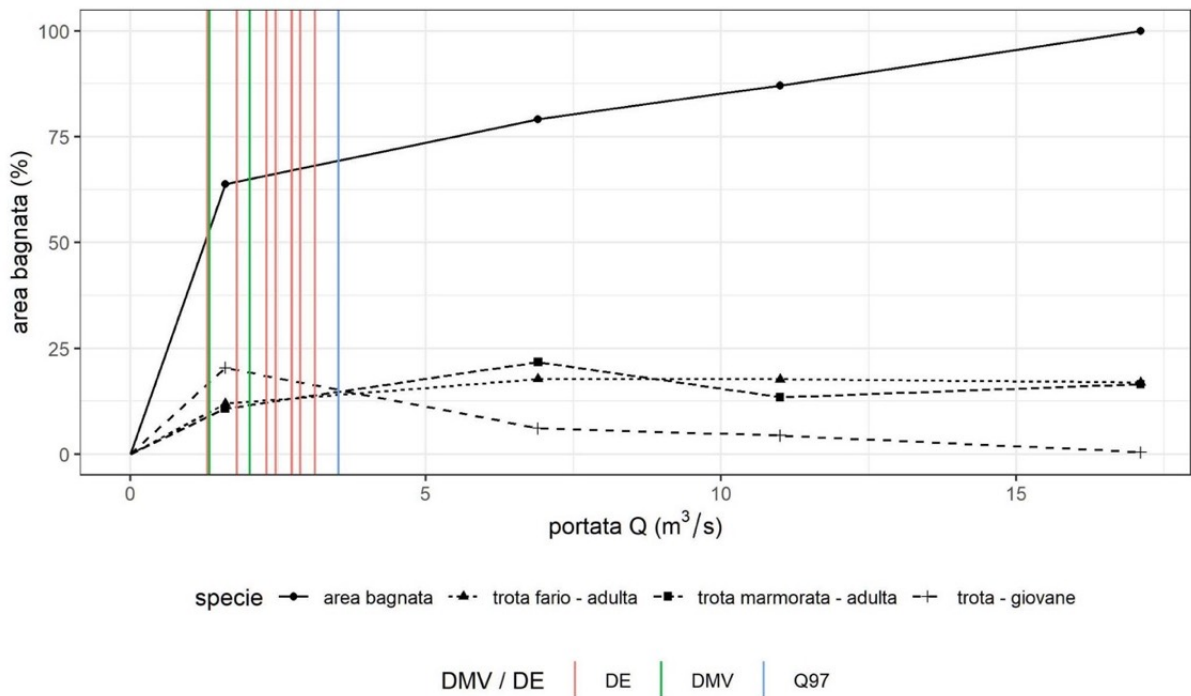


Fig. A.2.8: Curve habitat - portata per il tratto del torrente Noce in località Dimaro, per le specie trota fario (adulta), trota marmorata (adulta) e trota (giovane). Le linee verticali rappresentano i valori di portata del DMV (verde), DE (rosso) e della Q_{97} (blu).

A.2.3. Noce - Marilleva

$Q = 2.2 \text{ m}^3/\text{s}$

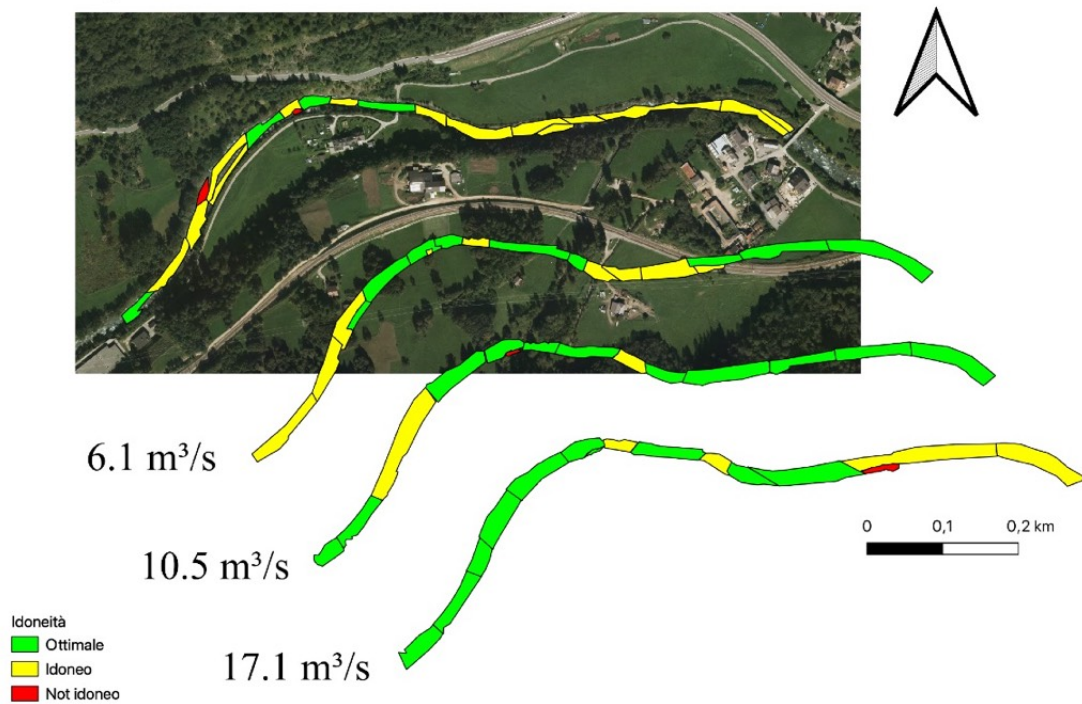


Fig. A.2.9: Mappe di idoneità per trota marmorata adulta, Noce (Marilleva).

$Q = 2.2 \text{ m}^3/\text{s}$

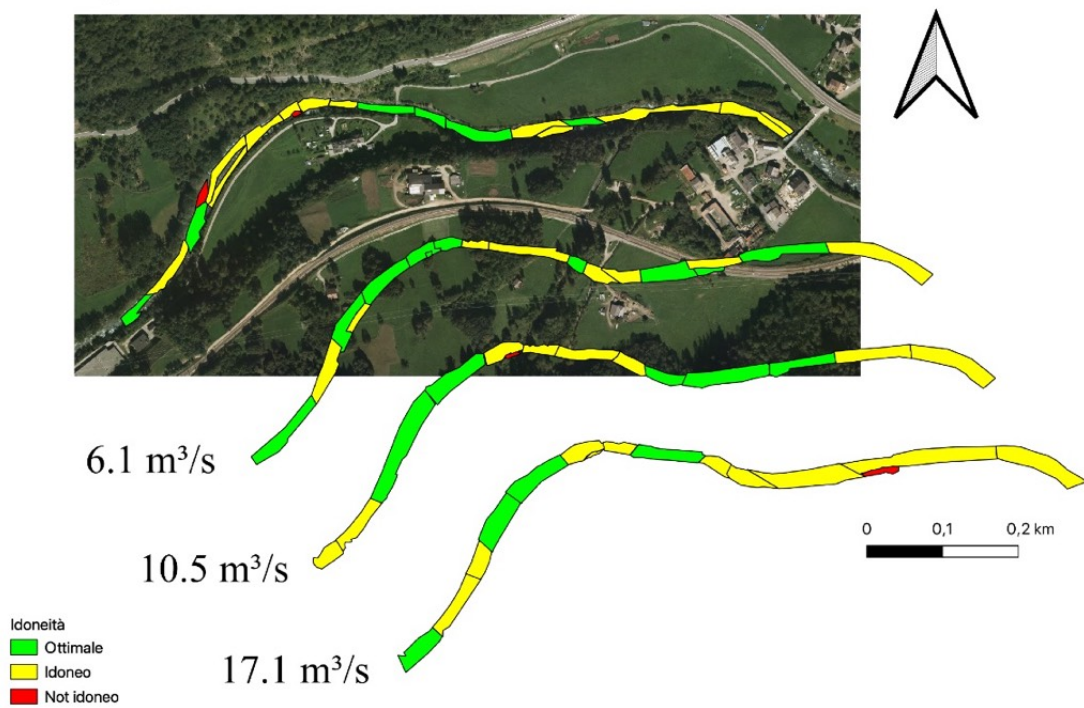


Fig. A.2.10: Mappe di idoneità per trota fario adulta, Noce (Marilleva).

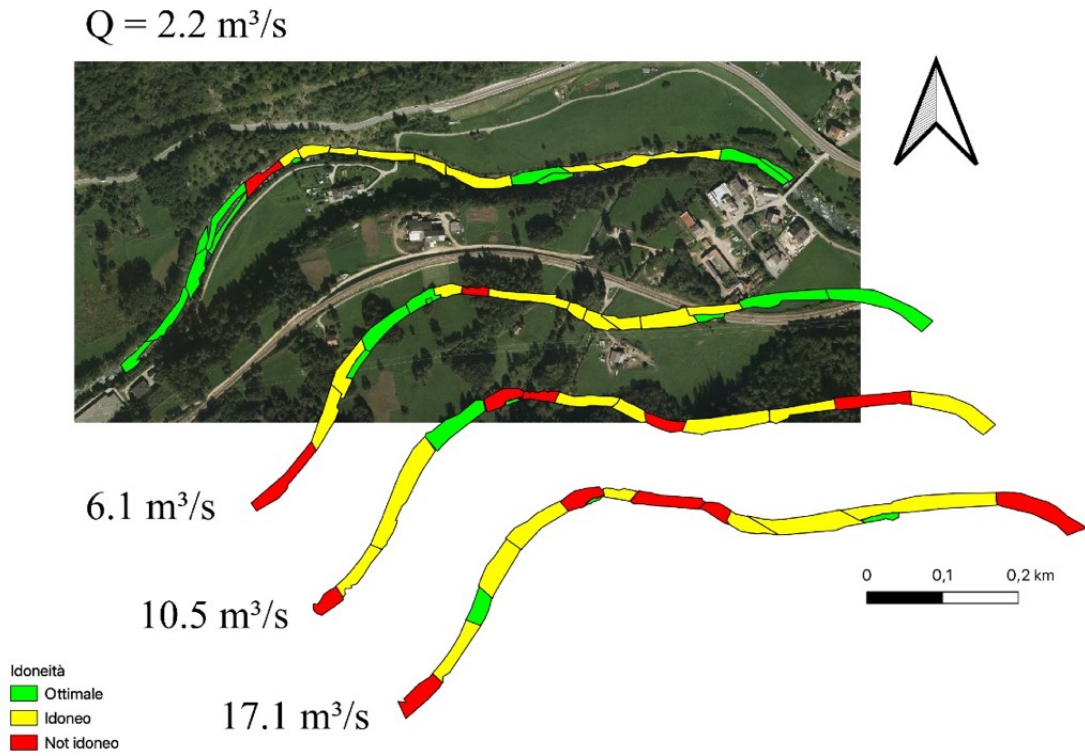


Fig. A.2.11: Mappe di idoneità per trota giovane, Noce (Marilleva).

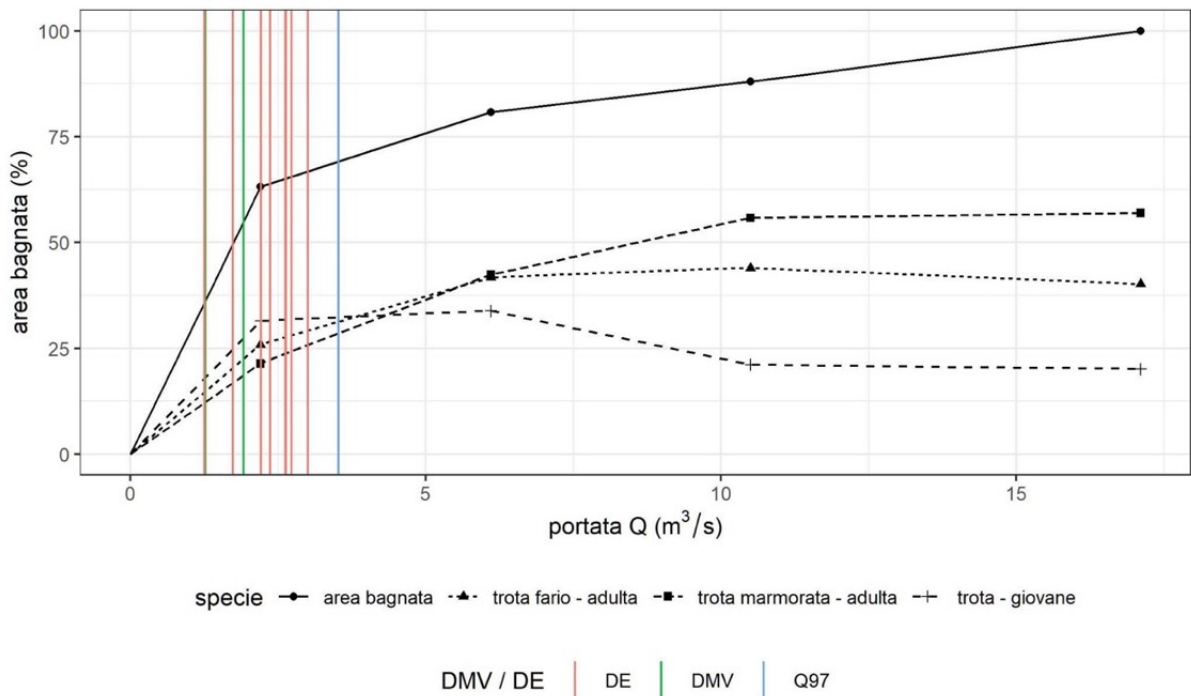


Fig. A.2.12: Curve habitat - portata per il tratto del torrente Noce in località Marilleva, per le specie trota fario (adulta), trota marmorata (adulta) e trota (giovane). Le linee verticali rappresentano i valori di portata del DMV (verde), DE (rosso) e della Q_{97} (blu).

A.2.4. Vermigliana

$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{s}$

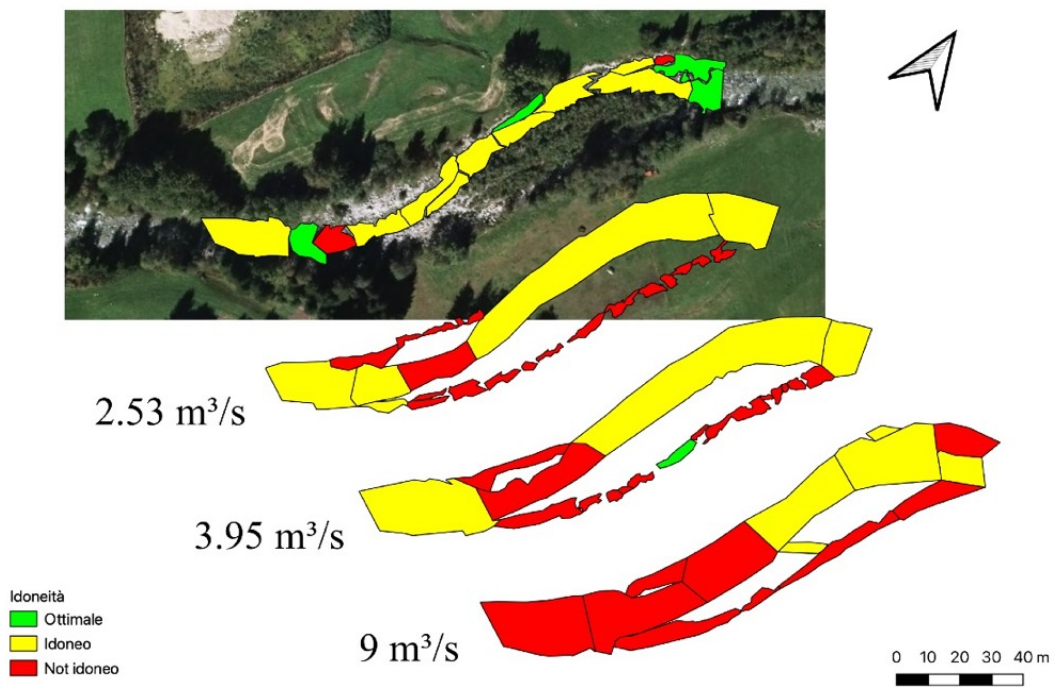


Fig. A.2.13: Mappe di idoneità per trota marmorata adulta, Vermigliana.

$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{s}$

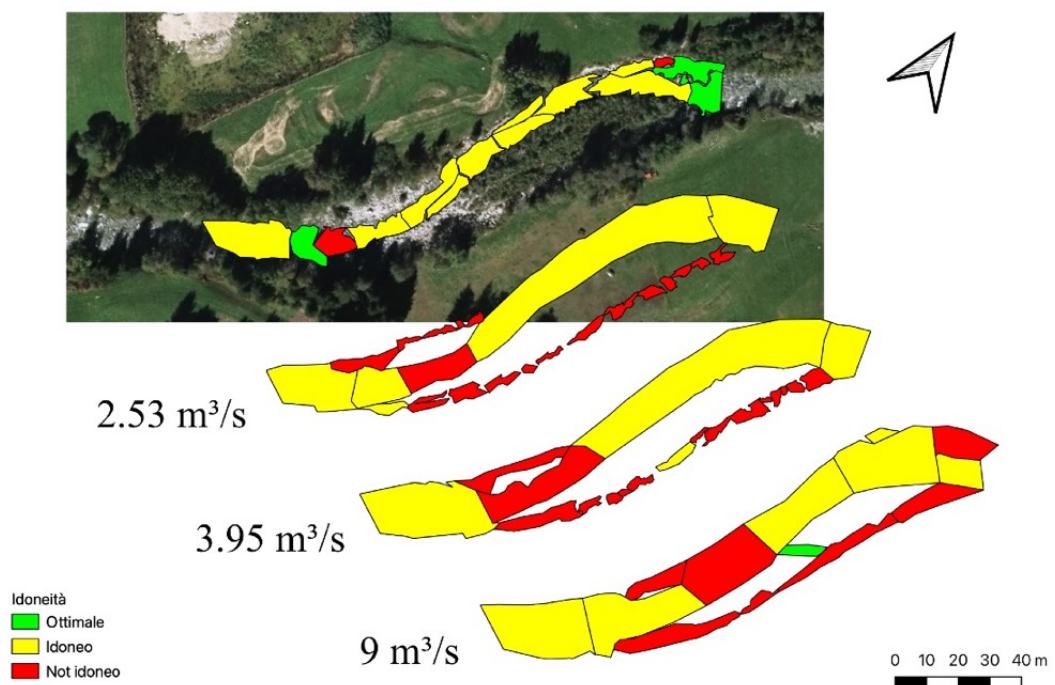


Fig. A.2.14: Mappe di idoneità per trota fario adulta, Vermigliana.

$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{s}$

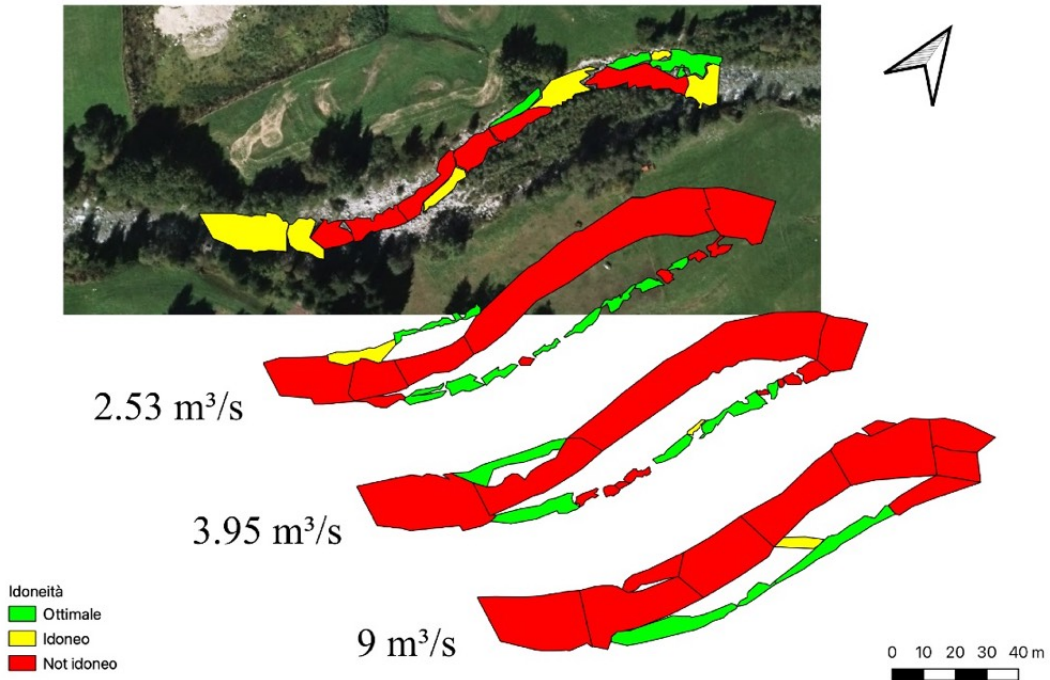


Fig. A.2.15: Mappe di idoneità per trota giovane, Vermigliana.

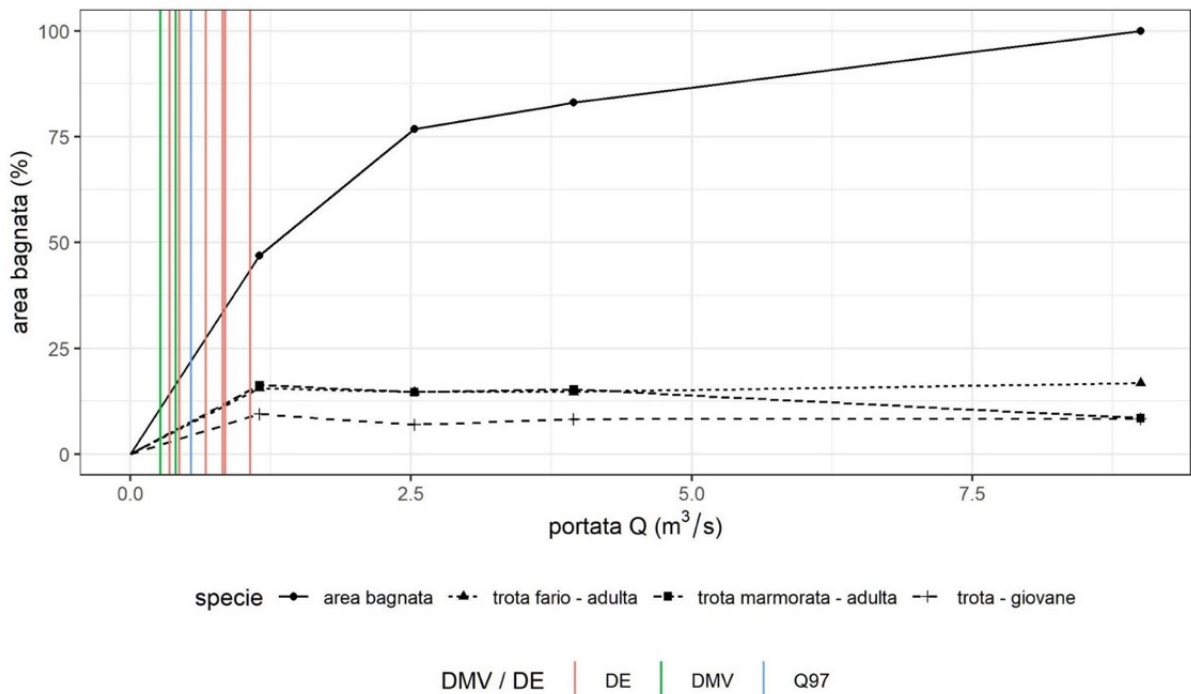


Fig. A.2.16: Curve habitat - portata per il tratto del torrente Vermigliana in località Vermiglio, per le specie trota fario (adulta), trota marmorata (adulta) e trota (giovane). Le linee verticali rappresentano i valori di portata del DMV (verde), DE (rosso) e della Q_{97} (blu).

A.2.5. Rabbies

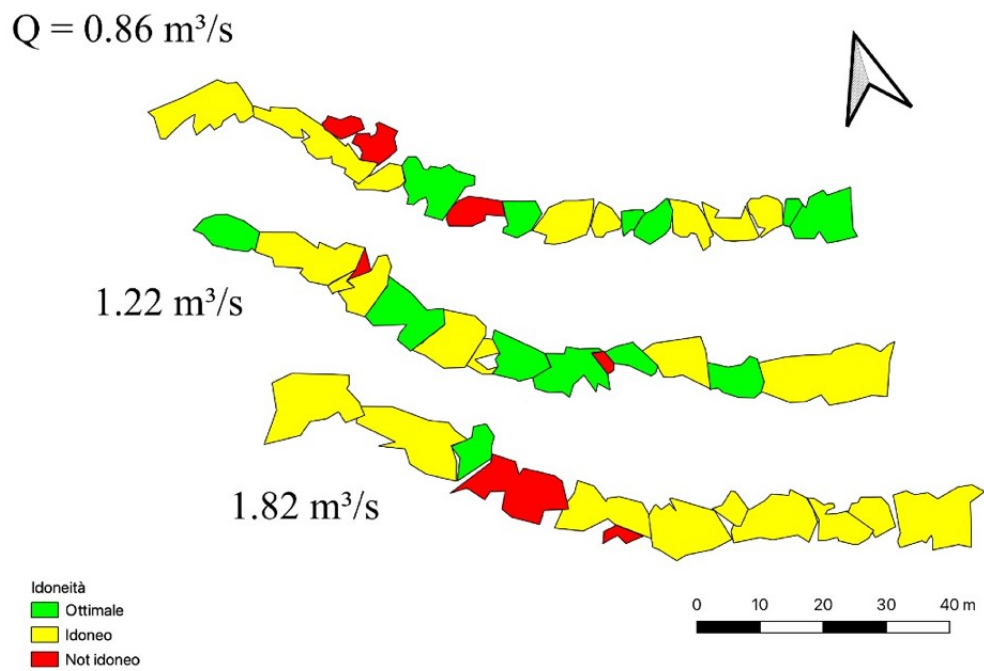


Fig. A.2.17: Mappe di idoneità per trota marmorata adulta, Rabbies.

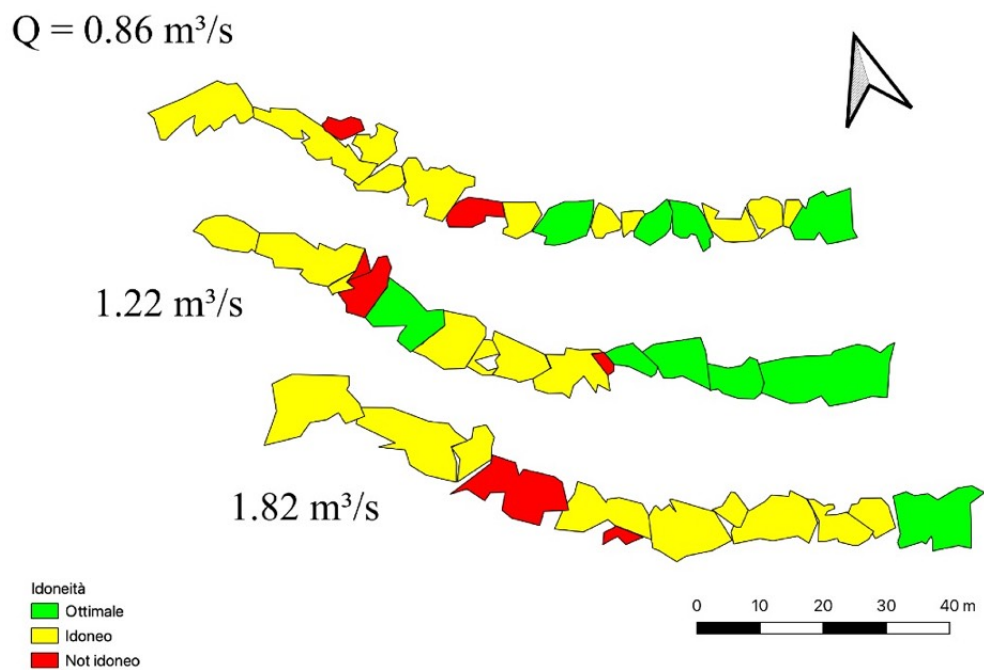


Fig. A.2.18: Mappe di idoneità per trota fario adulta, Rabbies.

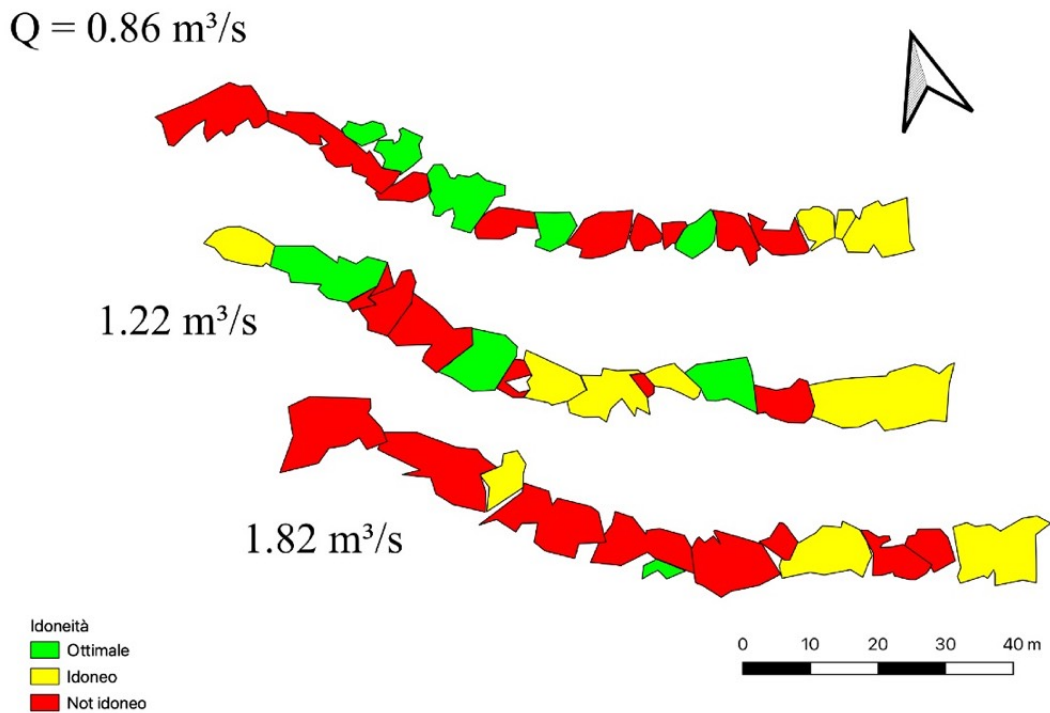


Fig. A.2.19: Mappe di idoneità per trota giovane, Rabbies.

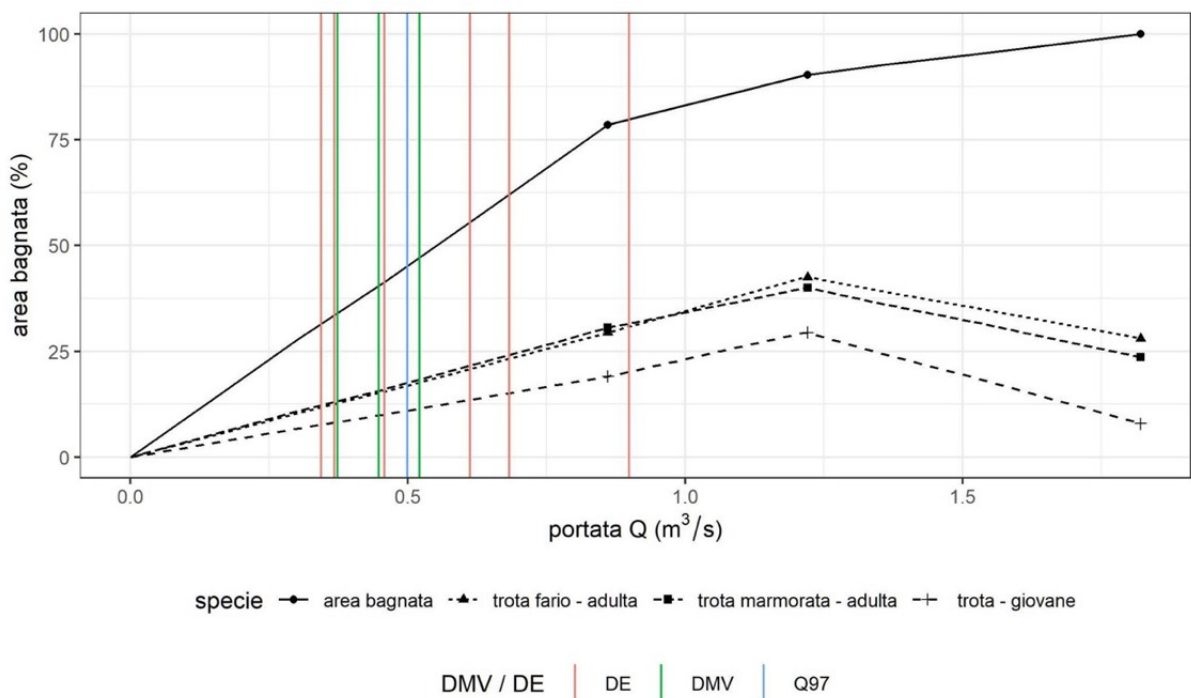


Fig. A.2.20: Curve habitat - portata per il tratto del torrente Rabbies in località San Bernardo di Rabbi, per le specie trota fario (adulta), trota marmorata (adulta) e trota (giovane). Le linee verticali rappresentano i valori di portata del DMV (verde), DE (rosso) e della Q₉₇ (blu).

A.2.6. Vela

$Q = 0.105 \text{ m}^3/\text{s}$

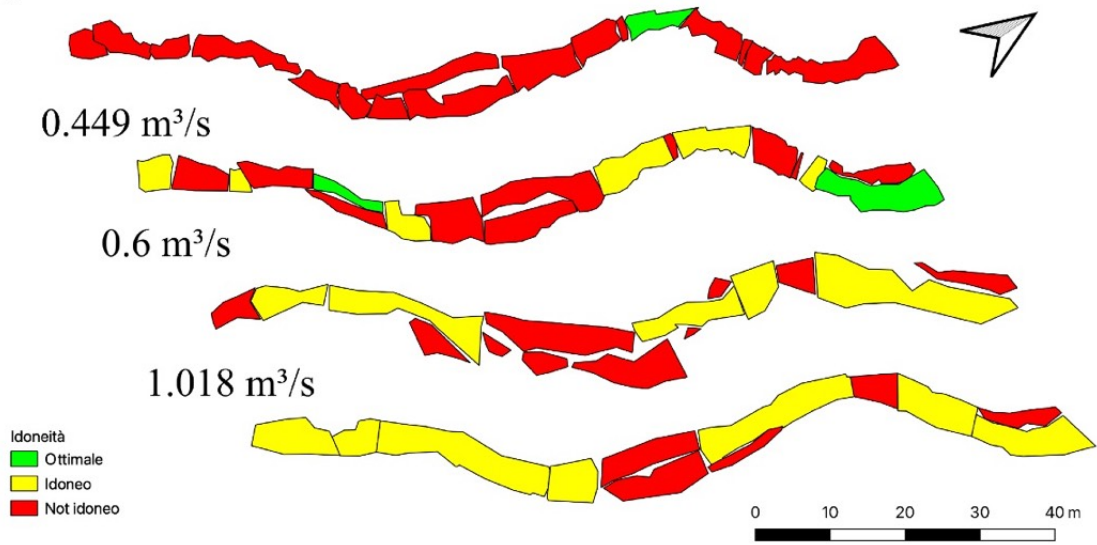


Fig. A.2.21: Mappe di idoneità per trota marmorata adulta, Vela.

$Q = 0.105 \text{ m}^3/\text{s}$

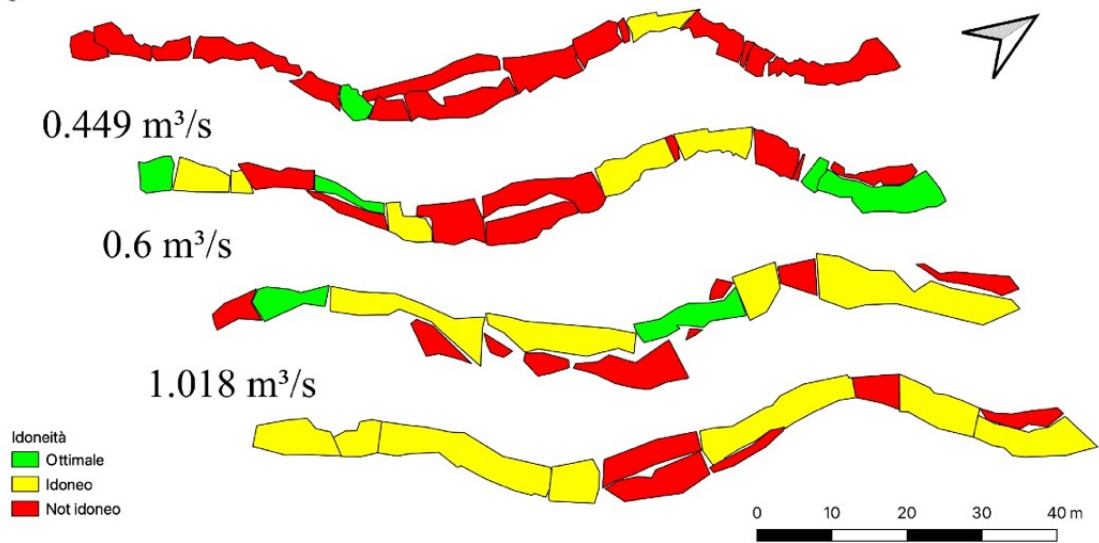


Fig. A.2.22: Mappe di idoneità per trota fario adulta, Vela.

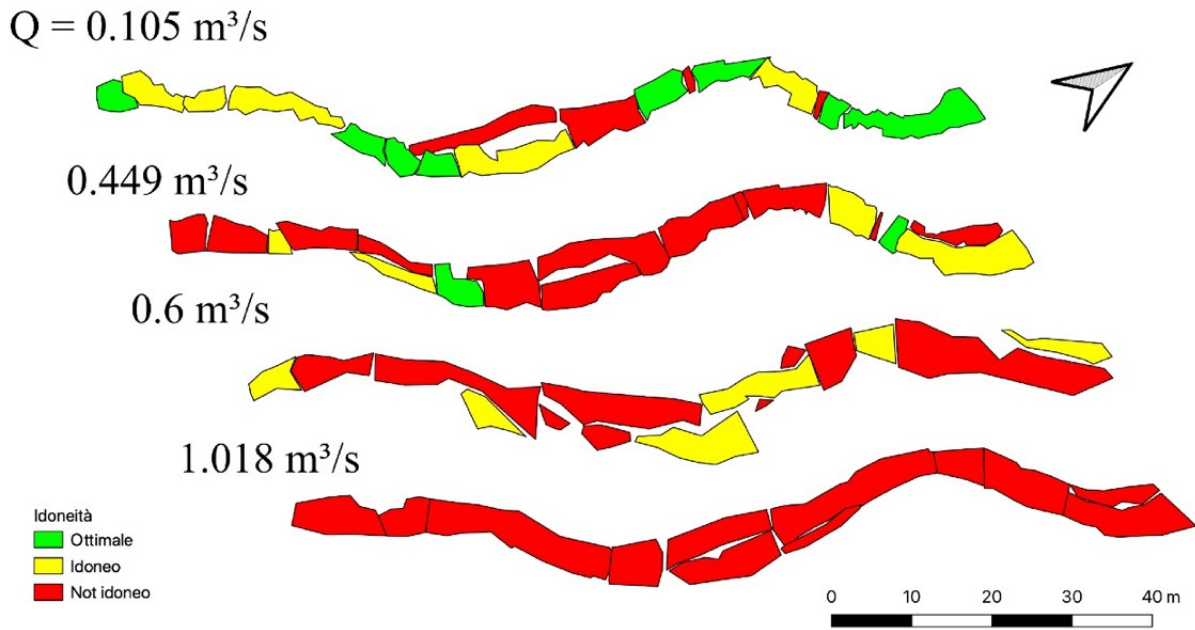


Fig. A.2.23: Mappe di idoneità per trota giovane, Vela.

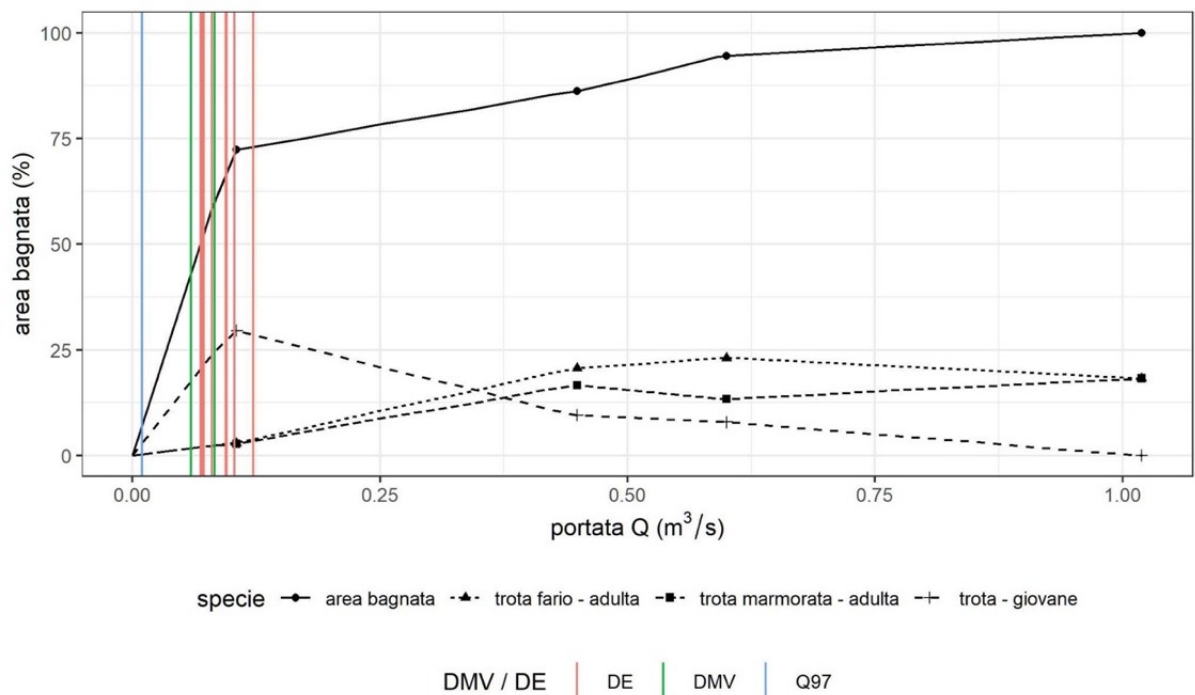


Fig. A.2.24: Curve habitat - portata per il tratto del torrente Vela in località Cadine, per le specie trota fario (adulta), trota marmorata (adulta) e trota (giovane). Le linee verticali rappresentano i valori di portata del DMV (verde), DE (rosso) e della Q₉₇ (blu).

A.2.7. Rabiola

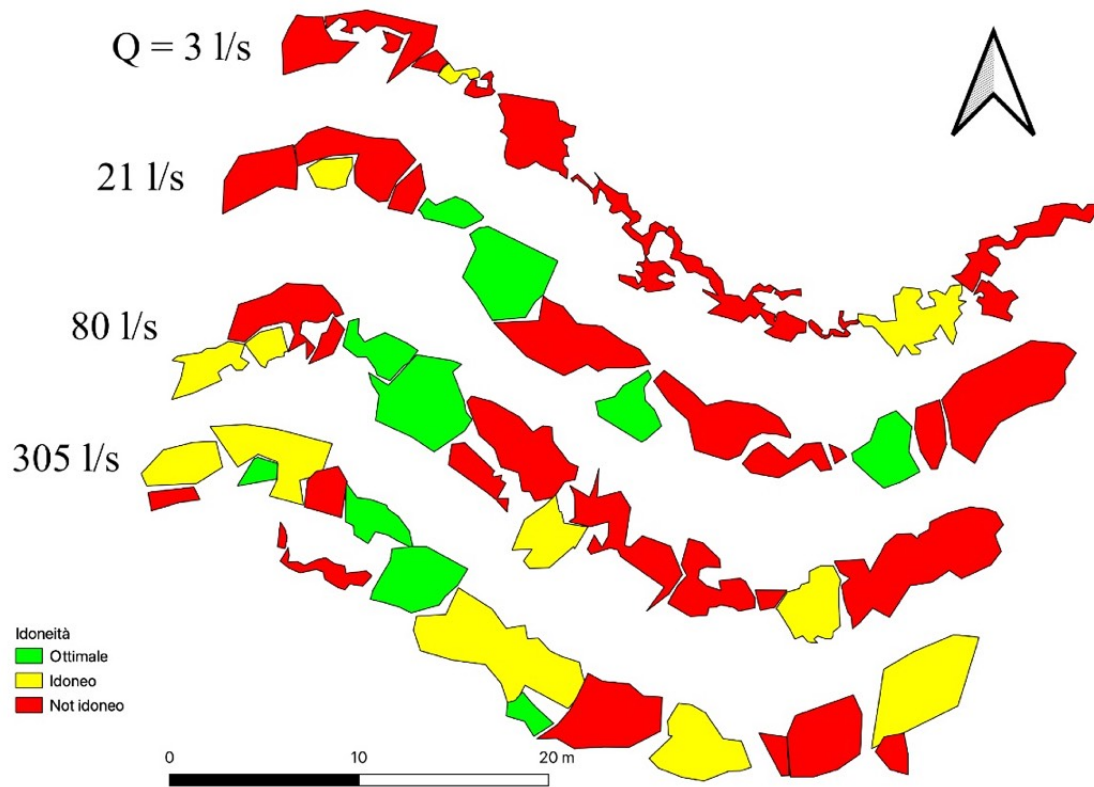


Fig. A.2.25: Mappe di idoneità per trota marmorata adulta, Rabiola.

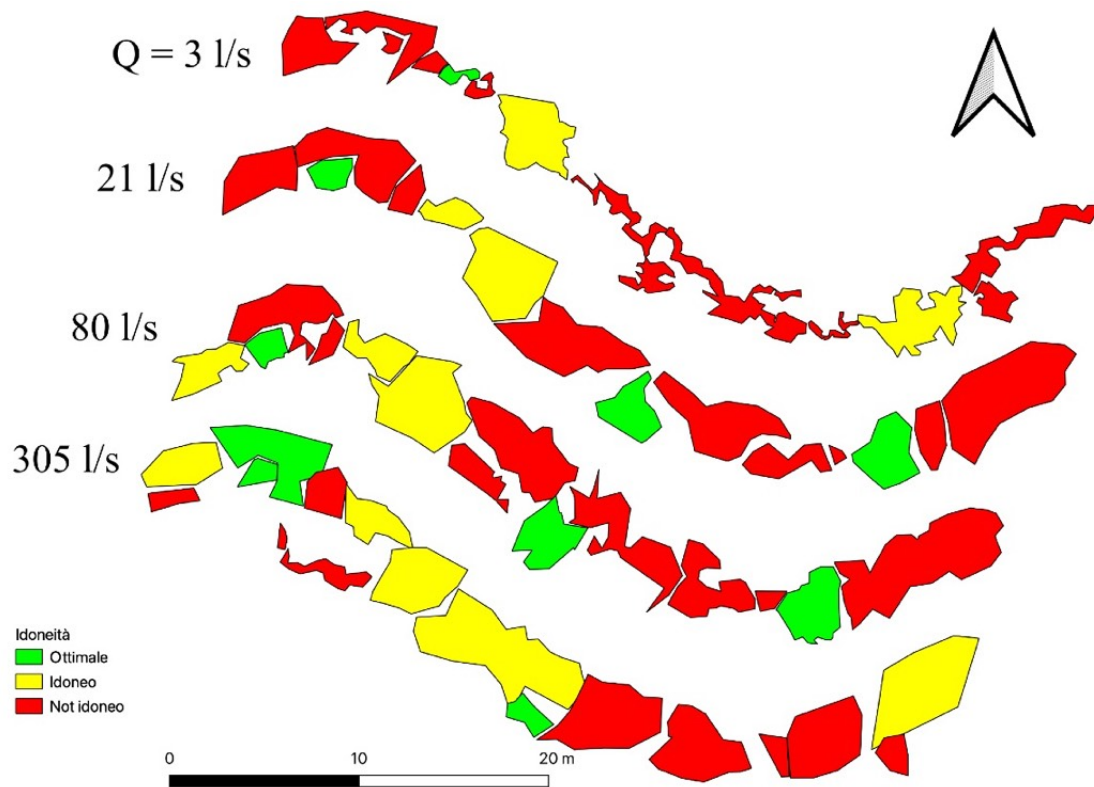


Fig. A.2.26: Mappe di idoneità per trota fario adulta, Rabiola.

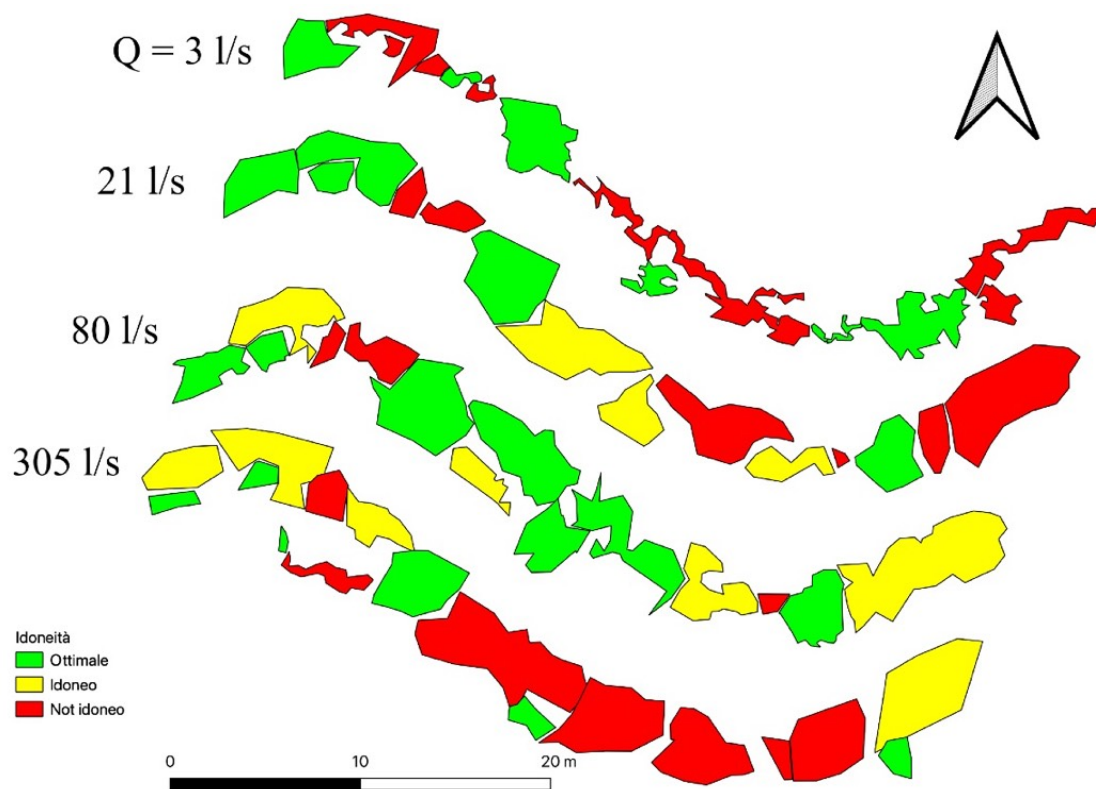


Fig. A.2.27: Mappe di idoneità per trota giovane, Rabiola.

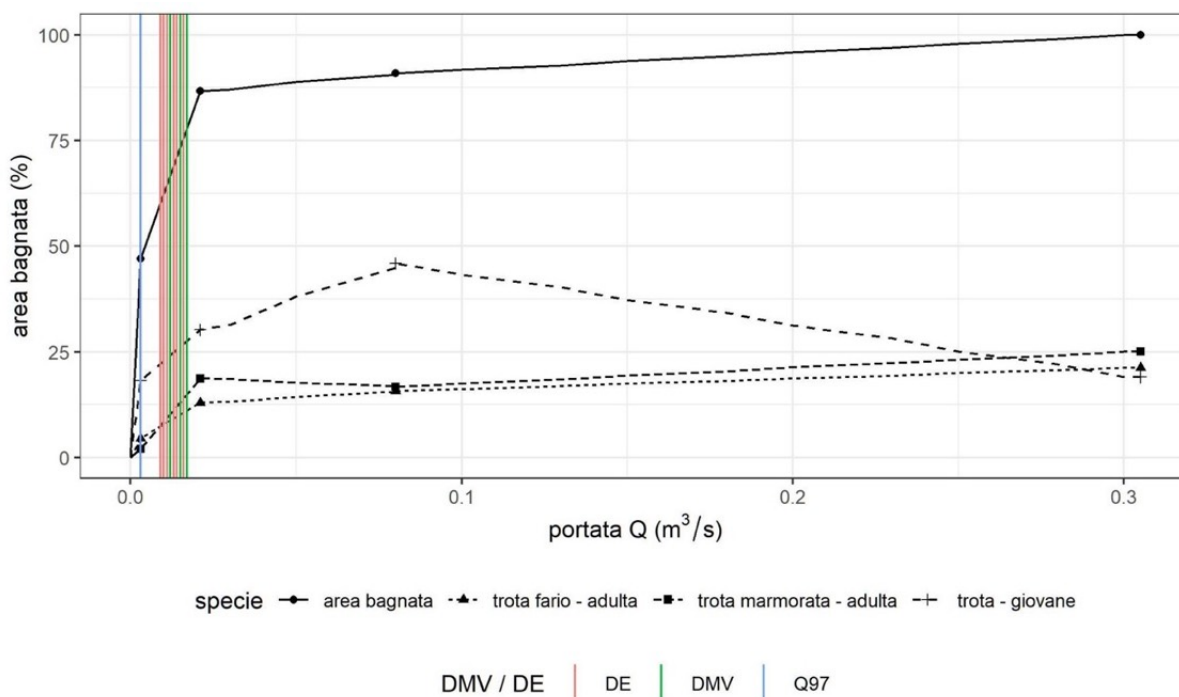


Fig. A.2.28: Curve habitat - portata per il tratto del torrente Rabiola in località Castelfondo, per le specie trota fario (adulta), trota marmorata (adulta) e trota (giovane). Le linee verticali rappresentano i valori di portata del DMV (verde), DE (rosso) e della Q_{97} (blu).

A.3. Confronto scenari DMV - DE

A.3.1. Avisio

Regime DMV

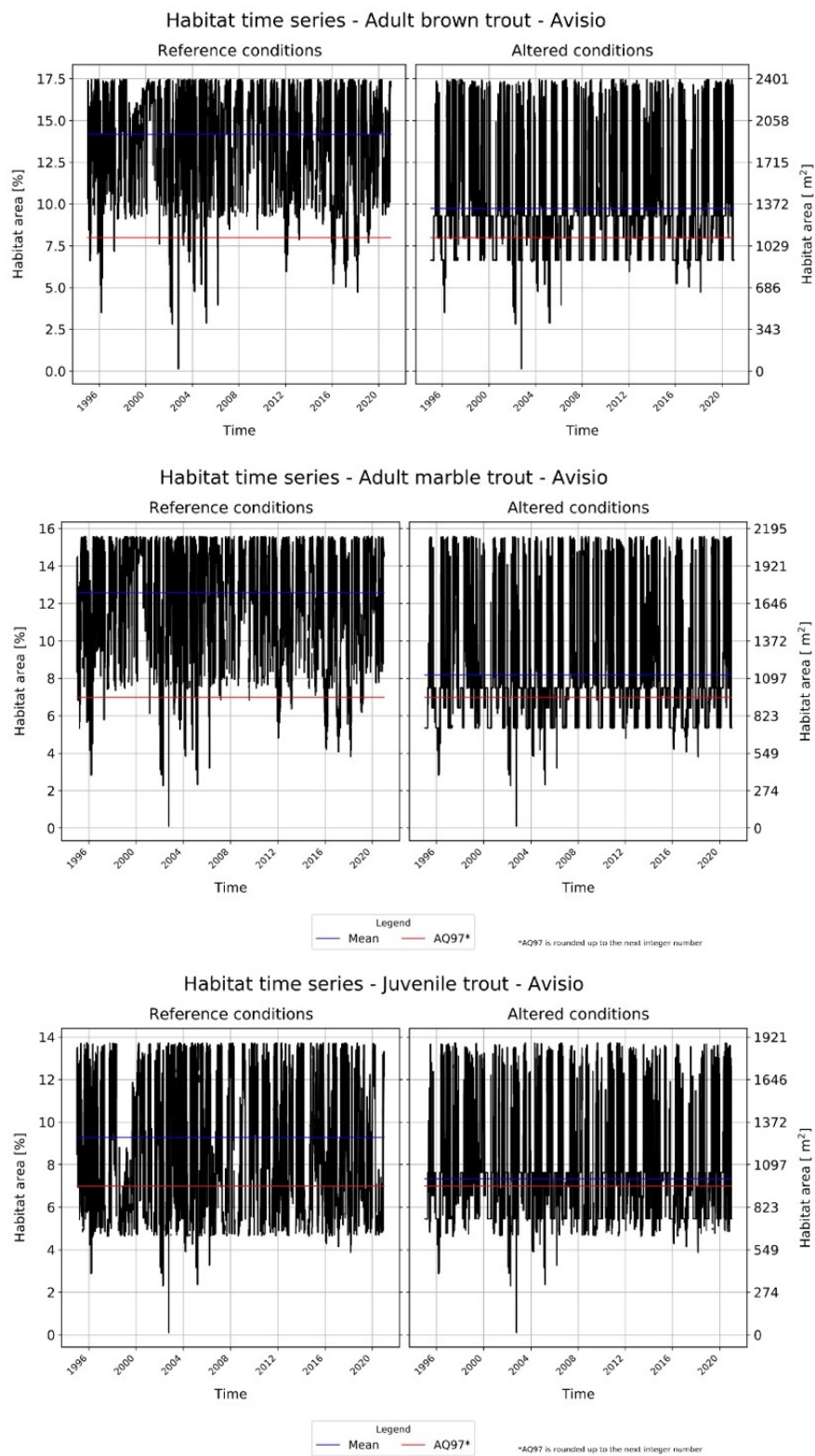


Fig. A.3.1: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

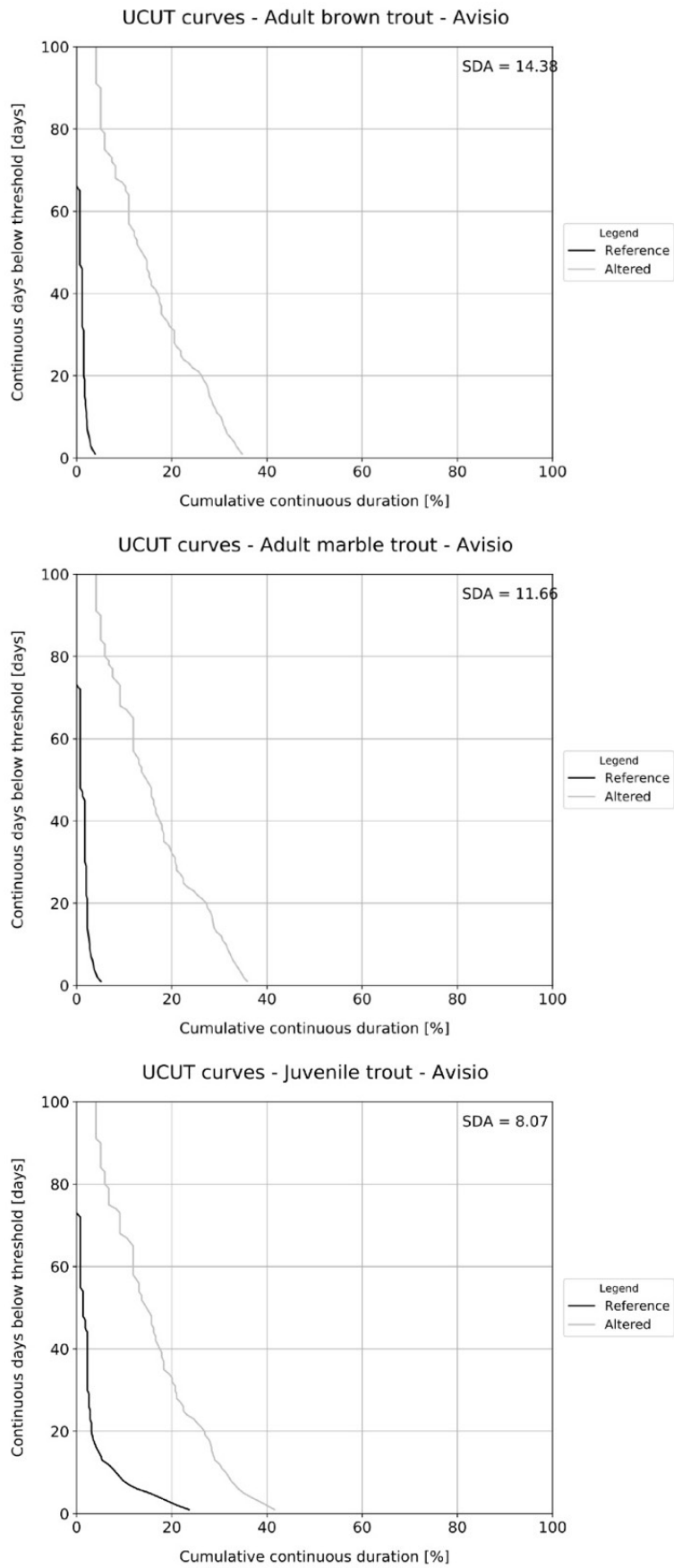


Fig. A.3.2: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

Regime DE

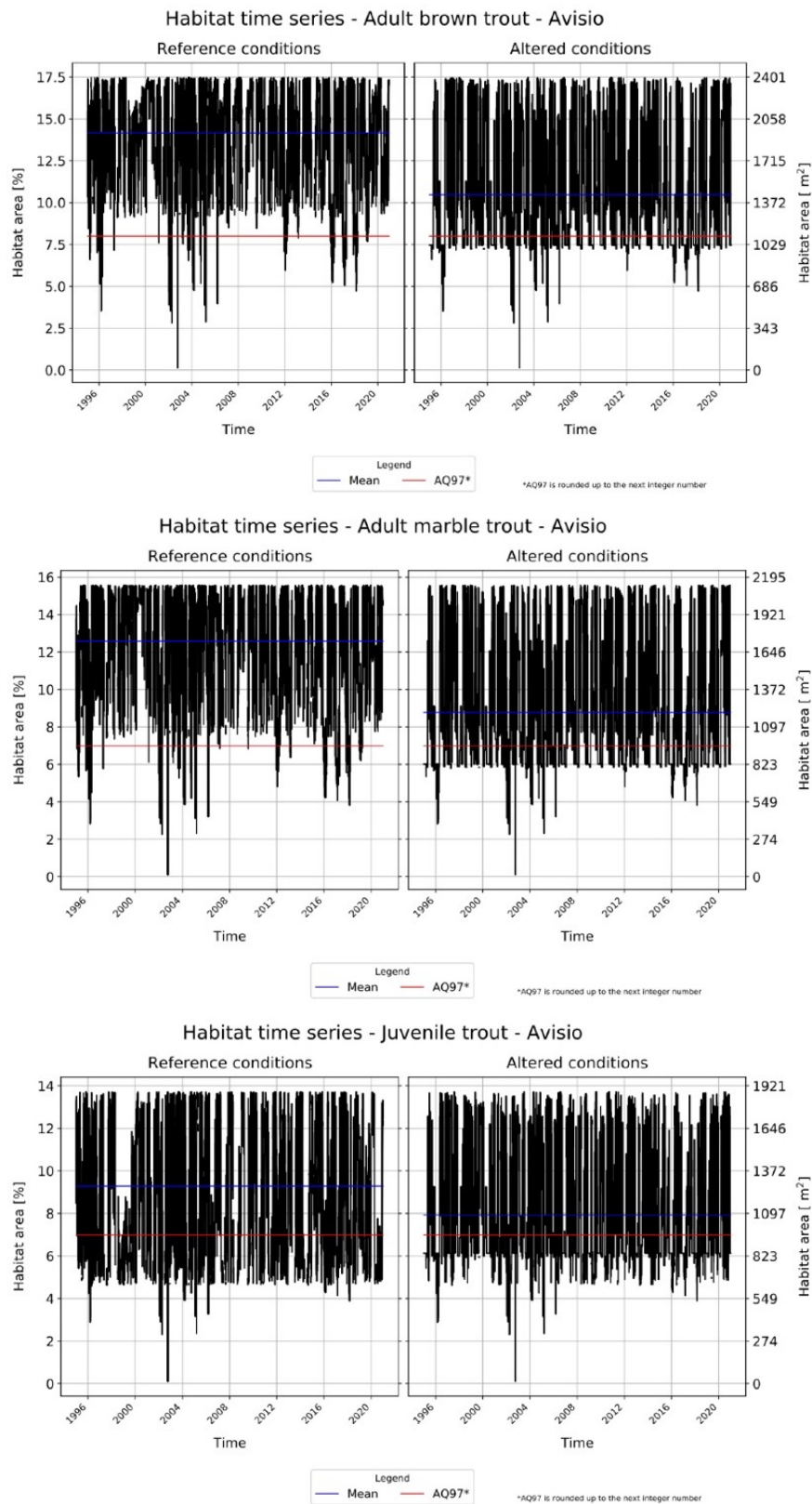


Fig. A.3.3: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

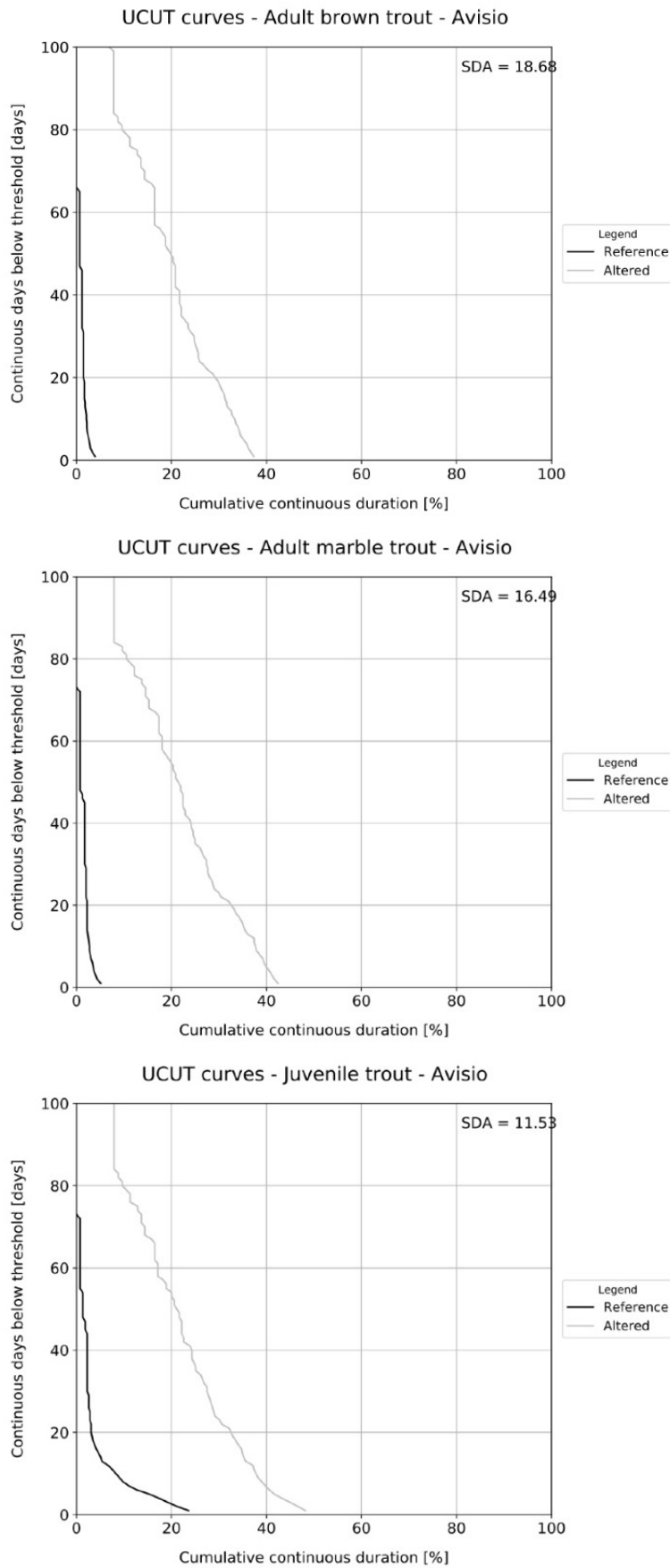


Fig. A.3.4: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

A.3.2. Noce - Dimaro

Regime DMV

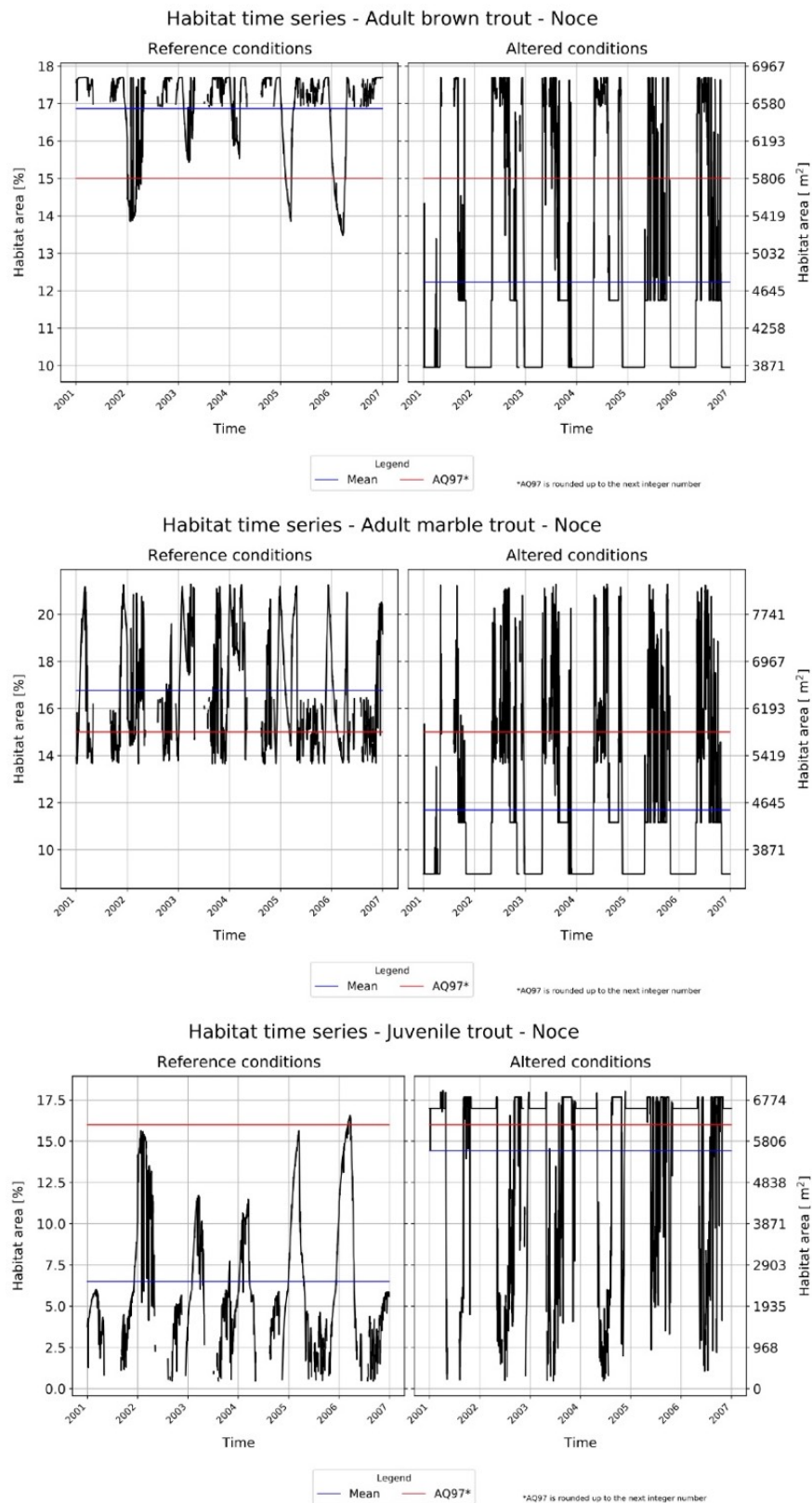


Fig. A.3.5: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

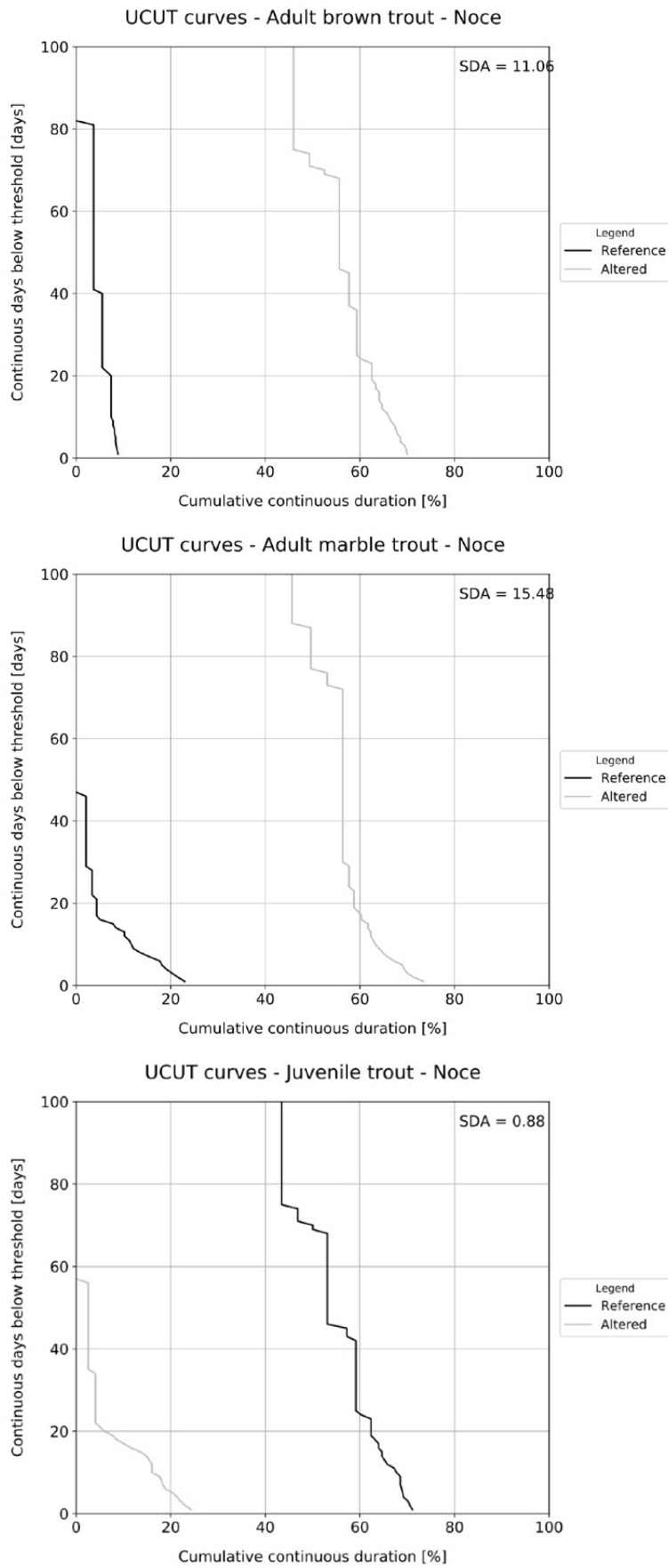


Fig. A.3.6: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

Regime DE

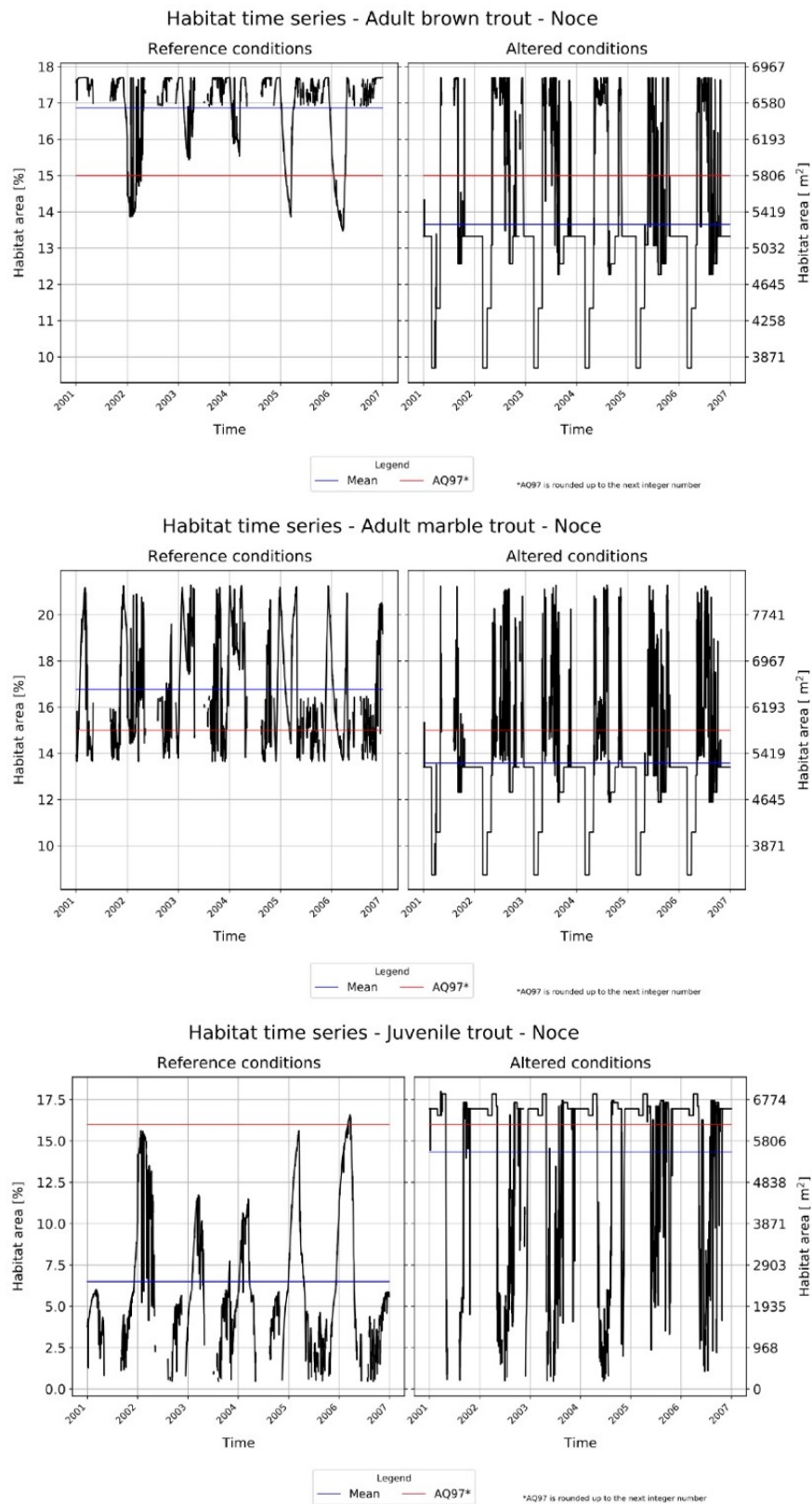


Fig. A.3.7: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

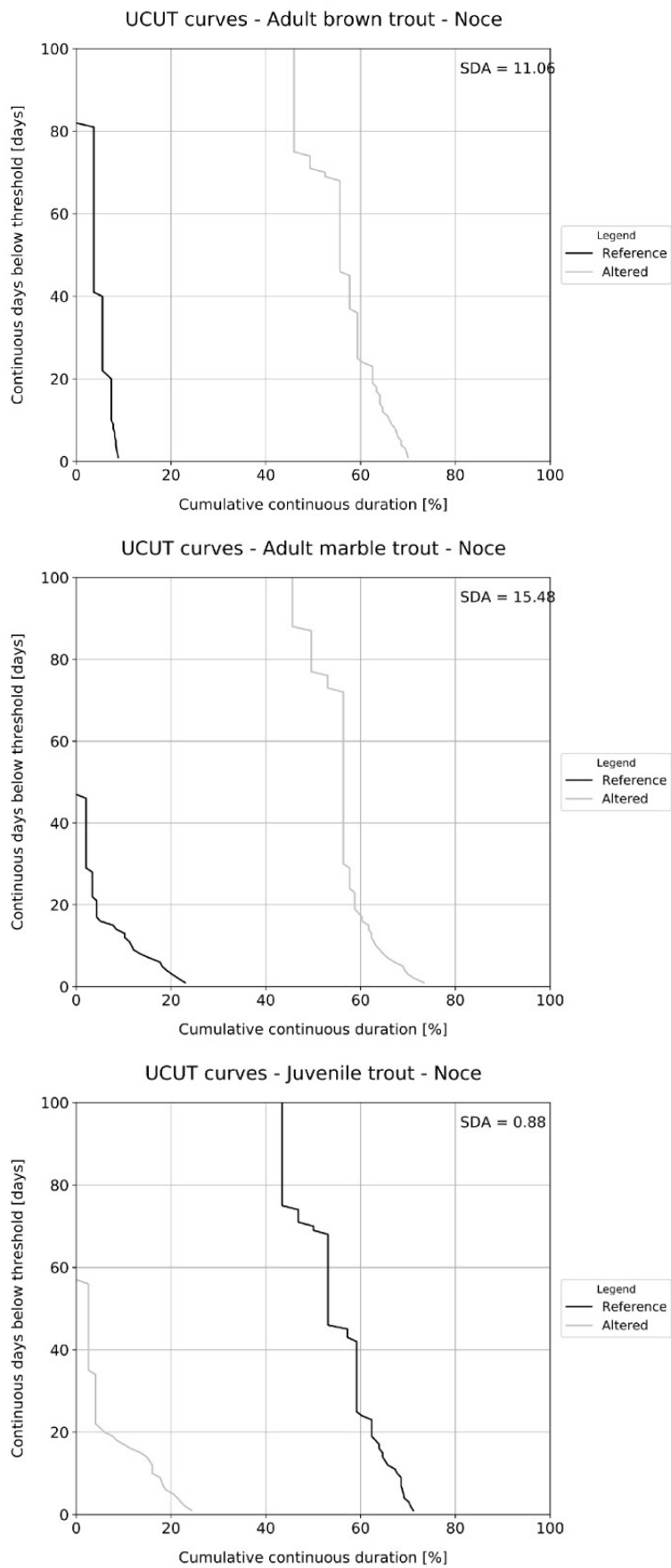


Fig. A.3.8: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

A.3.3. Noce - Marilleva

Regime DMV

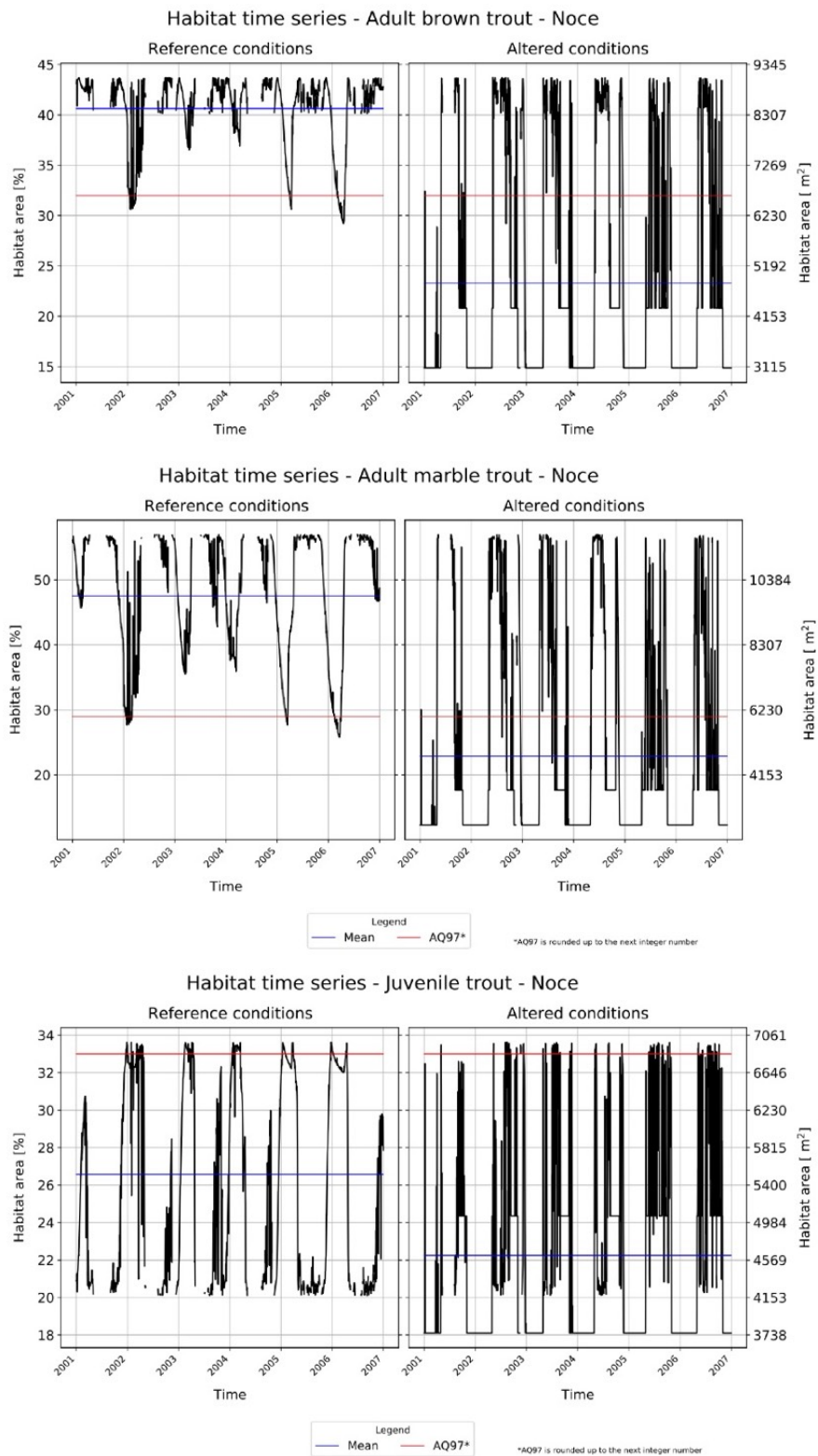


Fig. A.3.9: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

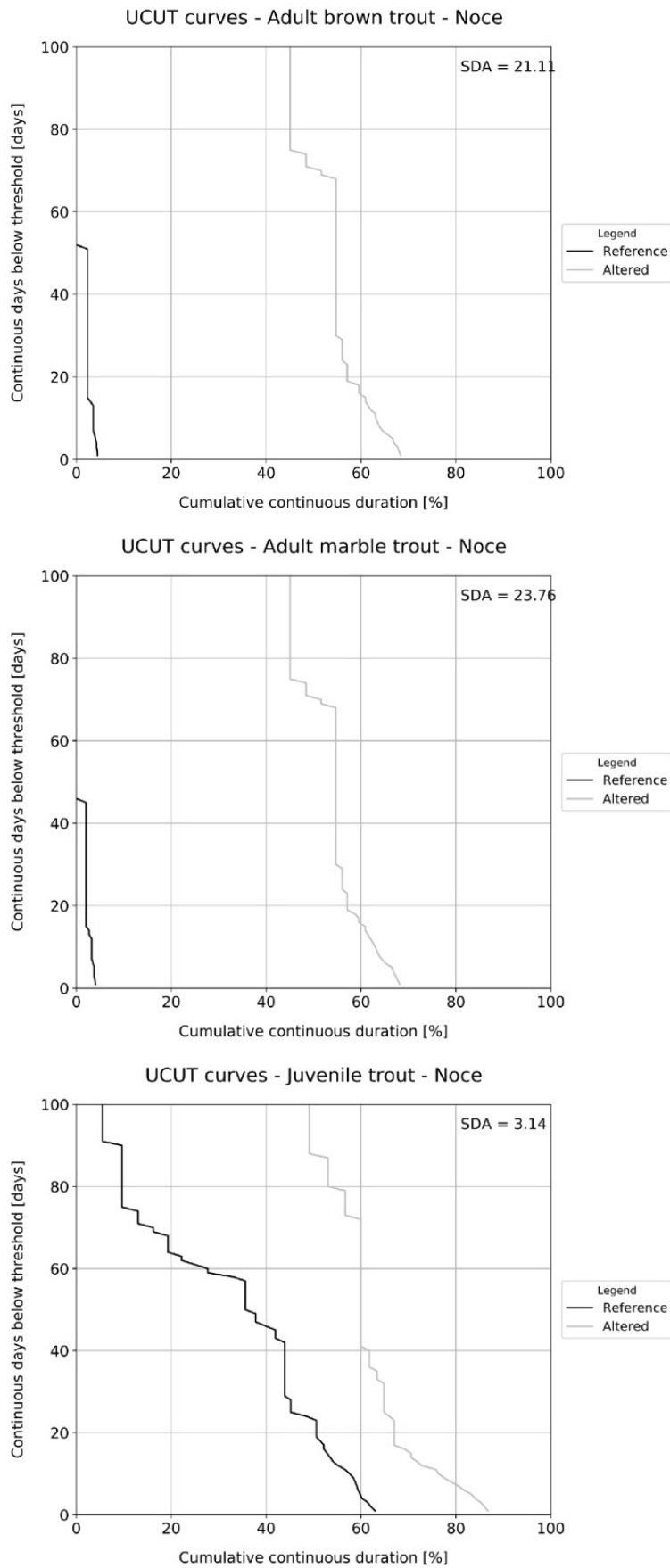


Fig. A.3.10: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

Regime DE

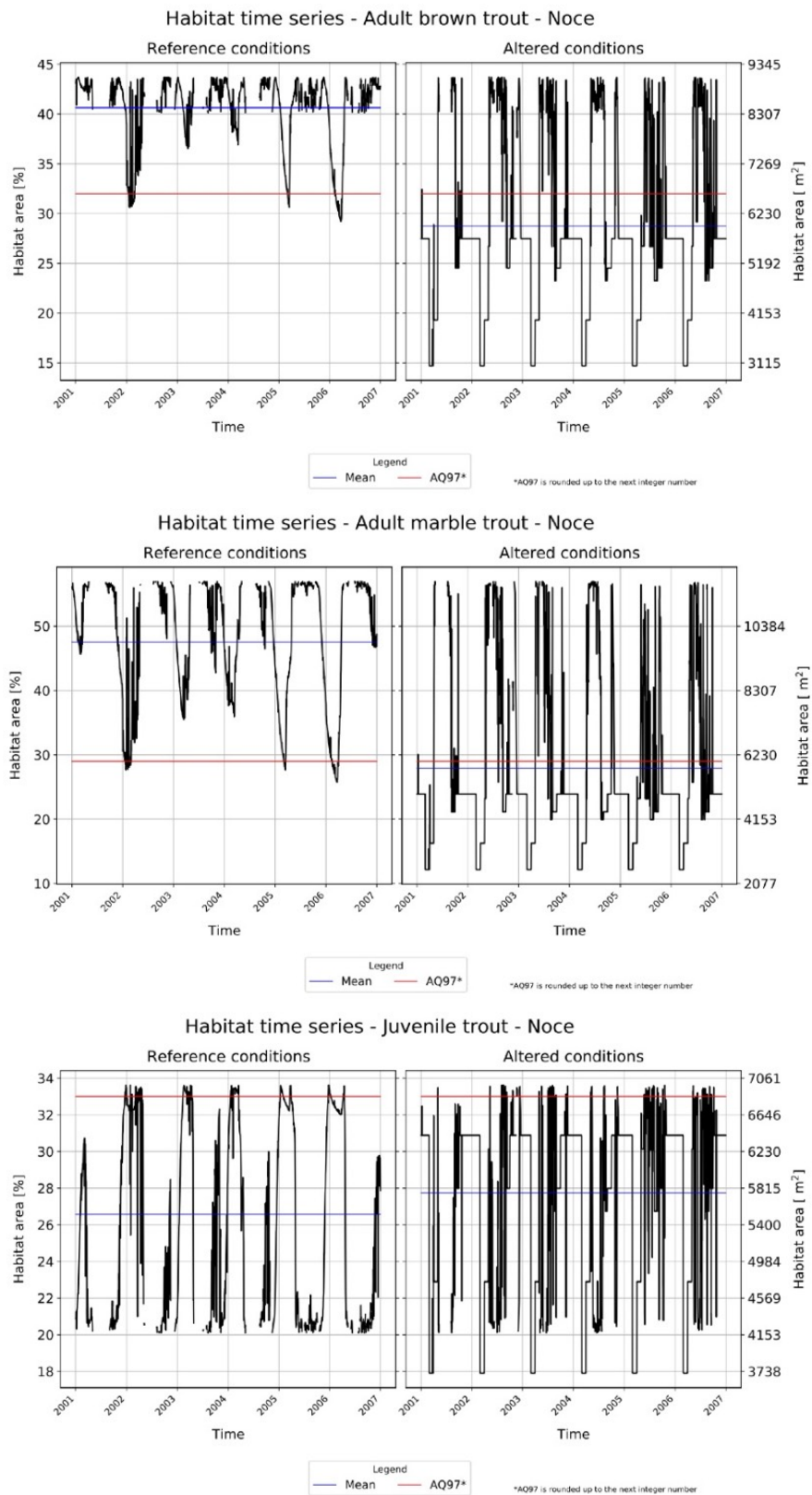


Fig. A.3.11: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

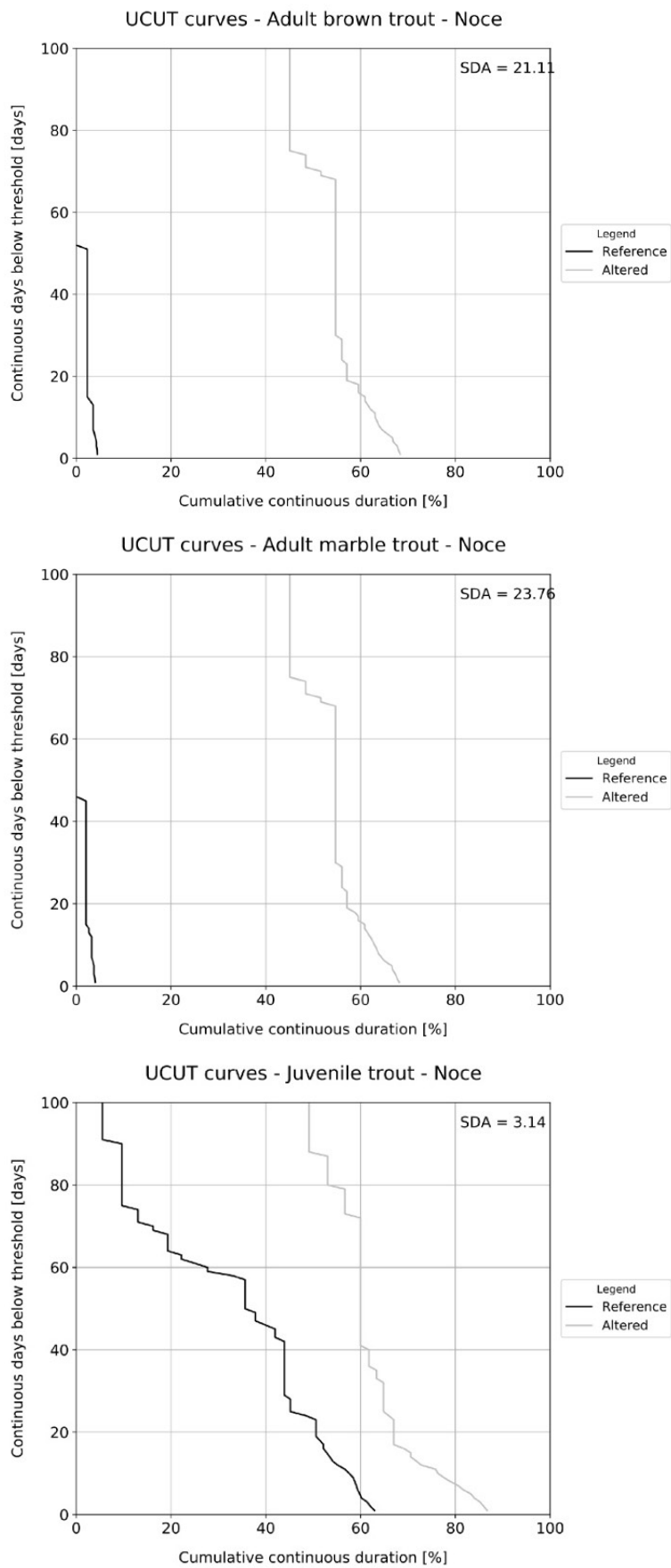


Fig. A.3.12: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

A.3.4. Vermigliana

Regime DMV

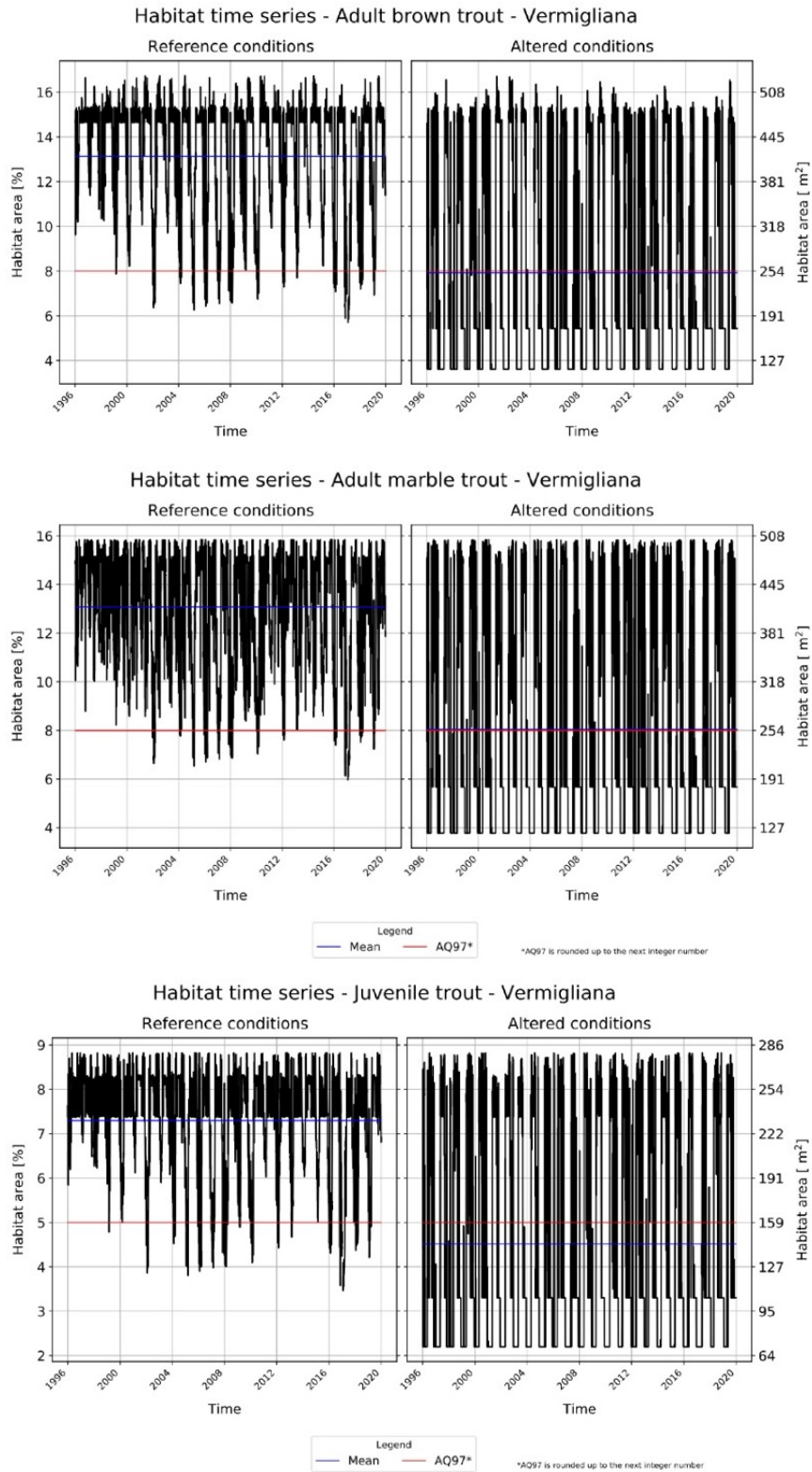


Fig. A.3.13: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

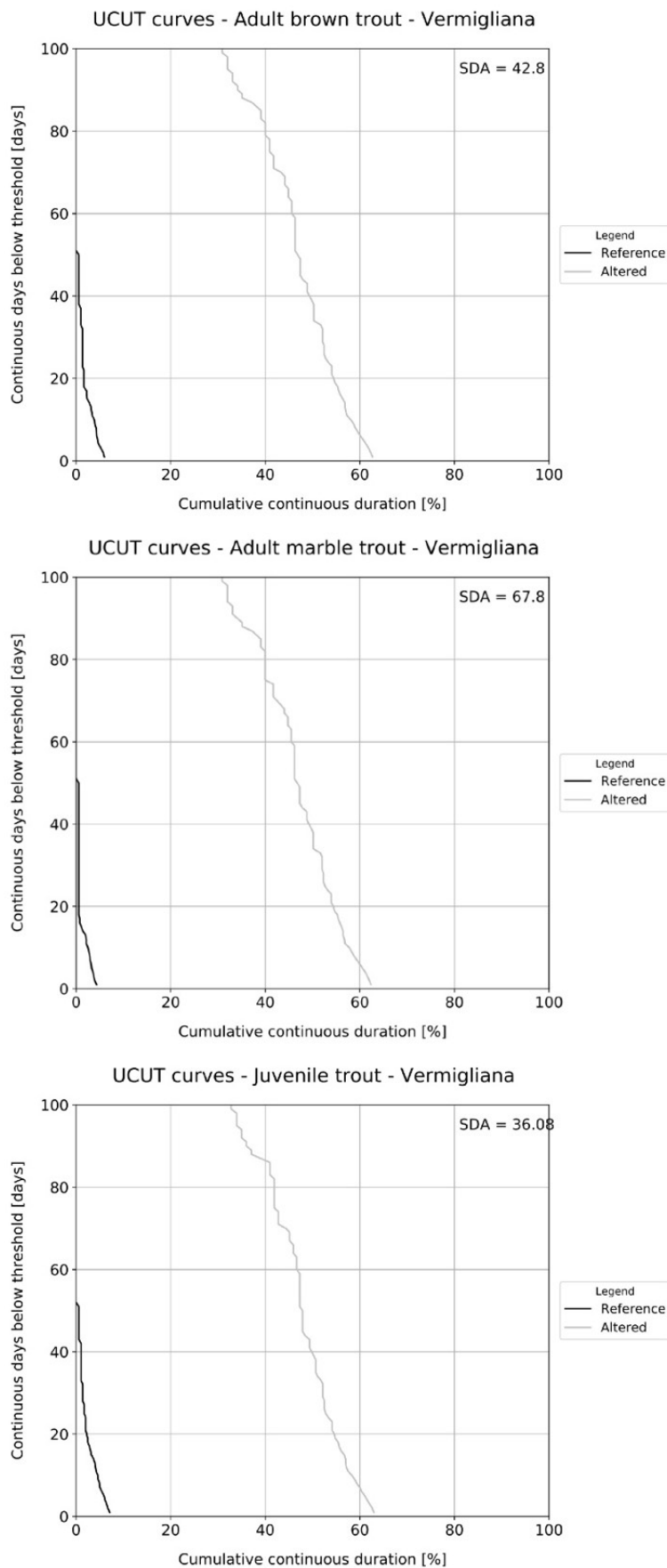


Fig. A.3.14: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

Regime DE

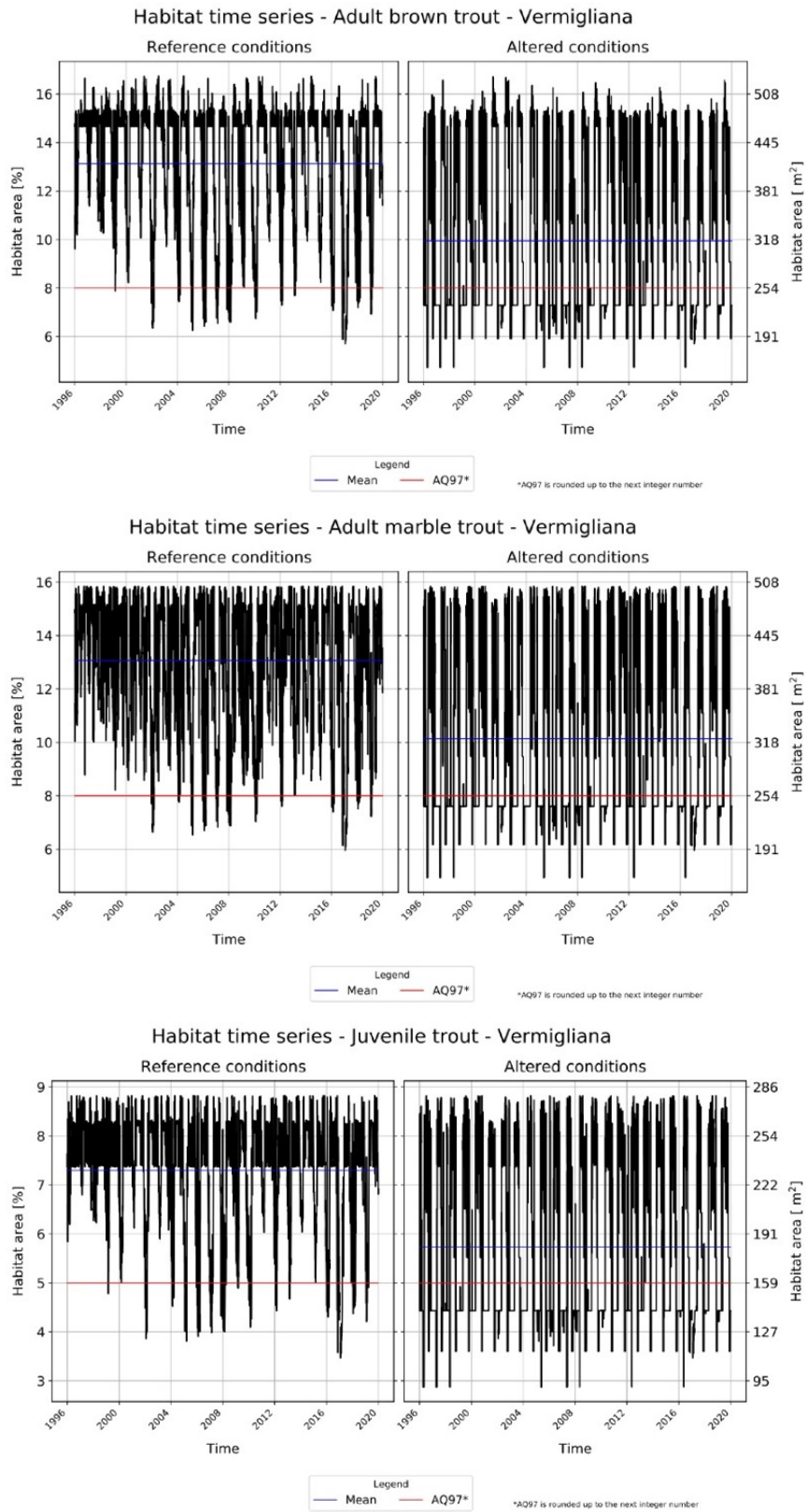


Fig. A.3.15: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

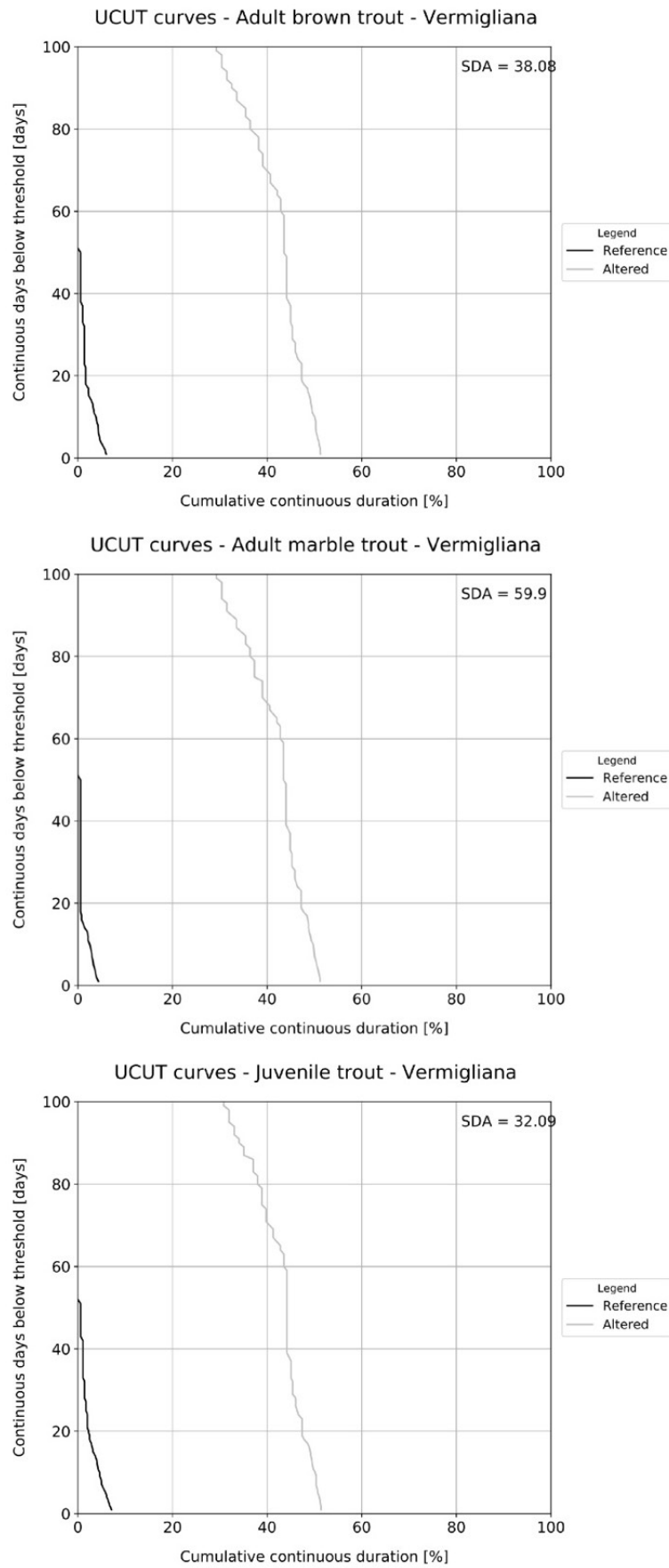


Fig. A.3.16: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

A.3.5. Rabbies

Regime DMV

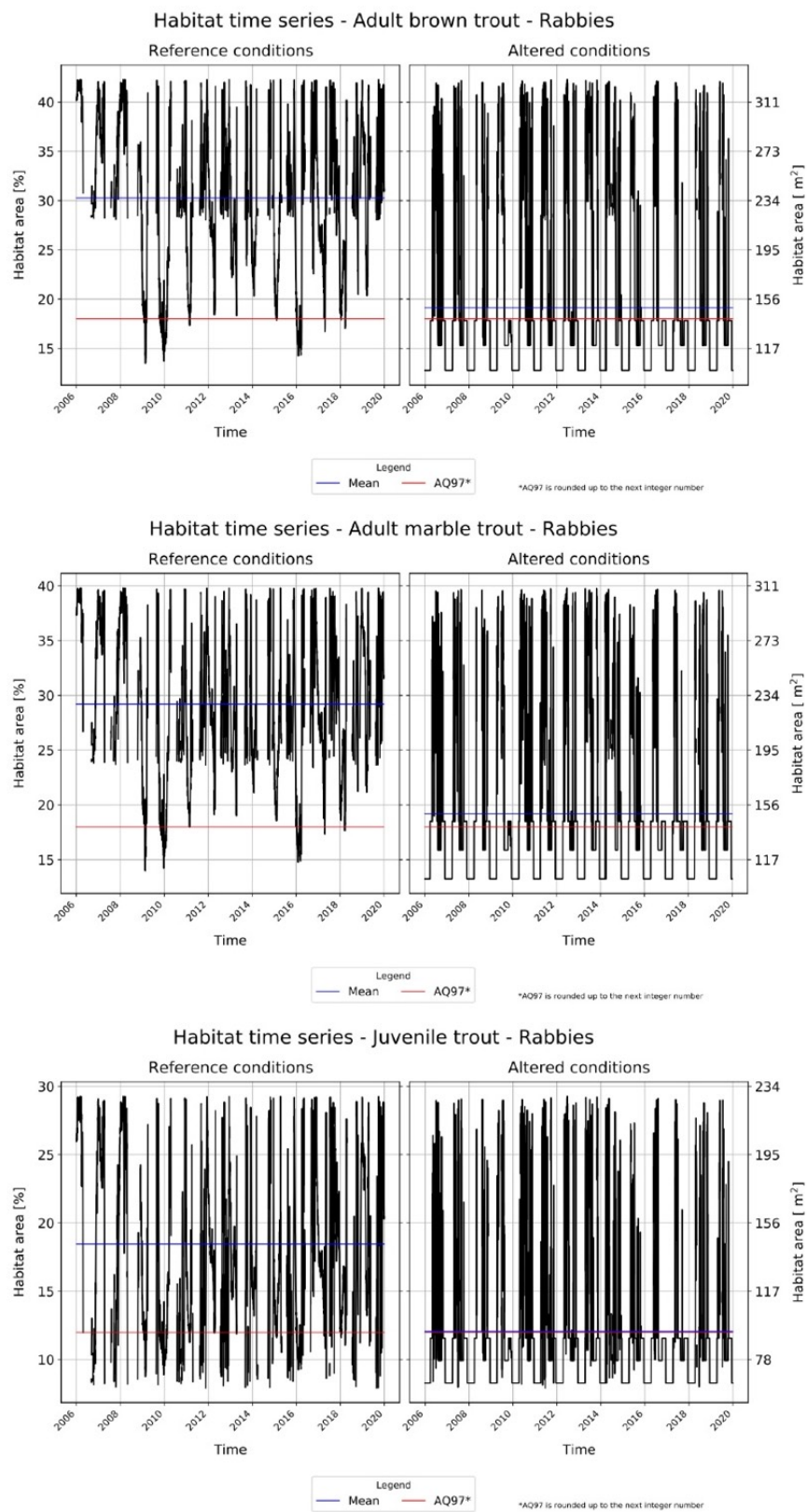


Fig. A.3.17: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

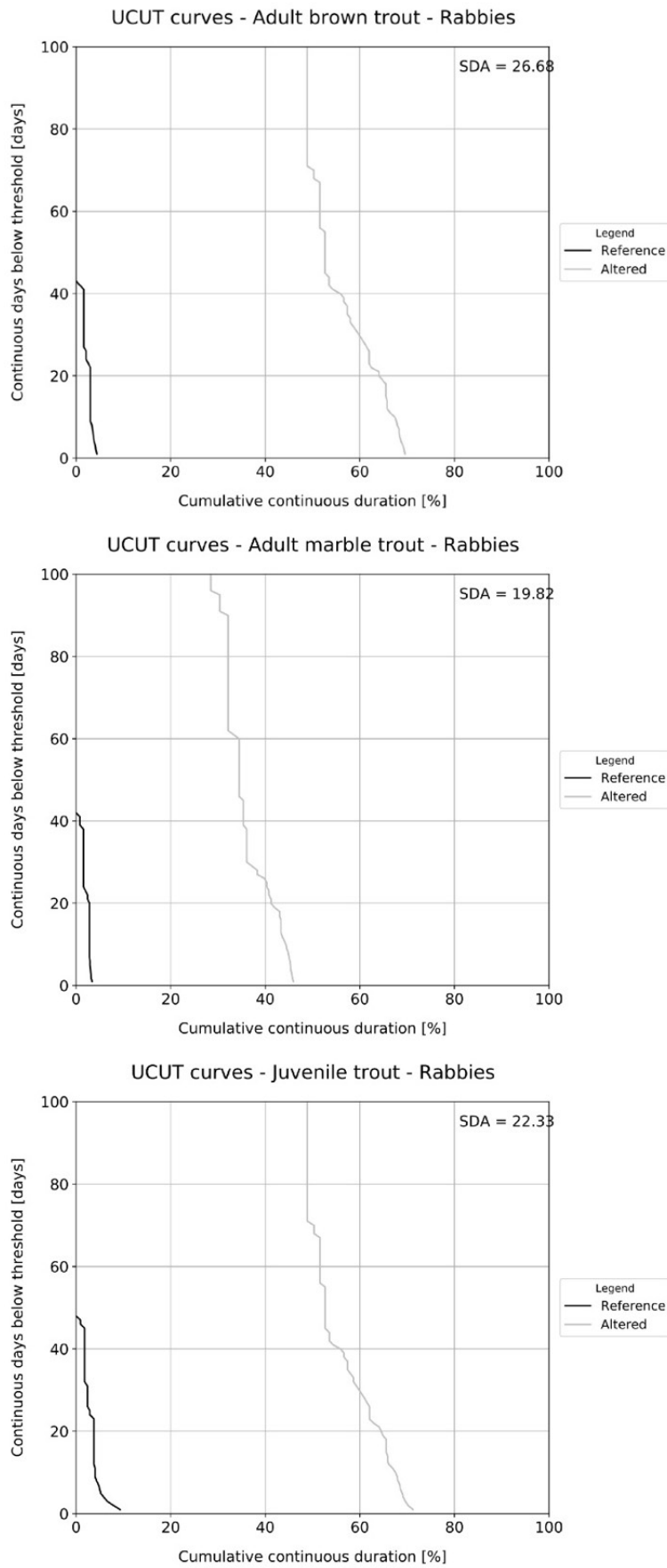


Fig. A.3.18: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

Regime DE

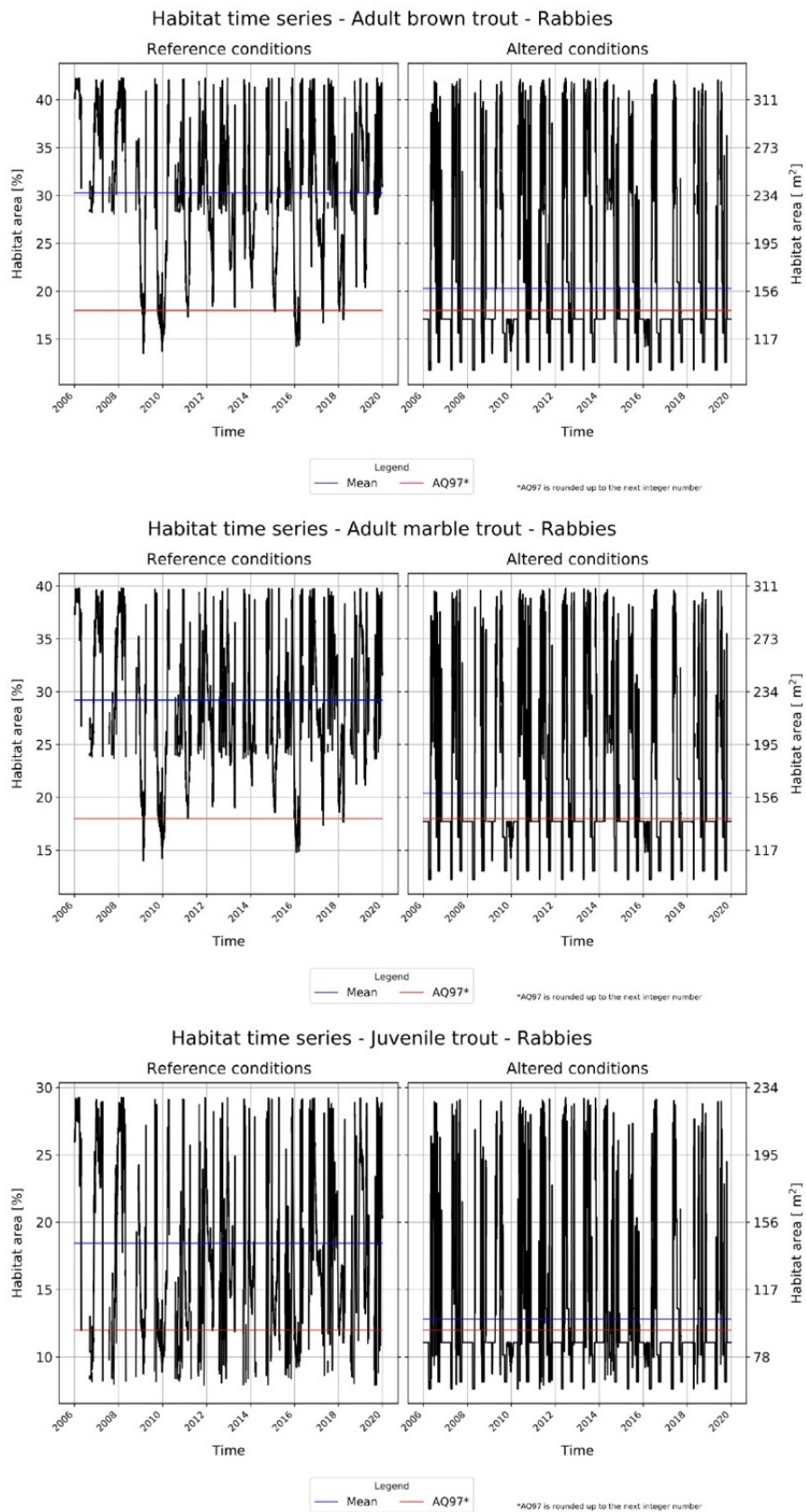


Fig. A.3.19: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

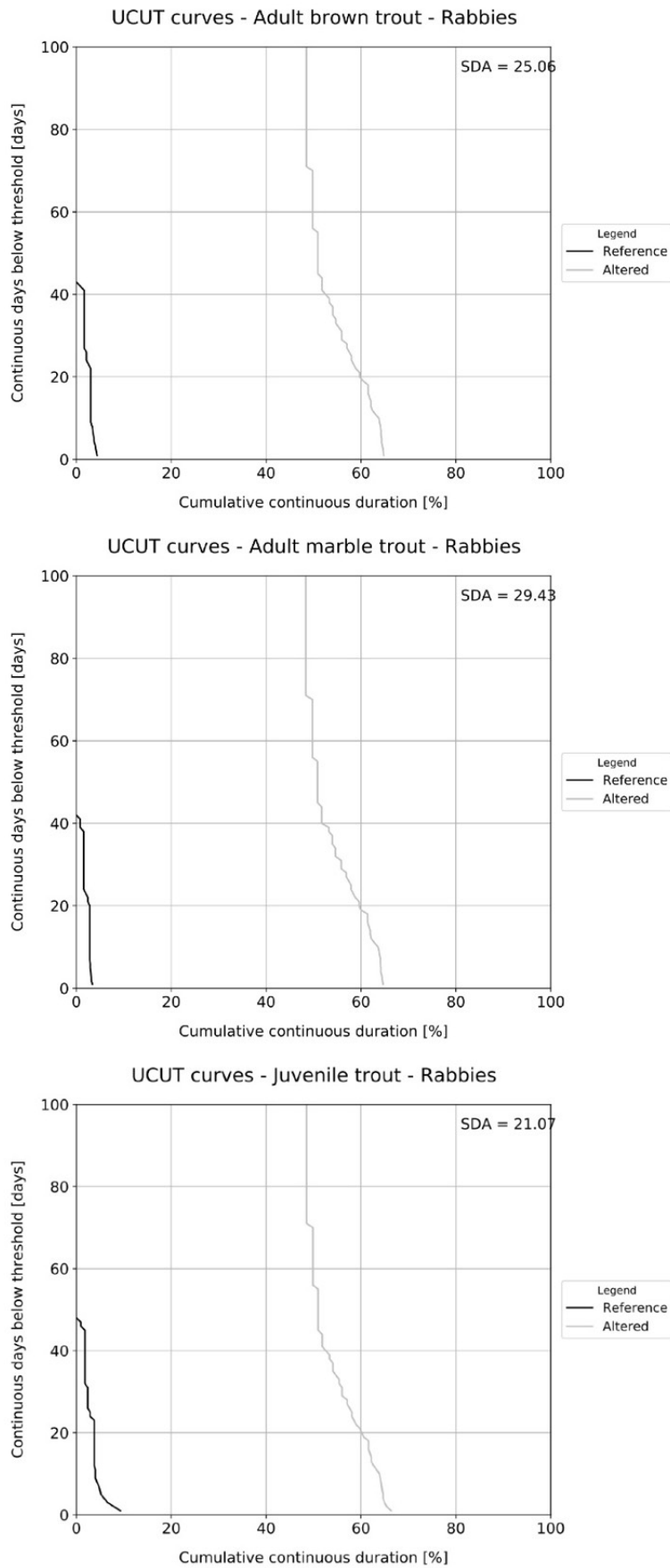


Fig. A.3.20: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

A.3.6. Vela

Regime DMV

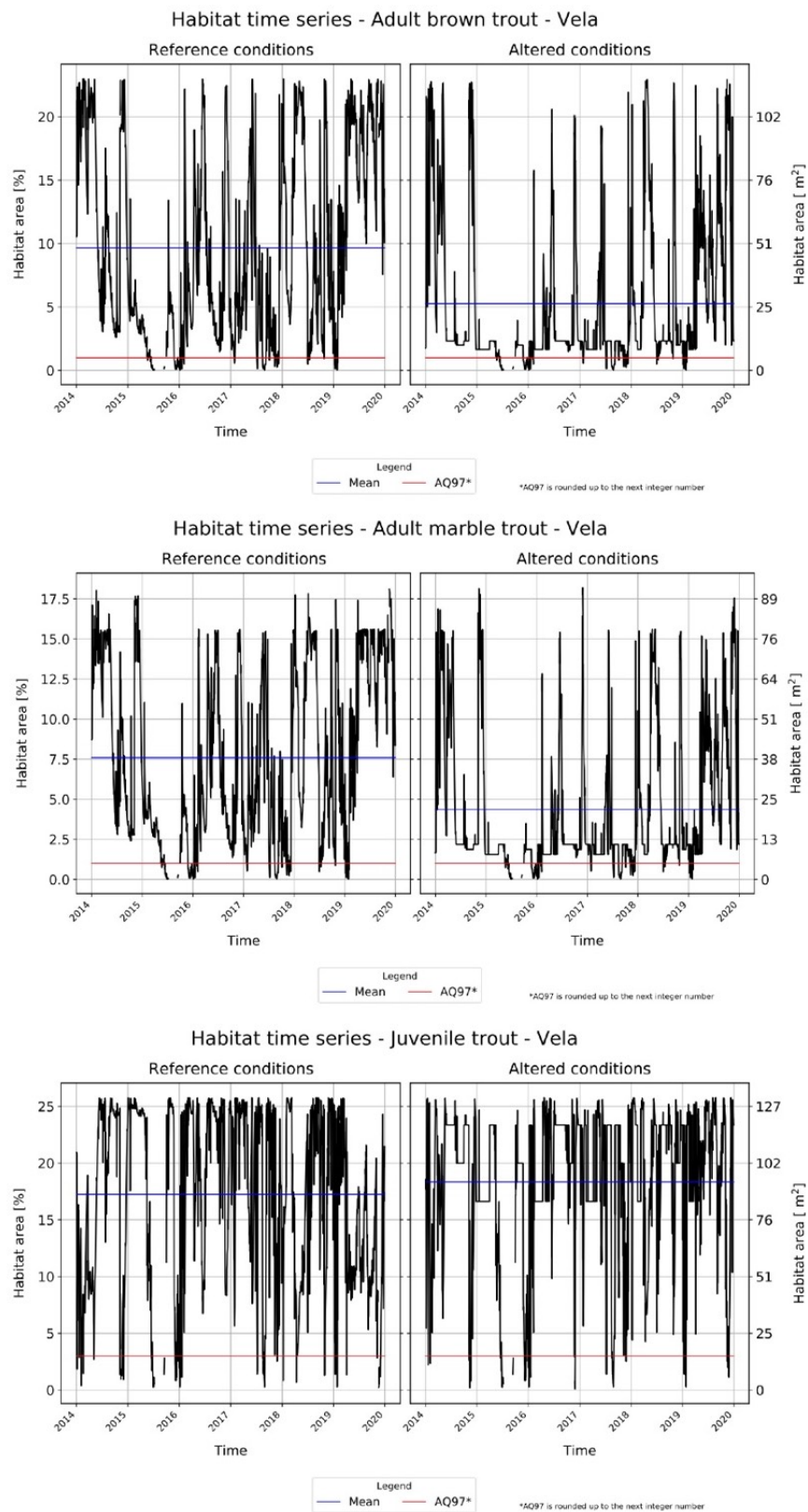


Fig. A.3.21: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

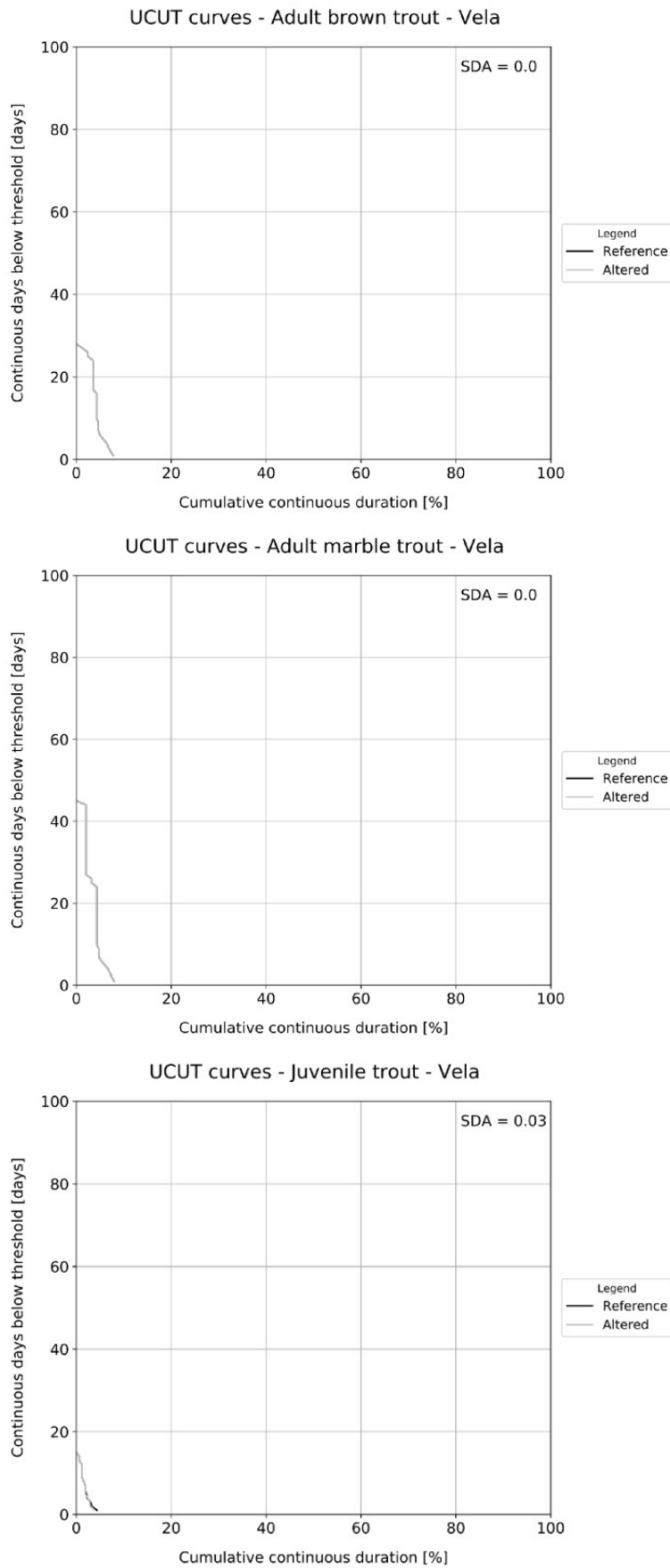


Fig. A.3.22: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

Regime DE

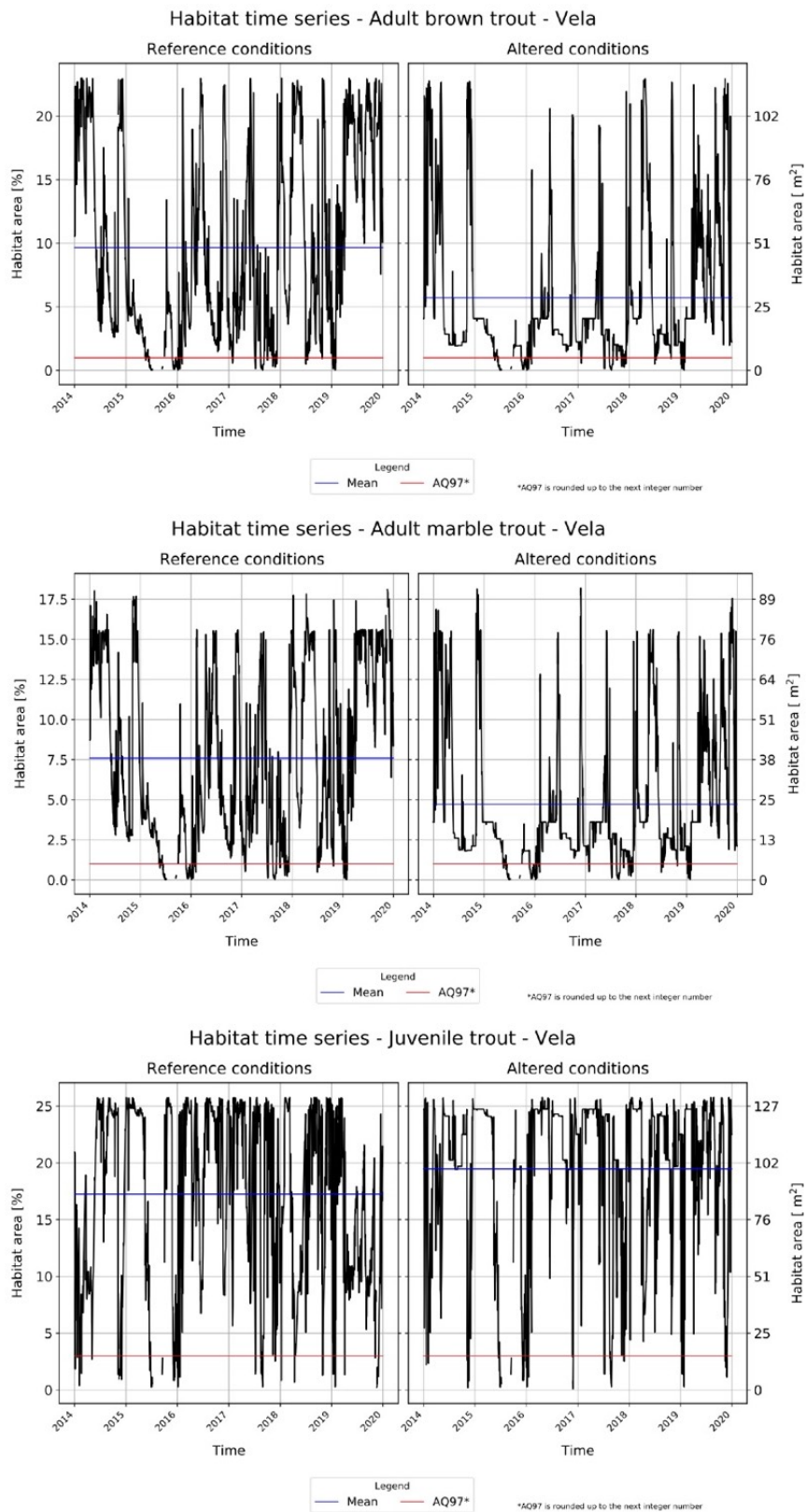


Fig. A.3.23: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

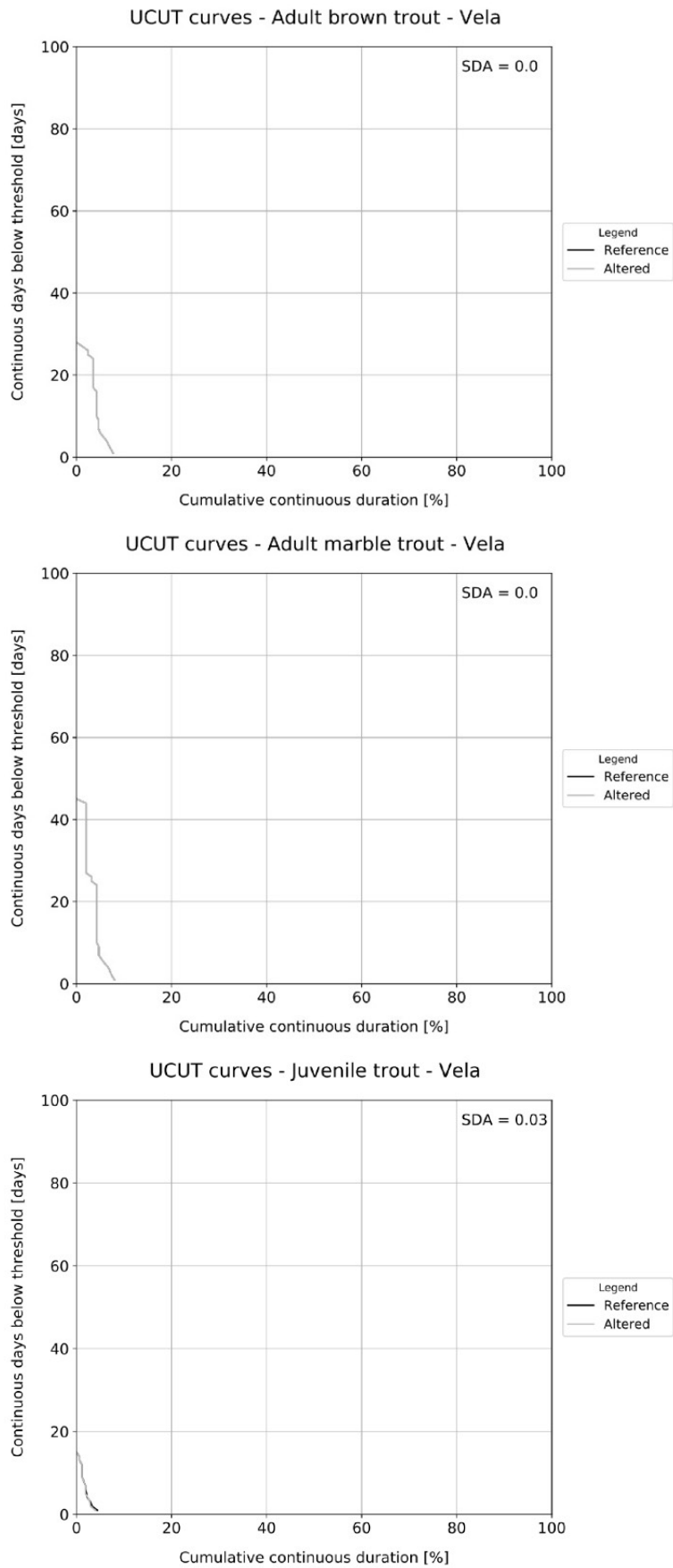


Fig. A.3.24: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

A.3.6. Rabiola

Regime DMV

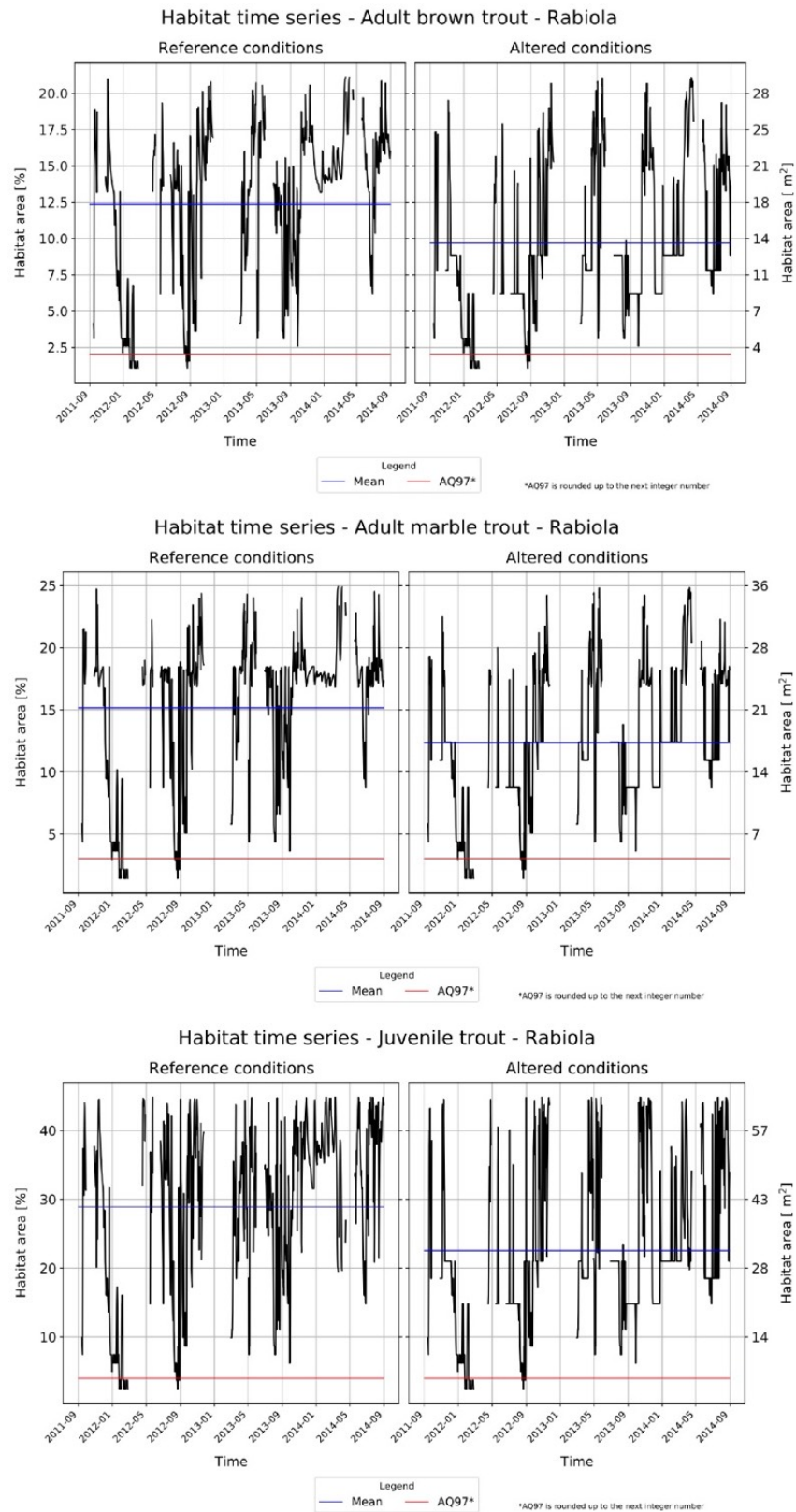


Fig. A.3.25: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

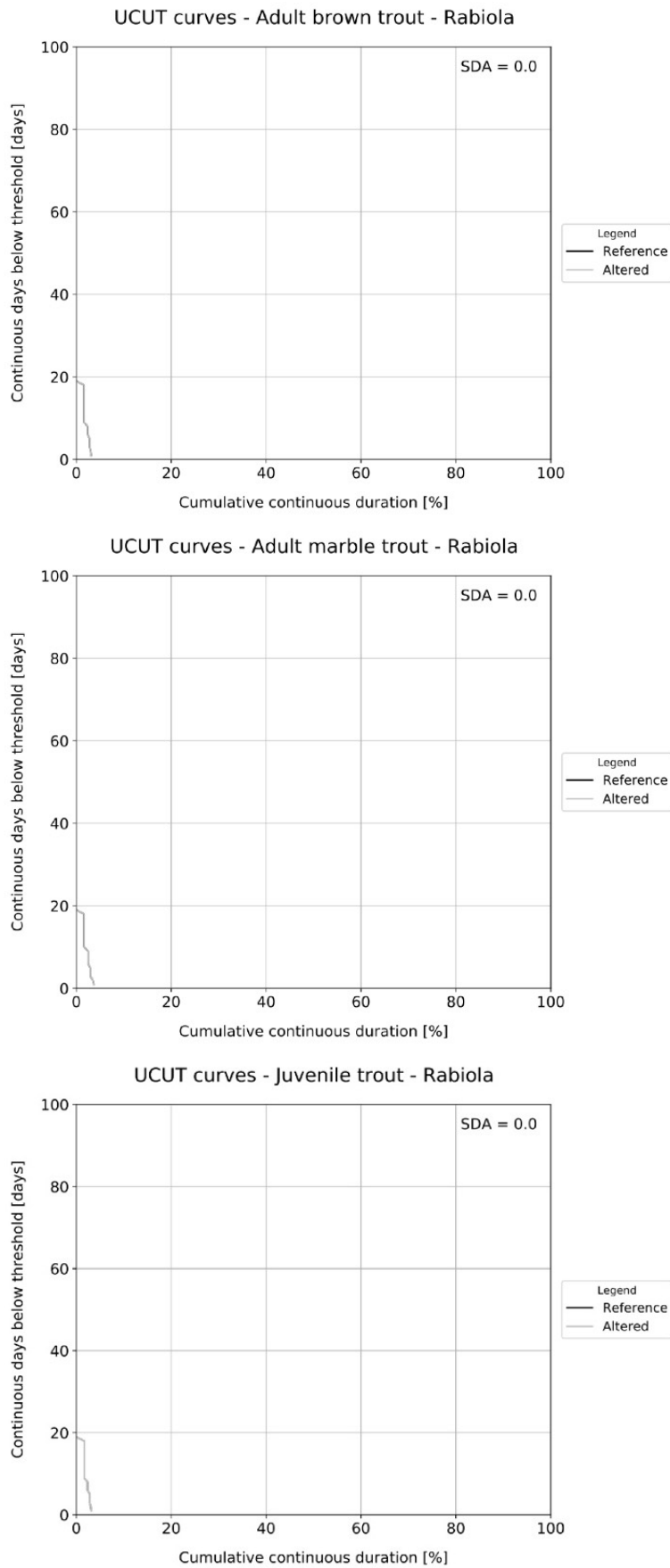


Fig. A.3.26: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DMV a confronto.

Regime DE

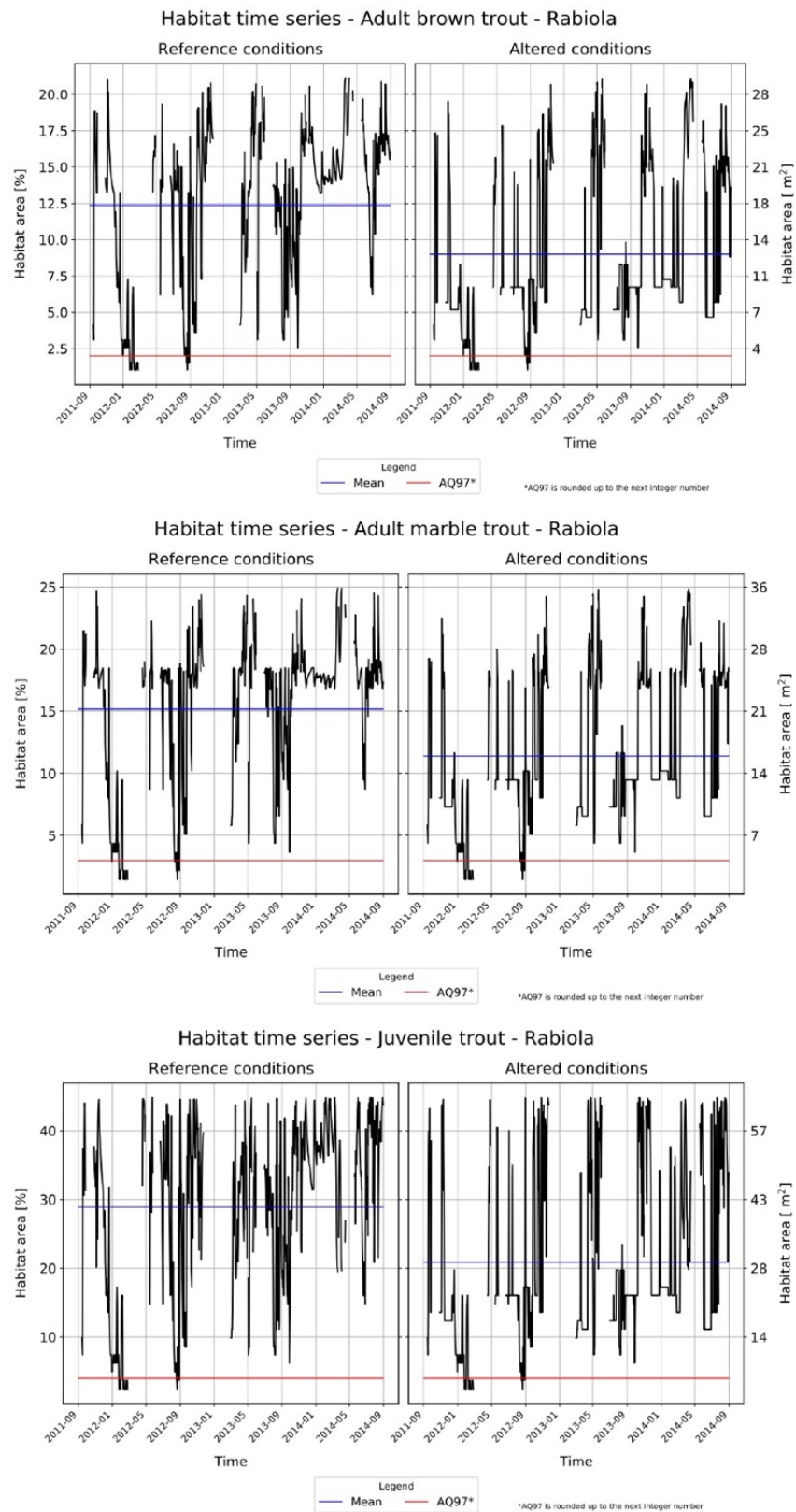


Fig. A.3.27: Serie di habitat. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

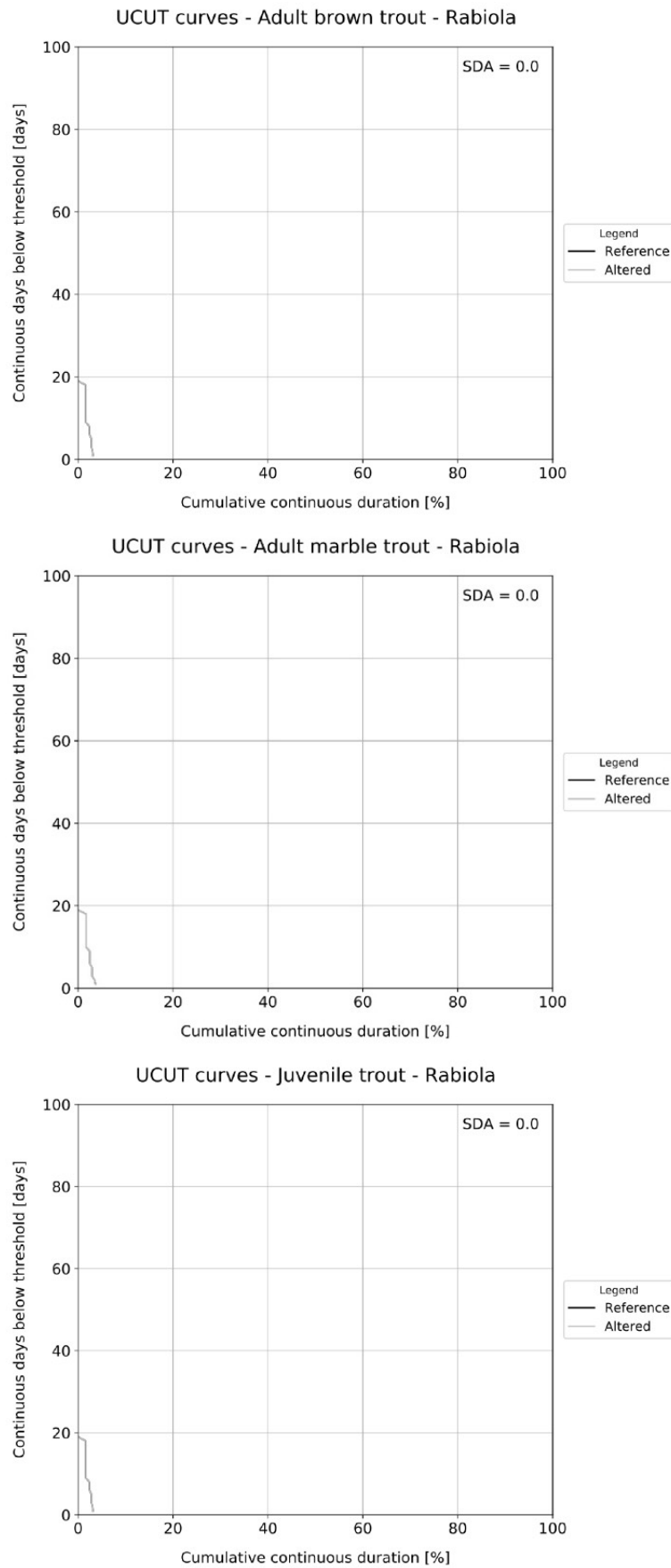


Fig. A.3.28: Curve UCUT. Scenario di riferimento e derivazione a regime DE a confronto.

A.3. Modelli biologici

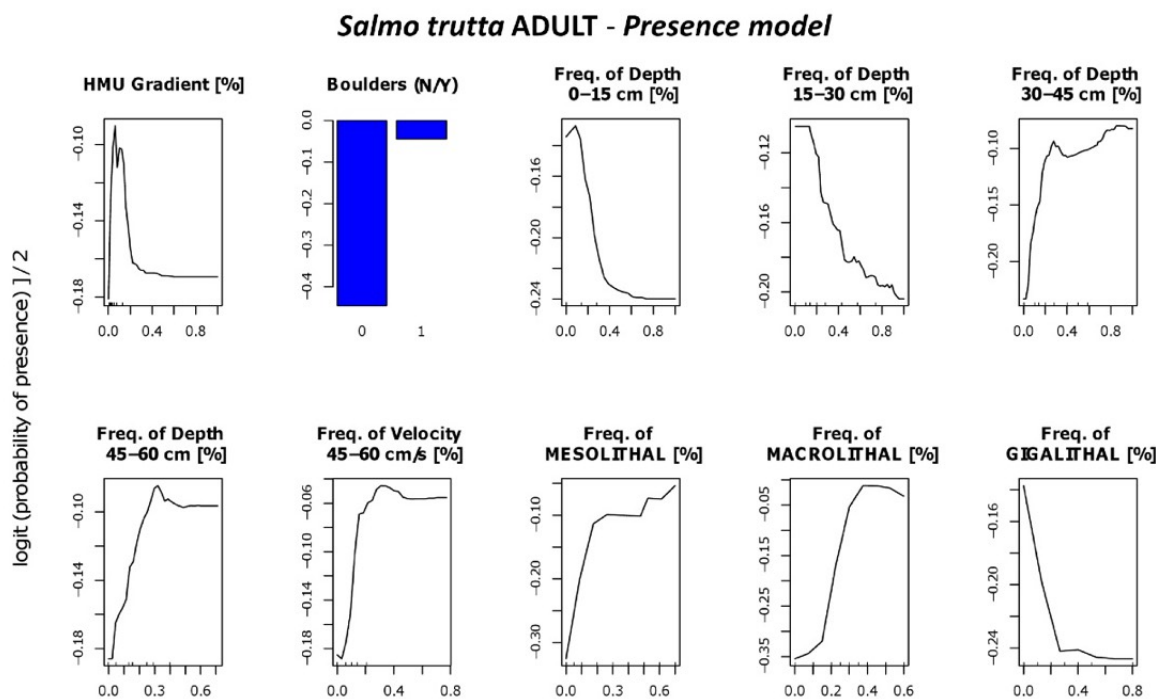


Fig. A.3.1: Partial Dependence Plots da modello Random Forest di presenza/assenza per la specie trota fario (adulta).

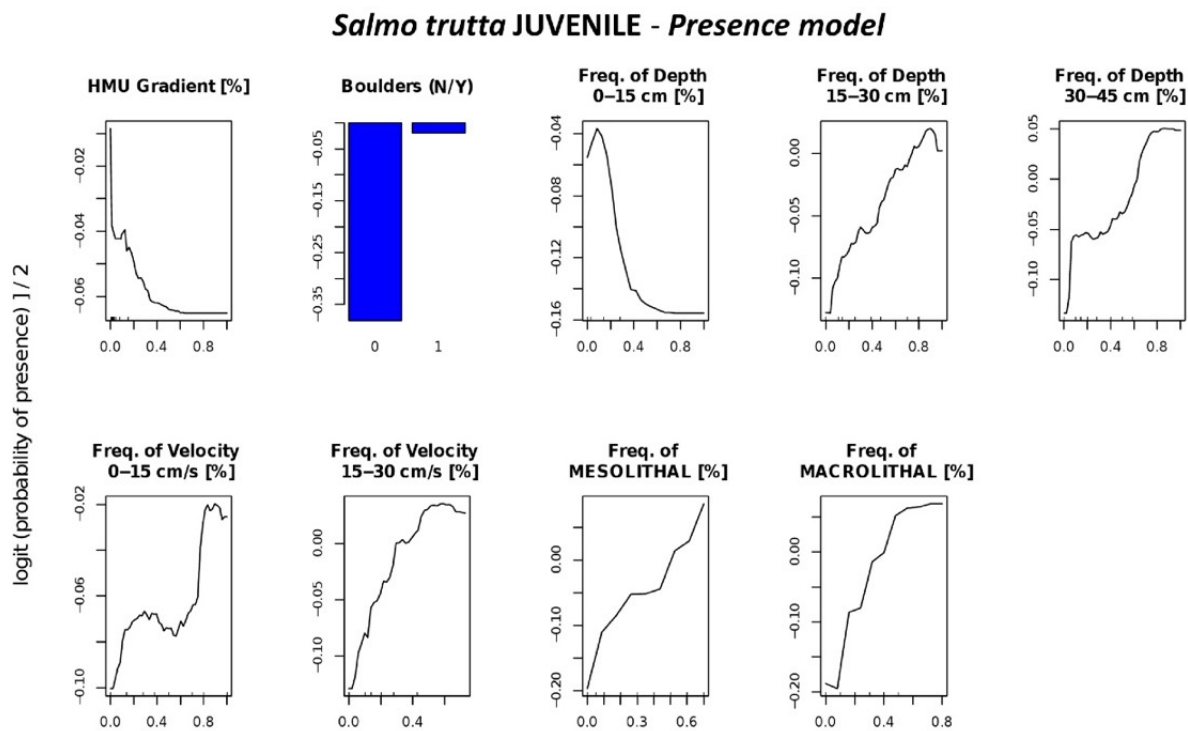


Fig. A.3.2 : Partial Dependence Plots da modello Random Forest di presenza/assenza per la specie trota (giovane).

Salmo marmoratus ADULT - Abundance model

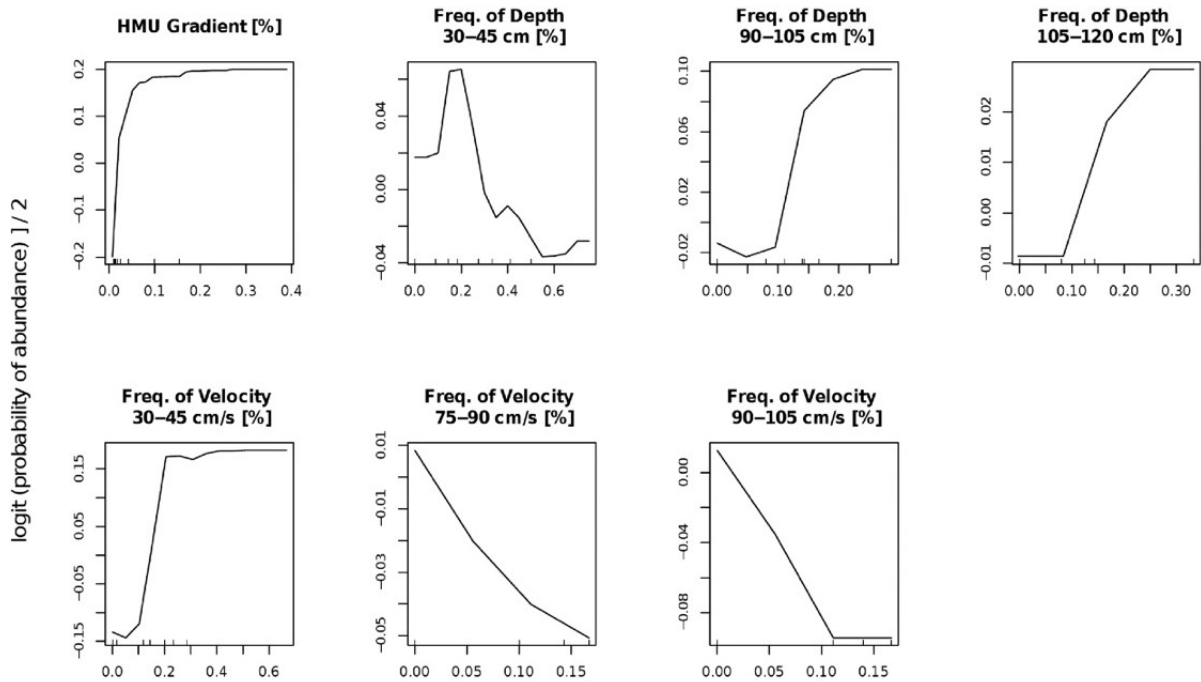


Fig. A.3.3: Partial Dependence Plots da modello Random Forest di presenza/abbondanza per la specie trota marmorata (adulta).

Salmo trutta ADULT - Abundance model

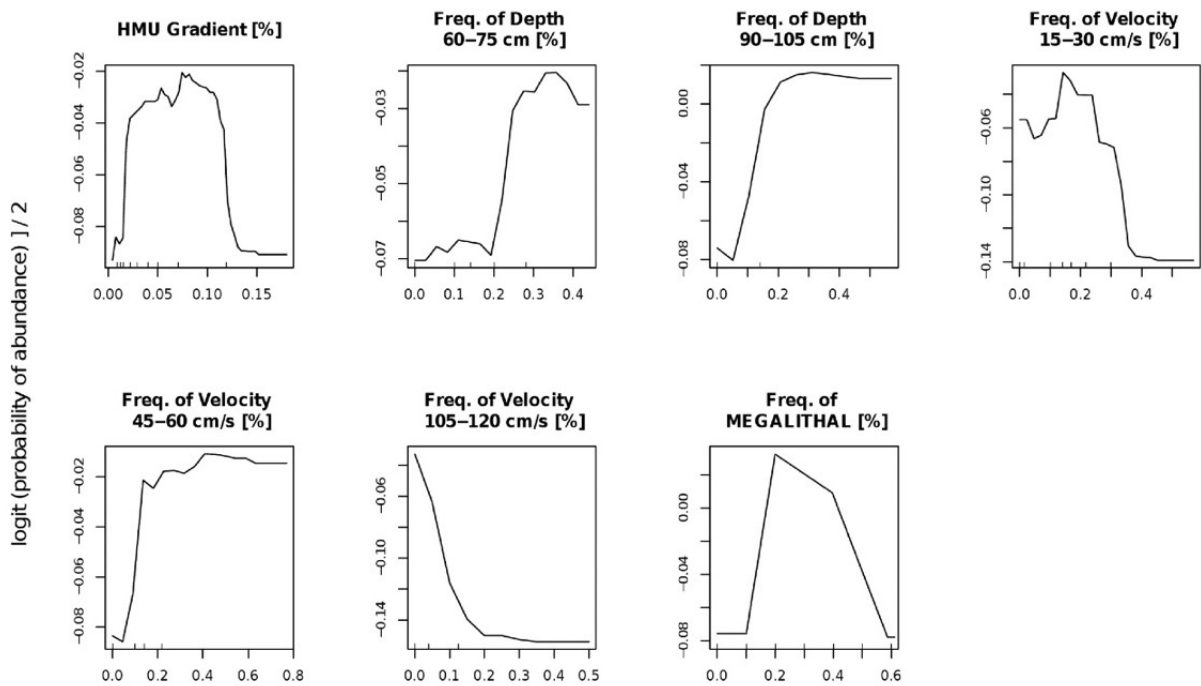


Fig. A.3.4: Partial Dependence Plots da modello Random Forest di presenza/abbondanza per la specie trota fario (adulta).

Salmo trutta JUVENILE - Abundance model

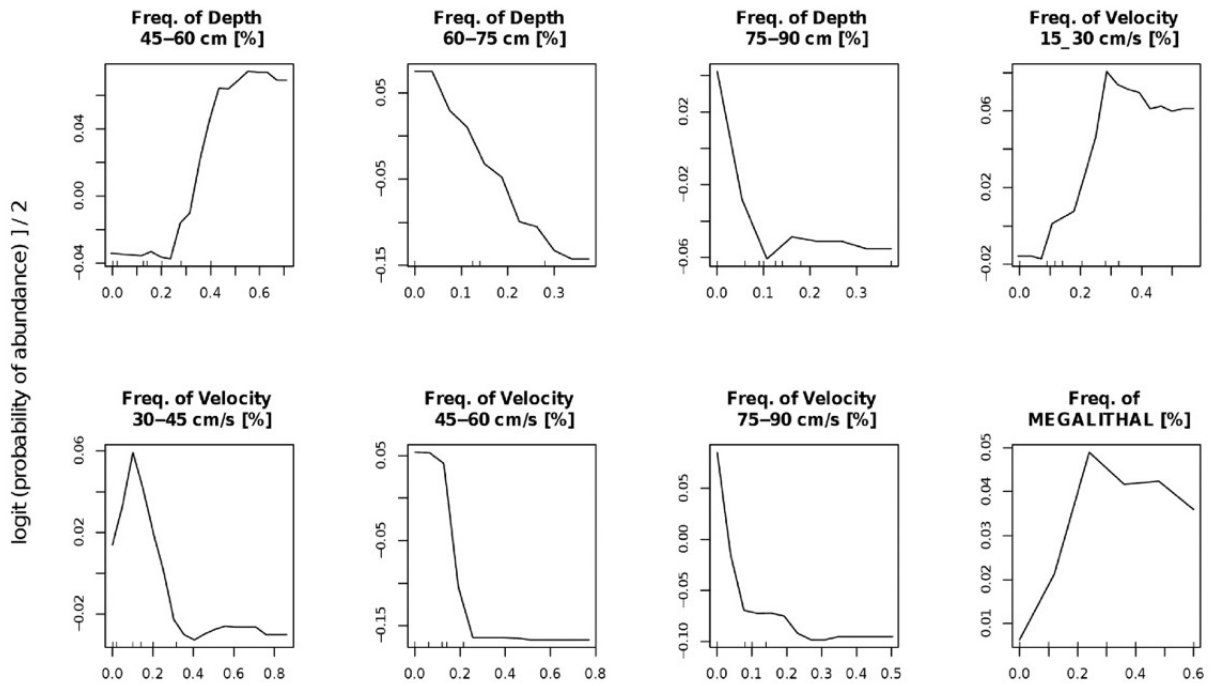


Fig. A.3.5: Partial Dependence Plots da modello Random Forest di presenza/abbondanza per la specie trota (giovane).