

# STUDIO AMBIENTALE SUL FIUME NOCE

---

*Quadro conoscitivo ambientale e identificazione di interventi volti alla realizzazione di un parco fluviale del fiume Noce in Val di Sole*

## RELAZIONE TECNICA

*Finanziato da:*



Comunità della  
**VALLE DI SOLE**

*Ad opera di:*



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI TRENTO**

**Dip. di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica**

Gruppo di Idraulica  
Ambientale e Morfodinamica – Trento



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



UNESCO Chair in  
Engineering for Human and  
Sustainable Development



**UNIVERSITY  
OF TRENTO - Italy**

FONDAZIONE EDMUND MACH



**ISTITUTO AGRARIO  
DI SAN MICHELE ALL'ADIGE**

**iR** **CENTRO RICERCA  
e INNOVAZIONE**  
Fondazione Edmund Mach



### ***Inquadramento dello studio***

Relazione tecnica conclusiva del progetto finalizzato a sviluppare un quadro conoscitivo ambientale e a identificare interventi volti alla realizzazione di un parco fluviale del fiume Noce in Val di Sole.

Il progetto ha avuto durata biennale (2011 – 2013) ed è stato finanziato dalla Comunità della Valle di Sole nell'ambito dell'Accordo di programma sottoscritto tra la Comunità stessa e la Provincia Autonoma di Trento nel 2011.

Le istituzioni responsabili dello studio sono: l'**Università degli Studi di Trento**, attraverso il *Gruppo di Idraulica Ambientale e Morfodinamica* del Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica e la *Cattedra UNESCO in Ingegneria per lo Sviluppo Umano e Sostenibile*; la **Fondazione Edmund Mach**, attraverso il *Centro Ricerca e Innovazione, Limnology and Stream Ecology Group, Sustainable Agro-Ecosystems and Bioresources Department*.

### ***Responsabili e autori dello studio:***

**Responsabili:** dr. Guido Zolezzi (Università di Trento); dr. Maria Cristina Bruno (Fondazione E. Mach)

**Hanno contribuito ai lavori e alla redazione:** Annunziato Siviglia, Mauro Carolli, Fabiano Carolli (Università di Trento); Bruno Maiolini (Fondazione E. Mach), Oscar Cainelli (Smart Hydrological Solution Srl), Paolo Veza (Politecnico di Torino e Universidad Politecnica de Valencia), Michele Spairani (FLUME Srl, Aosta)

# Indice

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
1.1	GUIDA ALLA LETTURA.....	5
1.2	CONTESTO .....	5
1.3	OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	7
1.4	STRUTTURA DELLA RELAZIONE.....	9
1.5	AREA DI STUDIO .....	9
1.6	IMPOSTAZIONE METODOLOGICA .....	13
<b>2</b>	<b>METODI.....</b>	<b>19</b>
2.1	ANALISI E MODELLAZIONE IDROLOGICA.....	19
2.2	MODELLAZIONE IDRAULICA UNIDIMENSIONALE .....	30
2.2.1	IL MODELLO IDRAULICO	30
2.2.2	TARATURA DEL COEFFICIENTE DI SCABREZZA.	33
2.3	MODELLAZIONE INTEGRATA DELL'HABITAT DELLA FAUNA ITTICA .....	37
2.3.1	MODELLAZIONE MATEMATICA	37
2.3.2	L'APPROCCIO A MESO-SCALA E L'ANALISI TEMPORALE DELLE SERIE STORICHE DI HABITAT	45
2.4	VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ AMBIENTALE.....	50
2.4.1	QUALITÀ ECOLOGICA	50
2.4.2	FAUNA ZOOBENTONICA E IPORREICA: PRECEDENTI PROGETTI DI RICERCA	60
2.4.3	QUALITÀ CHIMICO-FISICA	63
2.4.4	QUALITÀ IDROMORFOLOGICA	64
2.5	MORFODINAMICA FLUVIALE .....	68
2.6	MODELLAZIONE DELL'IDONEITÀ ALLA NAVIGAZIONE.....	71
<b>3</b>	<b>RISULTATI: DISPONIBILITÀ IDRICHE ATTUALI .....</b>	<b>75</b>
<b>4</b>	<b>RISULTATI: FUNZIONALITÀ AMBIENTALI.....</b>	<b>83</b>
4.1	QUALITÀ DELL'HABITAT PER LA FAUNA ITTICA.....	83
4.1.1	MODELLAZIONE MATEMATICA DELLA QUALITÀ DELL'HABITAT SULL'INTERO TRATTO	83
4.1.2	APPROCCIO A MESOSCALA E ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI HABITAT	88
4.2	QUALITÀ AMBIENTALE.....	99
4.2.1	QUALITÀ ECOLOGICA	99
4.2.2	FAUNA ZOOBENTONICA E IPORREICA	111
4.2.3	QUALITÀ CHIMICO FISICA	117
4.2.4	QUALITÀ IDROMORFOLOGICA	121
4.2.5	SINTESI SPAZIALMENTE DISTRIBUITA DEGLI INDICI ECOLOGICI E IDROMORFOLOGICI	127
4.3	MORFODINAMICA FLUVIALE .....	135

<b>5</b>	<b><u>RISULTATI: SERVIZI RICREATIVI E ACCESSIBILITÀ .....</u></b>	<b><u>143</u></b>
5.1	IDONEITÀ ALLA NAVIGAZIONE.....	143
5.2	ACCESSIBILITÀ IDROMORFOLOGICA.....	149
<b>6</b>	<b><u>ANALISI DI SCENARI FUTURI ED EFFETTI SUI SERVIZI ECOSISTEMICI .....</u></b>	<b><u>157</u></b>
6.1	RICERCA DI TREND STATISTICI NELLE SERIE STORICHE DI DISPONIBILITÀ IDRICA.....	157
6.2	SCENARI DI VARIAZIONE SUL BREVE PERIODO .....	163
6.3	EFFETTI DI PRELIEVI IDRICI IN ALVEO SU NAVIGABILITÀ E HABITAT PER LA FAUNA ITTICA .....	167
6.4	EFFETTO DEL MANTENIMENTO DI CONDIZIONI DI HABITAT E NAVIGABILITÀ SUL POTENZIALE DI PRODUZIONE IDROELETTRICA AD ACQUA FLUENTE .....	175
<b>7</b>	<b><u>INDICAZIONI GESTIONALI: VERSO IL PARCO FLUVIALE .....</u></b>	<b><u>178</u></b>
7.1	REGOLAZIONE DELLE PORTATE E CONVIVENZA FRA I FRUITORI.....	178
7.2	RIQUALIFICAZIONE IDROMORFOLOGICA .....	183
7.3	POTENZIAMENTO DELL'ACCESSIBILITÀ .....	186
7.4	ALTRE CONSIDERAZIONI E POSSIBILITÀ DI INTERVENTO NEL BACINO.....	187
<b>8</b>	<b><u>RINGRAZIAMENTI.....</u></b>	<b><u>190</u></b>
<b>9</b>	<b><u>BIBLIOGRAFIA.....</u></b>	<b><u>191</u></b>

# 1 Introduzione

## 1.1 Guida alla lettura

Il presente documento contiene la descrizione dettagliata degli studi e delle analisi effettuate per predisporre un quadro conoscitivo dello stato ambientale del fiume Noce in Val di Sole, con l'obiettivo di fornire un supporto alle decisioni mirate a promuoverne lo sviluppo sostenibile, anche attraverso la realizzazione di un Parco Fluviale. In questa Relazione Tecnica è riportata una descrizione analitica delle metodologie impiegate, dei risultati ottenuti e delle possibili implicazioni per la gestione sostenibile del fiume Noce in Val di Sole.

La presente Relazione Tecnica è stata concepita in modo da risultare di agevole lettura anche a chi non possieda una formazione specifica sulle metodologie eco-idrauliche, idrologiche, biologiche, morfodinamiche adottate, compatibilmente con la complessità delle tematiche affrontate. Il presente capitolo 1 fornisce infatti un inquadramento degli obiettivi, dell'area di studio, e delle metodologie impiegate; il conclusivo capitolo 7 riporta le indicazioni gestionali che scaturiscono dallo studio insieme a una sintesi descrittiva dei principali risultati ottenuti. La lettura di questi due capitoli è ritenuta sufficiente per una visione complessiva sugli elementi più salienti dello studio ambientale e delle conclusioni che ne derivano.

Il presente studio ambientale è stato svolto in coordinamento con la "Ricerca Socio Economica sul Fiume Noce", percorso partecipato che ha raccolto e analizzato idee, proposte e progetti dalle varie categorie economiche e sociali della Valle di Sole, per realizzare il Parco Fluviale del Noce in un'ottica di sviluppo condiviso.

## 1.2 Contesto

La denominazione di Parco Fluviale, istituita nella Provincia Autonoma di Trento attraverso la Legge Provinciale 27 del 27/3/2013, contiene un implicito riferimento alla nozione di sviluppo sostenibile, in grado di coniugare al meglio le esigenze degli attori del territorio e dell'ambiente in aree di pertinenza fluviale ritenute di particolare pregio ed interesse. La sostenibilità dello sviluppo in questo ambito richiede a sua volta il supporto di conoscenze approfondite dell'area fluviale di interesse e del bacino idrografico, che possano aiutare il decisore a comprendere i potenziali effetti delle possibili scelte di gestione del territorio.

Molte aree fluviali alpine sono caratterizzate dalla potenziale e spesso reale competizione fra molteplici interessi di uso dei corsi d'acqua e di fruizione dei relativi beni e servizi (Figura 1-1): ad esempio acqua per usi produttivi (produzione di energia idroelettrica, irrigazione di colture), supporto alla biodiversità, possibilità di attività ricreative quali discese in canoa, rafting, pesca sportiva e altri sport acquatici. Questa situazione pone gli enti competenti alle decisioni territoriali davanti a problemi complessi, le cui scelte richiedono una base di conoscenze e di strumenti di supporto in grado di prevedere gli effetti e le ripercussioni di ogni singola scelta sulla capacità del corso d'acqua e dell'ambiente fluviale di svolgere le funzioni di maggior rilievo per l'ambiente e per la società.



Figura 1-1 Schema illustrativo dell'uso multifunzionale di un tipico corso d'acqua alpino

Il Noce in Val di Sole è un classico esempio con notevoli elementi di valore dal punto di vista ambientale, ricreativo, paesaggistico e produttivo. Nella prospettiva di realizzare un Parco Fluviale, è dunque di cruciale importanza che la gestione del Noce e delle attività connesse possa essere orientata alla valorizzazione dei molteplici benefici e servizi che questo complesso sistema fluviale fornisce all'uomo e all'ambiente. La sfida che oggi la Val di Sole deve affrontare è dunque quella di considerare e conciliare tutte le diverse esigenze della popolazione, della natura e degli attori economici e del territorio, secondo una gestione armonica ed efficiente dell'area fluviale, da concretizzarsi nel progetto di Parco Fluviale. Tale immagine o valore guida richiede dunque la collaborazione fra gli attori del territorio per garantire la combinazione ottimale di beni e servizi che il Noce può fornire.

L'attualità di queste problematiche, non solo nell'arco Alpino ma a diverse scale in numerosi contesti internazionali, stimola da anni una ricerca scientifica sempre più orientata a comprendere le complesse dinamiche ambientali ed economiche toccate da queste decisioni e a fornire strumenti quantitativi in grado di dare supporto al decisore.

Ad oggi, tuttavia, non esistono nel panorama internazionale e nazionale metodologie consolidate per fornire le necessarie risposte quantitative. Per questo motivo il presente studio ha integrato metodologie già esistenti e previste a livello normativo con strumenti direttamente mutuati dalle ricerche scientifiche più recenti in corso sull'argomento, attraverso la collaborazione interdisciplinare di un team di esperti nell'ambito dell'idraulica, idrologia, biologia, ecologia e morfodinamica fluviale. Questo ha consentito innanzitutto di predisporre un quadro conoscitivo dello stato attuale dei beni e servizi offerti dal Noce che sono stati individuati come prioritari anche in base alle indicazioni della Ricerca Socio-Economica. Lo studio ha consentito inoltre di fornire indicazioni quantitative di come molti di questi beni e servizi possano cambiare a seconda di ipotetici scenari futuri di regolazione del regime delle portate in alveo, da cui molti di essi sono strettamente dipendenti.

L'integrazione delle metodologie impiegate costituisce complessivamente un approccio innovativo a livello nazionale e in parte anche internazionale al problema dell'uso multifunzione di un corso d'acqua Alpino. Tale approccio è stato sviluppato anche nell'ottica di poter essere facilmente replicabile anche in altri contesti con i dovuti accorgimenti.

### 1.3 Obiettivi dello studio

L'obiettivo generale del presente studio ambientale è duplice:

- 1) delineare possibili interventi per la gestione sostenibile del Noce in Val di Sole, nell'ottica della creazione di un Parco Fluviale.
- 2) sviluppare una metodologia di supporto alle decisioni il più possibile quantitativa, basata sulle acquisizioni più recenti della ricerca scientifica interdisciplinare, e facilmente replicabile ad altri contesti.

Al fine di raggiungere tali obiettivi, nella fase di proposta dello studio ambientale sono stati inizialmente individuati cinque obiettivi specifici. Sono riportati nel seguito, unitamente all'indicazione del loro legame con la struttura finale della Relazione Tecnica e con la Ricerca Socio-Economica.

#### 1. Definire un' "immagine guida" e gli obiettivi degli interventi di riqualificazione

Gli elementi principali dell'"immagine guida", finalizzata a orientare lo sviluppo sostenibile del Noce secondo obiettivi realizzabili e di interesse per gli attori del territorio, sono emersi principalmente nell'ambito della Ricerca Socio-Economica, svolta in parallelo al presente studio. Integrando quanto emerso dalla Ricerca Socio-Economica con le indicazioni ricevute dalla Comunità della Valle di Sole nella fase di avvio, i principali elementi di attenzione per lo studio ambientale sono risultati essere, in estrema sintesi: la convivenza fra i fruitori, la qualità delle acque, l'esigenza di valorizzare maggiormente molti tratti del fiume.

Per questi motivi sono stati scelti come ambiti prioritari su cui fornire indicazioni gestionali: la gestione delle portate in alveo, tenendo conto delle tendenze climatiche nel futuro e di possibili opzioni legate al futuro sfruttamento per scopi idroelettrici / irrigui dell'asta principale del Noce; le possibilità di riqualificazione idromorfologica a fini di miglioramento della qualità dell'habitat e dell'aumento di zone di calma per le attività ricreative; le possibilità di miglioramento dell'accessibilità del Noce per una sua maggiore valorizzazione; la qualità biologica, chimico-fisica ed ecologica delle acque. I principali servizi ecosistemici esaminati sono stati di conseguenza il supporto alla biodiversità (rappresentato attraverso la qualità dell'habitat acquatico per una specie ittica target e attraverso indici di qualità ecologica, biologica, idromorfologica), il supporto ad attività ricreative; la produzione idroelettrica. I collegamenti fra i servizi ecosistemici esaminati e gli ambiti su cui il presente studio fornisce indicazioni gestionali sono riportati nel capitolo 1.6.

## **2. Conoscere e predire quantitativamente la distribuzione spazio-temporale della risorsa idrica nel corso d'acqua, in risposta a diversi scenari di utilizzo**

La conoscenza della disponibilità idrica in alveo allo stato attuale e in relazione a possibili scenari futuri è la componente che sta alla base di quasi tutta l'analisi svolta nel presente lavoro, dove la maggior parte dei beni e servizi esaminati hanno una forte dipendenza dal regime delle portate. Attraverso la metodologia descritta nel capitolo 2.1 sono state innanzitutto analizzate le disponibilità idriche attuali del tratto prioritario del fiume Noce (definito al capitolo 1.5); l'analisi idrologica e l'uso di modelli matematici avanzati hanno consentito di delineare possibili scenari futuri di disponibilità idriche in alveo che tengono in conto di modifiche dell'attuale regime idrologico dovute a cause antropiche e climatiche. I risultati sono descritti nei capitoli 3 (disponibilità attuali) e 6 (scenari futuri).

## **3. Conoscere quantitativamente i processi idro-eco-morfodinamici che controllano le funzioni associate all'immagine guida.**

I beni e servizi che il Noce è in grado di fornire, rivelatisi di maggiore interesse per gli attori del territorio, sono legati a processi complessi di tipo idrologico, idraulico, morfodinamico, biologico ed ecologico. Questa parte centrale dello studio è stata dunque dedicata a sviluppare un quadro conoscitivo di tali processi attraverso un approccio quantitativo, dove la modellazione matematica è stata integrata con l'analisi di dati e informazioni in parte già esistenti e in parte rilevati sul terreno *ad hoc*. In particolare, le analisi si sono focalizzate sui seguenti aspetti specifici: qualità ecologica, chimico-fisica e idromorfologica attuale; qualità dell'habitat fluviale per la fauna ittica e idoneità alla navigazione secondo scenari di disponibilità idrica attuali e futuri; caratteristiche dell'evoluzione morfodinamica; quantificazione dell'accessibilità fisica al corso d'acqua per scopi ricreativi. I metodi utilizzati sono descritti nel capitolo 2; i risultati delle analisi sono riportati nei capitoli 3 (disponibilità idriche attuali), 4 (analisi delle funzionalità ambientali) e 5 (analisi dei servizi ricreativi).

## **4. Sviluppare un pacchetto di possibili interventi per la gestione dell'area fluviale.**

Lo studio svolto ha consentito di quantificare, su base statistica, i potenziali effetti di differenti scenari futuri di gestione sui principali servizi ecosistemici – ambientali, ricreativi e produttivi – prioritari per il fiume Noce (capitolo 6). Da questa conoscenza scaturisce una serie di indicazioni sulla gestione delle portate in alveo e alla convivenza fra i fruitori, sulle possibilità di riqualificazione idromorfologica, sulla valorizzazione dell'accessibilità a fini ricreativi e sul miglioramento della qualità ecologica. Le indicazioni gestionali elaborate sono riportate nel capitolo 7.

## **5. Garantire la diffusione pubblica delle informazioni**

Al fine di garantirne la diffusione dei risultati lo studio è stato presentato durante l'avanzamento dei lavori in incontri pubblici in Val di Sole e in occasione di incontri tecnici con gli attori coinvolti nel processo partecipato e con i servizi competenti della Provincia Autonoma di Trento. Il coordinamento mantenuto con i responsabili della Ricerca Socio-Economica e con la Comunità di Valle ha consentito di mantenere un costante collegamento fra lo studio ambientale e le esigenze del territorio. Le conoscenze prodotte sono disponibili e utilizzabili anche in futuro per la realizzazione di campagne di informazione, sensibilizzazione e in generale di sistemi informativi sul fiume Noce fruibili dal pubblico.



## 1.4 Struttura della Relazione

La Relazione Tecnica è strutturata come segue:

1. **Introduzione:** inquadra il contesto in cui lo studio si inserisce, ne definisce obiettivi e struttura, descrive l'area di studio e i focus prioritari, presenta l'approccio adottato e in particolare come sono state integrate differenti metodologie, sia standard che innovative, per esprimere indicazioni gestionali relativi ai servizi ecosistemici scelti come prioritari.
2. **Metodi:** sono descritti nel dettaglio i singoli componenti della metodologia integrata adottata nello studio, con un maggiore approfondimento sui metodi direttamente ricavati dalle più recenti acquisizioni della ricerca scientifica.
3. **Risultati: disponibilità idriche attuali:** riporta i risultati delle analisi e della modellazione idrologica riferita alle condizioni attuali. L'analisi è svolta su dati a scala giornaliera e sub-giornaliera, per tenere conto dei deflussi discontinui (o "hydropeaking") associati alla produzione idroelettrica.
4. **Risultati: funzionalità ambientali:** sono riportati i risultati relativi allo stato ambientale del Noce, in particolare a quegli elementi che costituiscono i servizi di supporto alla biodiversità: qualità dell'habitat per la fauna ittica, indici di qualità chimico-fisica, ecologica e idromorfologica, tendenze legate alla morfodinamica fluviale.
5. **Risultati: servizi ricreativi e accessibilità:** descrive i risultati relativi ai principali servizi di natura ricreativa, quali la navigabilità e l'accessibilità del fiume. Benché non esplicitamente menzionata, l'attività di pesca sportiva è anche uno dei principali servizi ricreativi: per questo sono da considerarsi congiuntamente i risultati relativi all'accessibilità e alla qualità dell'habitat per la fauna ittica riportata nel Capitolo 4.
6. **Analisi di scenari futuri ed effetti sui servizi ecosistemici:** vengono riportate le analisi degli scenari futuri di disponibilità idriche in risposta a diverse scelte di gestione del corso d'acqua e i relativi effetti attesi sulla qualità dell'habitat per la fauna ittica e sulla navigabilità.
7. **Indicazioni gestionali: verso il Parco Fluviale:** sulla base dello stato attuale e degli scenari futuri discussi nei capitoli precedenti sono riportate le indicazioni per una gestione sostenibile del Noce, in particolare in relazione alla convivenza fra i fruitori, alla qualità delle acque e alla valorizzazione di molti tratti del fiume a scopo ricreativo.

## 1.5 Area di studio

Il torrente Noce nasce in due rami, il torrente Noce Nero, ed il torrente Noce Bianco. Il Noce Nero nasce in Val di Pejo sul Corno dei Tre Signori a quota 3360 m, dopo 15 km forma il lago artificiale di Pian Palù. Il Noce Bianco nasce come torrente glaciale dal fronte della Vedretta de la Mare, alla quota di 2710 m s.l.m., e dopo circa due chilometri arriva in Pian Venezia dove, alla quota di 2270 m s.l.m., riceve le acque del rio Larcher, un torrente originato da nevai e falde freatiche, per poi proseguire la sua corsa verso valle in direzione del paese di Cogolo, dopo aver ricevuto circa 10 km a valle le acque del Rio Careser, che discende dal bacino artificiale del Careser. Dopo Cogolo, il fiume prende il nome Noce, e scorre lungo la Val di Sole e

la Val di Non e sfocia nel fiume Adige nei pressi dell'abitato di Zambana. Lungo il suo tragitto il Noce riceve vari affluenti: a Fucine di Ossana riceve le acque del torrente Vermigliana e nei pressi di Cusiano quello del Rio Fos. A Pellizzano riceve le acque del Rio Fos de Fazzon e in linea con la frazione di Castello riceve le acque del Rio Corda e poco più avanti quelle della Val Usàia. Tra Mezzana e Commezzadura riceve le acque di vari torrenti minori, a Dimaro riceve le acque del Meledrio e tra Malè e Terzolas quelle del torrente Rabbies. Alla fine della Val di Sole, all'altezza dell'abitato di Livo, riceve le acque del rio Barnés, per poi scendere impetuoso fino al Lago Santa Giustina in cui confluiscono anche le acque dei torrente Pescara, Novella e San Romedio, mentre la Tresenica confluisce a valle della diga di Santa Giustina, nei pressi di Tuenno. Alla fine della Val di Non il Noce riceve il torrente Sporeggio nei pressi di Crescino.

Il suo bacino, chiuso alla confluenza con il fiume Adige presso Zambana (Figura 1-2 a) è costituito principalmente dai territori della Val di Sole e della Valle di Non prima di entrare nella Valle dell'Adige; ha un'estensione di 1367 km<sup>2</sup>, di cui 1306 km<sup>2</sup> compresi all'interno della provincia di Trento. L'asta principale è lunga circa 105 km.

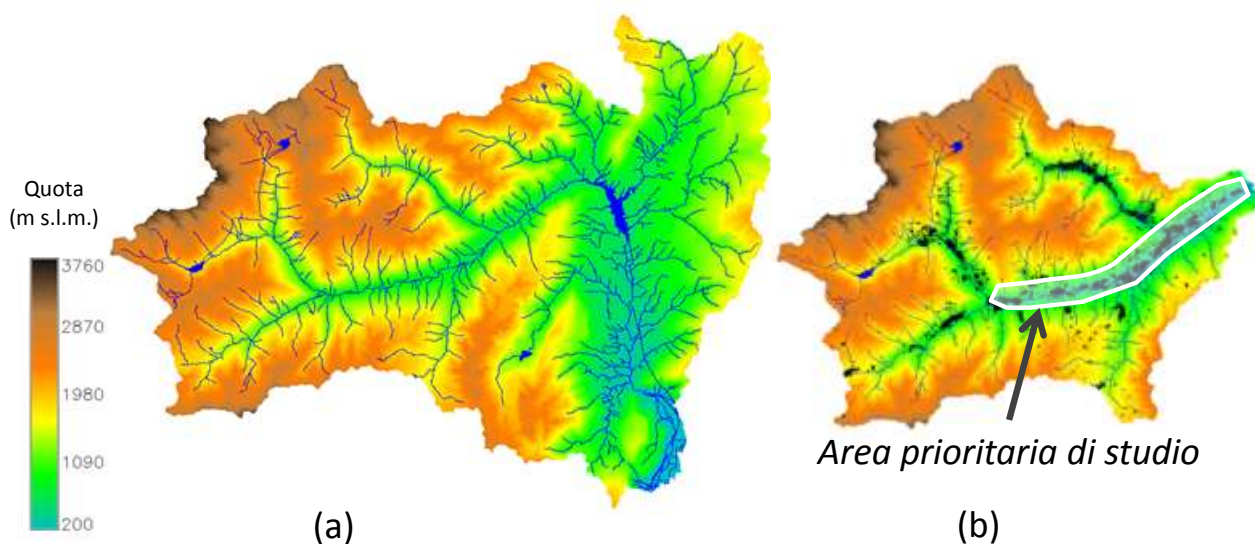


Figura 1-2(a) Reticolo idrografico principale e altimetria del bacino del Noce. (b) Sottobacino del Noce corrispondente all'area generale di studio (Val di Sole) e l'area prioritaria di studio dell'asta di fondovalle; in nero sono rappresentati gli insediamenti.

Lo studio si è focalizzato sul Fiume Noce in Val di Sole. Coerentemente con le finalità connesse alla realizzazione del Parco Fluviale, l'indagine è stata svolta a livello generale su tutto il sottobacino del Noce in Val di Sole, mentre è stata designata come *area prioritaria di studio* l'asta fluviale di fondovalle compresa fra Cusiano (a valle della confluenza con la Vermigliana) e il tratto immediatamente a monte dell'ingresso nel Lago di Santa Giustina. L'area prioritaria è indicativamente delimitata in bianco in Figura 1-2 b). Per gli scopi del lavoro l'asta principale del Noce compresa nell'area prioritaria è stata suddivisa nei seguenti 4 tratti:

1. Tra la confluenza con la Vermigliana e il paese di Mezzana;
2. tra l'abitato di Mezzana e la confluenza con il torrente Meledrio;
3. tra la confluenza con il torrente Meledrio e la confluenza con il rio Rabbies;
4. a valle della confluenza con rio Rabbies.

In alcuni casi, per l'applicazione di indici o modelli specifici, questi 4 tratti sono stati oggetto di ulteriori suddivisioni, che sono descritte in particolare nei capitoli 2.4.4, 4.3, 5.2.

Una caratteristica del Noce di particolare rilievo per il presente studio, così come per la stragrande maggioranza dei corsi d'acqua di dimensioni comparabili nell'arco alpino, è l'alterazione del regime delle portate dovuta ai diversi utilizzi della risorsa idrica.

In termini di volumi utilizzati l'uso a scopo idroelettrico è preponderante rispetto agli altri (prevalentemente irriguo e idropotabile). Le acque del Noce e di alcuni suoi affluenti sono intercettate per formare tre principali invasi artificiali: i serbatoi di Pian Palù e Careser in Val di Pejo, il Lago di Santa Giustina in Val di Non, il bacino artificiale di maggiori dimensioni. Nella sola Val di Sole, nel bacino del fiume Noce insistono due impianti idroelettrici dotati di serbatoio di regolazione di proprietà di ENEL (Malga Mare e Cogolo) ora Hydro Dolomiti Enel (HDE). Il primo impianto, denominato Malga Mare (1964 m s.l.m.), utilizza le acque del serbatoio del Careser, con una portata massima turbinabile di 3.0 m<sup>3</sup>/s. Da questo impianto partono le condotte forzate che giungono, assieme alle acque provenienti dal serbatoio di Pian Palù, nelle centrali di Cogolo1 e Cogolo2 presso Cogolo-Pont (1208 m s.l.m.), con una portata massima turbinabile dai due serbatoi rispettivamente di 7.6 m<sup>3</sup>/s e 6.4 m<sup>3</sup>/s, grazie a un salto in condotta di 622 m nel primo tratto e di 750 m nel secondo.

<b>Serbatoio</b>	<b>Volume utile[m<sup>3</sup>]</b>	<b>Centrale di produzione</b>
<b>Pian Palù</b>	15 122 000	Cogolo
<b>Careser</b>	15 605 000	Malga Mare

**Tabella 1-1. Principali caratteristiche dei serbatoi presenti all'interno del bacino del Noce in Val di Sole.**

Nel bacino sono inoltre presenti numerose altre utilizzazioni idriche, tra i quali vanno evidenziati per impatto volumetrico l'idroelettrico con potenza installata inferiore ai 3000 kW e l'irriguo. In misura minore incidono l'ittigenico e, sebbene numericamente il più diffuso, l'uso potabile. In Figura 1-4 sono rappresentati tutti i punti di prelievo ad oggi concessi sul territorio della Valle di Sole. In particolare in Figura 1-4 a) sono evidenziate le concessioni a scopo idroelettrico di piccola taglia, ed Figura 1-4 b) le concessioni a scopo irriguo. Va sottolineato che tutte queste concessioni, come peraltro già in atto per le grandi derivazioni idroelettriche HDE, sono tenute ad adeguarsi entro il 2016 al rispetto del deflusso minimo vitale (DMV) come prescritto dal Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche (PGUAP).

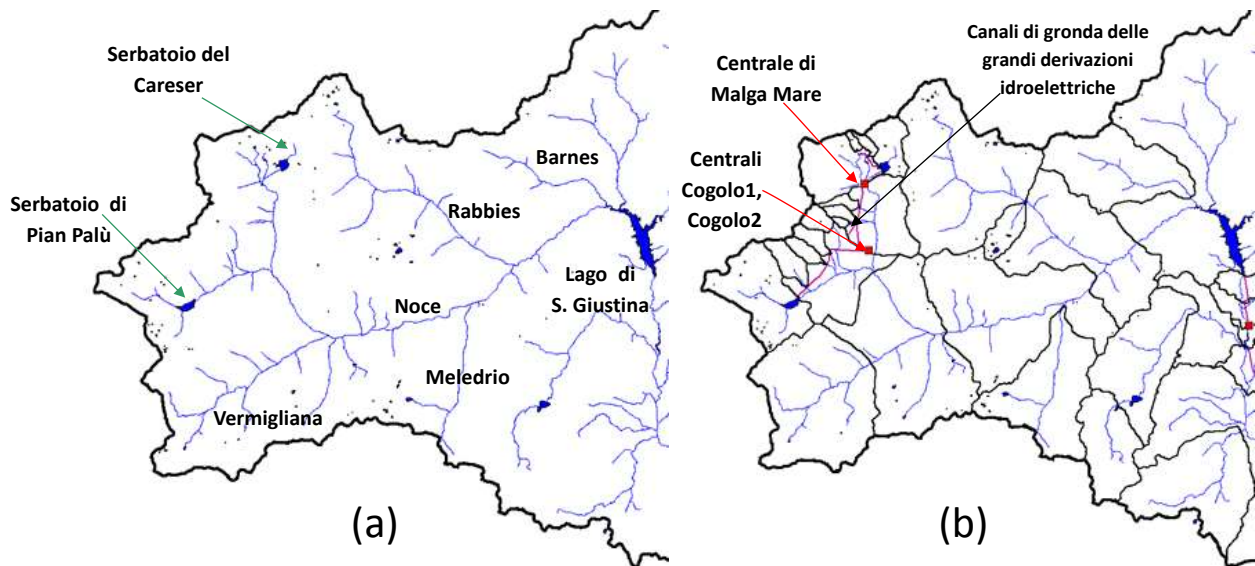


Figura 1-3 Il bacino del Noce in Val di Sole con indicati: (a) i principali affluenti e invasi artificiali; (b) i grandi impianti idroelettrici.

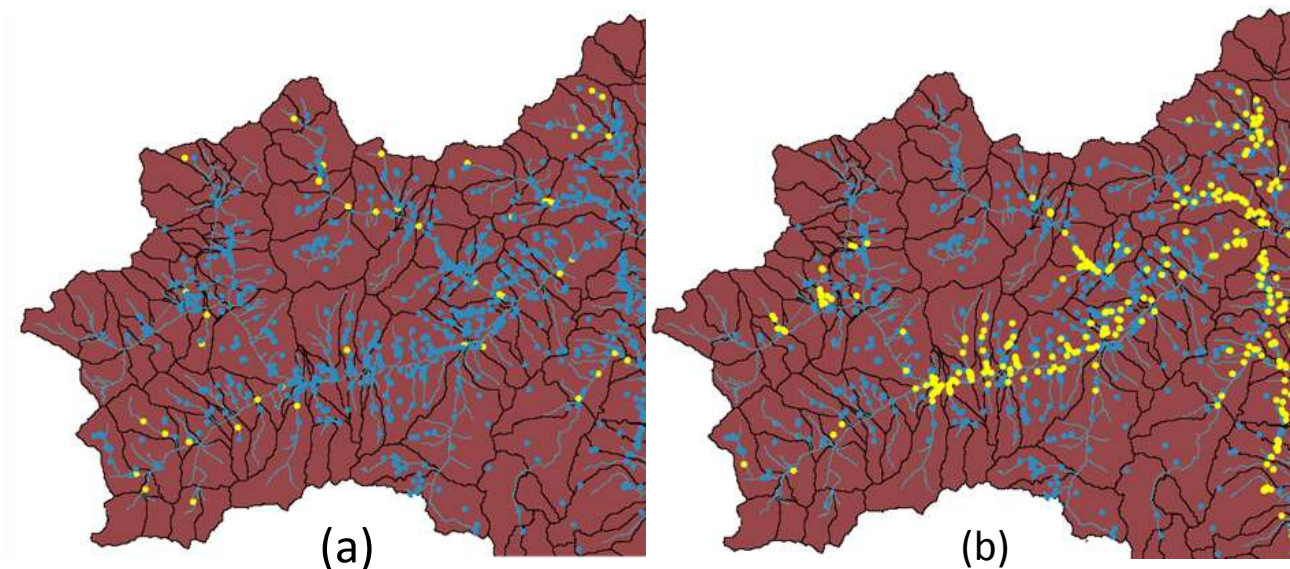


Figura 1-4 Concessioni a derivare presenti sul territorio della Valle di Sole. In giallo sono evidenziate: (a) le piccole derivazioni idroelettriche, ovvero quelle con potenza installata inferiore a 3000kW; (b) le derivazioni a scopo irriguo

La regolazione delle portate associata alla produzione idroelettrica comporta la restituzione in alveo di portata a intervalli di durata e collocazione temporale irregolari e imprevedibili, poiché dipendono dalle scelte di produzione, legate a loro volta all'andamento del mercato dell'energia. Si determina così il fenomeno dei "deflussi discontinui" o "hydropeaking", ben noto a livello internazionale e oggetto di particolare attenzione nell'intero arco Alpino, dove si sono sviluppati, soprattutto negli ultimi dieci anni, studi e ricerche da parte di università e centri di ricerca, enti pubblici e produttori di energia, per le importanti ripercussioni che queste alterazioni hanno sugli altri servizi forniti dai corsi d'acqua. È da notare come tali ripercussioni possano essere di diversa natura, giocando cioè a sfavore di alcuni servizi e a favore di altri; e come la comprensione dei processi associati a questi effetti sia tuttora oggetto di ricerca e,

conseguentemente, i primi riferimenti normativi nei paesi interessati si stiano sviluppando solo di recente. L'impossibilità di prevedere il fenomeno, la scala tipicamente sub-giornaliera delle oscillazioni di livello, temperatura e altre proprietà fisico-chimiche dell'acqua, rendono tali ricerche particolarmente complesse, richiedendo l'utilizzo di strumenti e metodologie di indagine interdisciplinari e avanzate.

## 1.6 Impostazione metodologica

L'impianto metodologico scelto per questo studio è basato sulla quantificazione dei servizi ecosistemici che il fiume è in grado di fornire. Come definito dal panel internazionale di esperti responsabile del *Millenium Ecosystem Assessment* (MEA), il primo studio di portata globale che ha valutato le conseguenze dei cambiamenti negli ecosistemi naturali per il benessere della società umana, i sistemi naturali sono il sistema di supporto primario alle attività umane cui forniscono una varietà di "servizi ecosistemici" da cui le attività umane dipendono spesso in modo cruciale. Questi servizi sono minacciati da molteplici fattori a livello globale e negli ultimi 50 anni sono stati fortemente compromessi in molte aree del pianeta.

<b>Servizi di approvvigionamento</b>	<b>Servizi di regolazione</b>	<b>Servizi culturali</b>	<b>Servizi di supporto</b>
Quantità e qualità dell'acqua per il consumo (uso domestico, agricolo, industriale)	Mantenimento della qualità dell'acqua (filtrazione naturale e auto-depurazione)	<b>Uso ricreativo e turistico (rafting, kayaking, pesca sportiva)</b>	Ruolo nel ciclo dei nutrienti (ruolo nel mantenimento della fertilità delle pianure alluvionali), produzione primaria
<b>Acqua per altri usi (produzione idroelettrica e navigazione)</b>	Erosione, mitigazione delle piene, controllo dell'interazione acqua/suolo/infrastrutture per controllo delle piene	Valori estetici (soddisfazione personale per l'esistenza di fiumi a scorrimento libero)	<b>Supporto alla biodiversità</b>

Tabella 1-2. Classificazione dei principali Servizi Ecosistemici per le acque dolci, secondo il Millennium Ecosystem Assessment (M.E.A., 2005). In grassetto sono riportati i servizi presi in considerazione nel presente studio ambientale in quanto segnalati come prioritari da parte degli attori del territorio.

I servizi ecosistemici vengono comunemente divisi in servizi di *approvvigionamento*, servizi di *regolazione*, servizi *culturali* e servizi di *supporto*. Secondo l'UNEP (United Nations Environment Program) che ha coordinato il MEA, i principali servizi forniti dai fiumi e le acque dolci possono essere divisi per classi come descritto in Tabella 1-2.

Questo approccio esamina l'ambiente e le sue funzionalità da diversi punti di vista, permettendo un'analisi e una comprensione completa dei servizi potenziali e reali forniti, nonché delle interazioni fra di essi. Il fiume Noce è un tipico corso d'acqua alpino di fondovalle e alcuni dei servizi indicati in grassetto nella Tabella 1-2 sono più sfruttati di altri. L'acqua potabile viene prelevata principalmente da falde acquifere e sorgenti; lo sviluppo industriale è limitato e non produce un impatto rilevante, anche se sono presenti nel territorio alcune concessioni per acque minerali e per raffreddamento industriale. L'agricoltura è più presente, soprattutto nel tratto terminale del bacino e attualmente i prelievi a scopo irriguo non producono un consistente impatto sulla disponibilità idrica in alveo e sugli altri servizi. Un servizio particolarmente importante per il Noce in Val di Sole è la produzione di energia idroelettrica, sia attraverso impianti di grandi dimensioni che, in misura crescente, di piccole dimensioni. L'uso idroelettrico della risorsa ha

importanti conseguenze sugli altri servizi ecosistemici, poiché determina una consistente alterazione del regime idrologico a cui sono legati molti degli altri servizi di rilevanza prioritaria per il territorio.

Il fiume Noce fornisce anche altri importanti servizi ecosistemici. Il rafting e altre attività sportive in alveo sono diventate negli ultimi anni fondamentali per il turismo estivo e di conseguenza per l'economia delle popolazioni locali. Anche la pesca sportiva è un servizio ricreativo importante che coinvolge un consistente numero di appassionati. Il corso d'acqua è poi una fonte di biodiversità per il territorio, garantisce valori estetici e ha un importante ruolo nel ciclo dei nutrienti e nella depurazione, anche se per la maggior parte le acque reflue vengono coltate e portate ai depuratori.

Lo studio ambientale sul fiume Noce si è focalizzato sui seguenti servizi ecosistemici:

- **servizi culturali** quali quelli legati all'uso ricreativo: rafting, pesca sportiva e fruibilità del fiume;
- **servizi di supporto** alla biodiversità, come esplicitamente indicato nella Direttiva Quadro Acque dell'Unione Europea (WFD, 2000/60), recepita dall'Italia, che richiede la valutazione della qualità biologica, chimica, idromorfologica di un corso d'acqua per preservarne la biodiversità e altri servizi correlati.
- **servizi "di approvvigionamento"** quali la produzione idroelettrica, anch'essa incoraggiata dalle direttive europee e con notevoli ripercussioni sugli altri servizi selezionati.

Il Noce svolge anche un importante servizio di protezione dalle alluvioni, che tuttavia non è stato analizzato nel presente lavoro in quanto già oggetto di studi separati, cui sono associate anche tempistiche differenti. È stato mantenuto un coordinamento informale con i referenti di questi studi, evidenziando l'importanza che, nelle future fasi progettuali, siano recepite in modo fra loro coordinato le indicazioni gestionali dello studio ambientale e degli studi sulla sicurezza idraulica.

La complessità insita nella quantificazione del legame fra i servizi ecosistemici selezionati, in particolare in un contesto caratterizzato dalla presenza di "deflussi discontinui" o "*hydropeaking*", ha richiesto di sviluppare un approccio innovativo *ad hoc*. Sono stati dunque integrati la raccolta e l'analisi dei dati con modelli di simulazione standard e con modelli matematici e metodi non ancora di comune utilizzo, in quanto direttamente trasferiti dai risultati dell'attività di ricerca scientifica più recente dei componenti del team di lavoro.

Le figure successive (Figura 1-5, Figura 1-6 e Figura 1-7) visualizzano graficamente il percorso metodologico utilizzato per arrivare alla valutazione dei differenti servizi. Ogni figura presenta l'elenco completo di tutti i dati (distinti fra "esistenti" e "rilevati" nel corso dello studio), metodi, risultati specifici e obiettivi. I dati esistenti sono stati acquisiti e dove questi non fossero disponibili, sono stati raccolti i dati necessari attraverso rilievi di campo (in grassetto e corsivo nelle figure). I dati sono stati utilizzati secondo diversi metodi (testo in rosso nelle figure) per ottenere un quadro dello stato dei servizi ecosistemici (risultati, testo in grigio nelle figure). I risultati sono stati utilizzati per fornire indicazioni quali - quantitative sullo stato attuale e sulla possibile gestione futura del corso d'acqua (obiettivi, testo in blu nelle figure). Le singole figure spiegano attraverso i percorsi a frecce visualizzati con diversi colori come dati e metodi sono stati combinati per il raggiungimento di ogni singolo obiettivo.

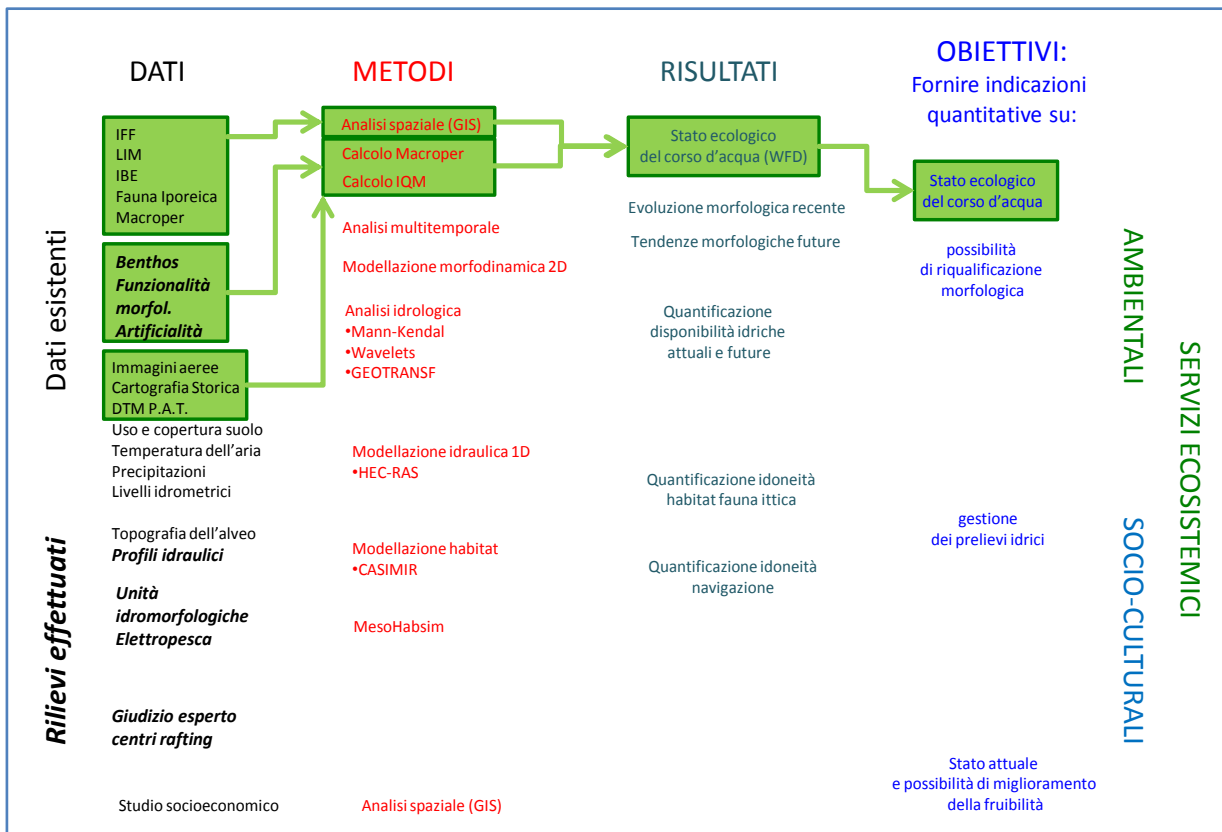
Come illustrato in Figura 1-5 a), per definire lo stato ecologico del corso d'acqua sono stati utilizzati gli indicatori presenti nella Direttiva Quadro Acque (UE 2000/60). I dati esistenti sono stati forniti dall'APPA

Trento e integrati con campagne di raccolta campioni e analisi GIS. La Figura 1-5 b) illustra come è stata valutata la possibilità di riqualificazione morfologica. Utilizzando dati GIS e informazioni raccolte sul campo, è stata effettuato un confronto storico per valutare l'evoluzione planimetrica dell'alveo e sono stati applicati modelli morfodinamici analitici per la valutazione della mobilità del sedimento, delle portate formative e delle possibili tendenze future di evoluzione altimetrica dell'alveo.

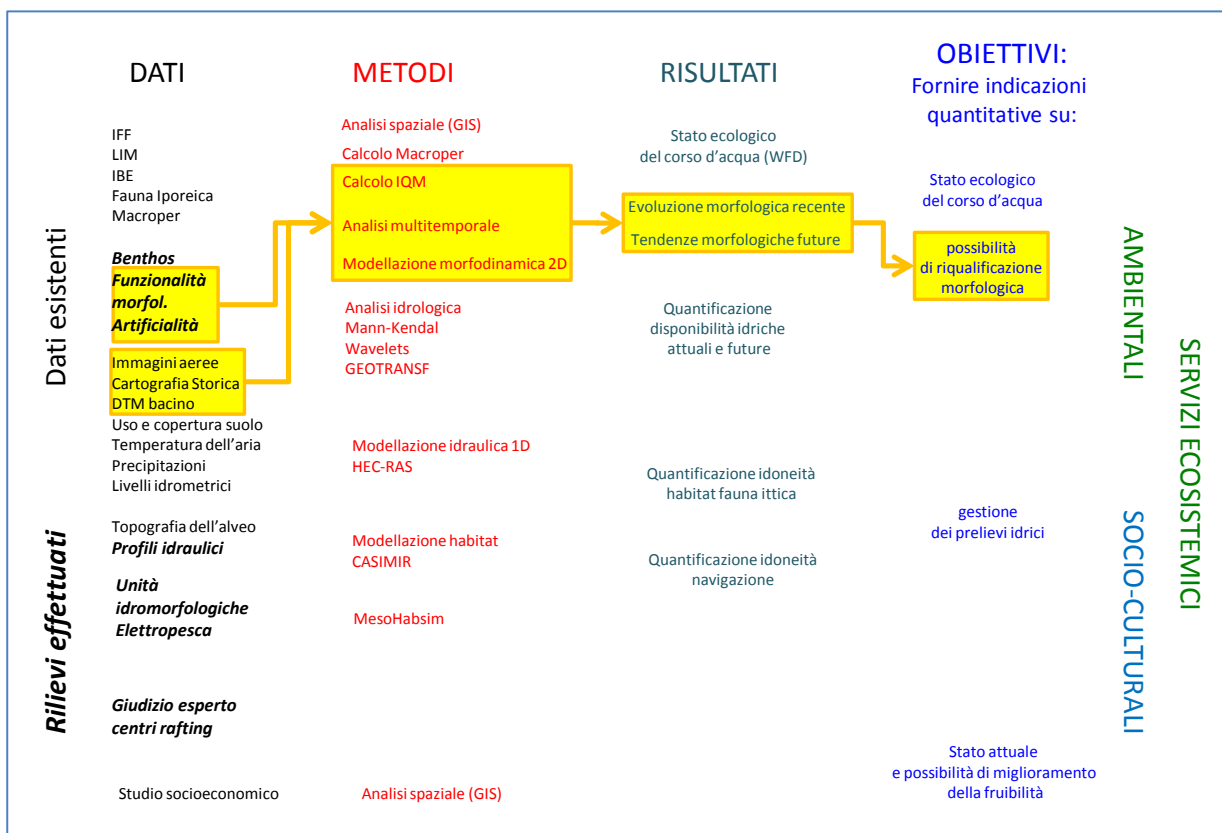
La Figura 1-6 a) e b) descrive l'approccio seguito per fornire indicazioni sul potenziale effetto di prelievi idrici dall'alveo sugli altri servizi ecosistemici, in particolare sulla qualità dell'habitat per una specie ittica scelta come target (*Salmo marmoratus*, trota marmorata) e sull'idoneità del fiume alla navigazione tramite rafting e canoa. I dati sulle disponibilità idriche attuali e future, ottenuti attraverso l'analisi e la modellazione idrologica, hanno costituito l'input per la modellazione idraulica unidimensionale, per la cui preparazione e taratura sono stati utilizzati dati topografici (rilievo di sezioni sull'intero tratto di circa 25 km fornito dal Servizio Bacini Montani della P.A.T.), e sono state effettuate diverse campagne di misure della portata e di profili di corrente. Per la valutazione della qualità dell'habitat fluviale sono state svolte diverse campagne di misura ecoidrauliche per correlare la presenza/assenza/abbondanza della specie a ben definite unità idromorfologiche (HMU) secondo l'approccio a mesoscala (*Mesohabsim*) e della distribuzione spaziale delle HMU a diverse portate su tratti selezionati. Questo ha consentito di realizzare curve di preferenza valide sul Noce per la specie ittica selezionata che sono state integrate con la modellazione idraulica per quantificare la variabilità spazio-temporale dell'habitat sull'intero tratto. L'approccio a mesoscala, inoltre, ha consentito una analisi complementare di maggiore accuratezza su tratti di dimensione inferiore, essendo basata su una misura diretta delle reali unità idromorfologiche presenti al variare della portata (Figura 1-6 a).

Un metodo analogo è stato utilizzato per valutare l'effetto dei prelievi presenti e futuri sulla fruibilità di alcuni servizi ricreativi, in particolare la navigazione (rafting). In questo caso, per valutare l'analogo delle curve di preferenza si è fatto ricorso al giudizio esperto di centri rafting e canoisti (Figura 1-6b).

L'ultimo obiettivo è stato quello di fornire indicazioni sullo stato attuale e sul potenziale miglioramento della fruibilità del corso d'acqua da parte della popolazione (Figura 1-7). Per fare questo si è valutato quanto il fiume sia accessibile attraverso le regioni di sponda da un punto di vista idromorfologico. Sono stati tenuti in conto principalmente la morfologia delle regioni di sponda e la pericolosità idraulica dell'alveo in prossimità delle rive. Questo è stato ottenuto implementando nell'analisi spaziale tramite GIS la cartografia e il DTM esistenti, i risultati delle osservazioni di campo, dati provenienti dallo studio socio-economico e dalla modellazione idraulica.



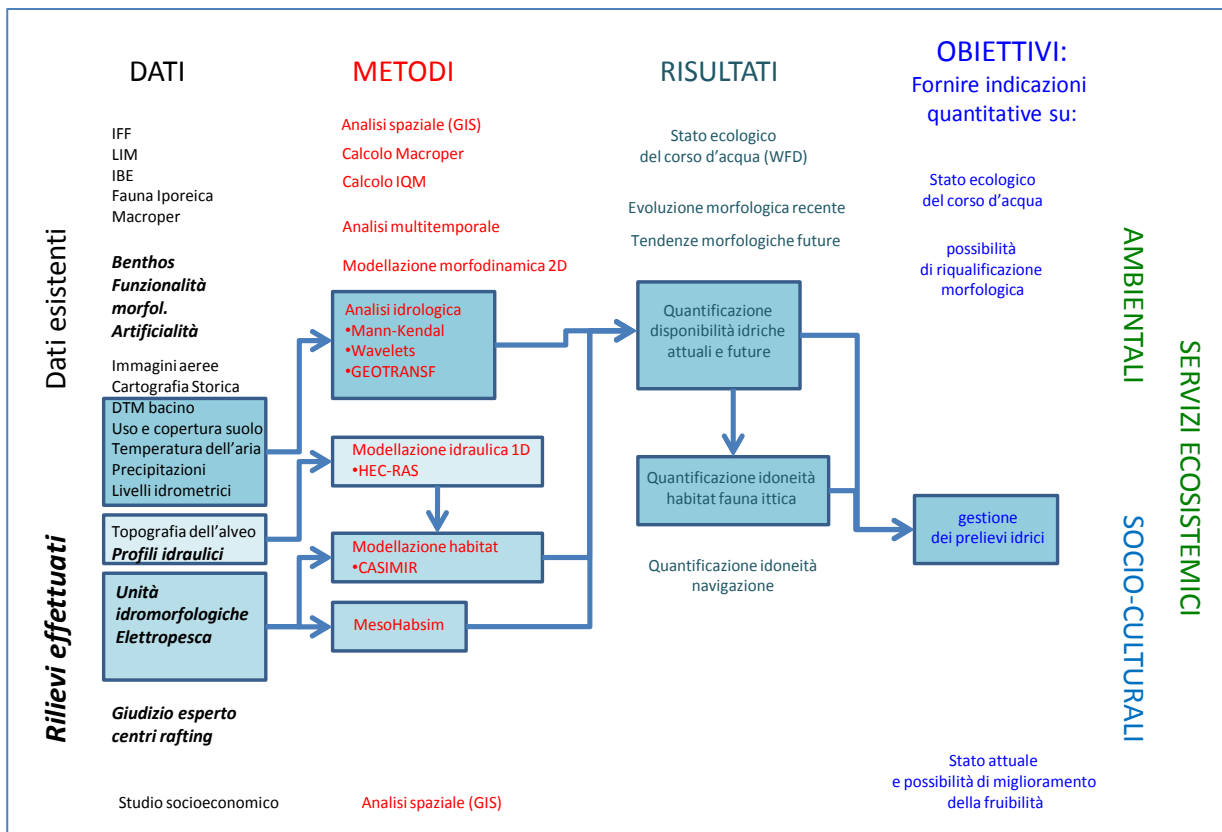
a)



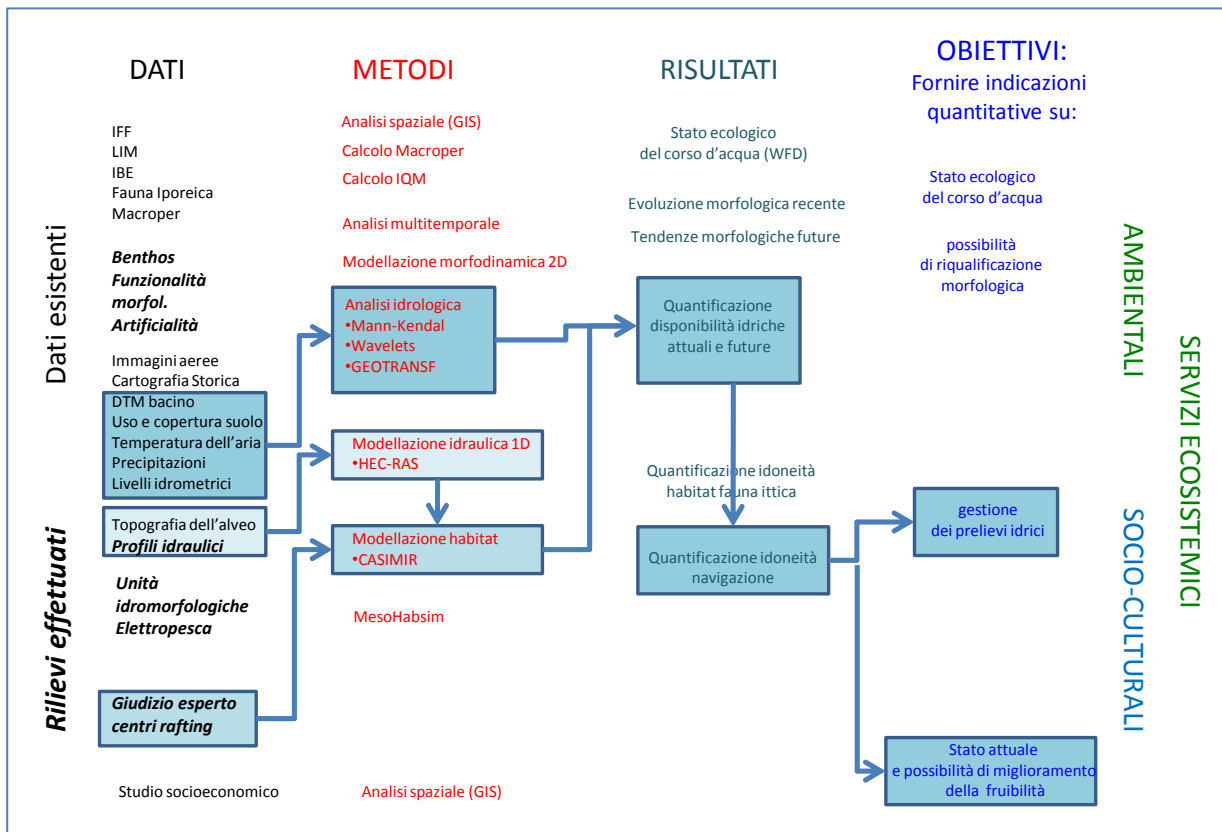
b)

Figura 1-5 Metodo utilizzato per valutare (a) lo stato ecologico del corso d'acqua e (b) eventuali possibilità di riqualificazione morfologica





a)



b)

Figura 1-6 Metodo seguito per la valutazione dei potenziali effetti dei prelievi idrici (a) sulla qualità dell'habitat fluviale per la specie ittica target (trota marmorata) e (b) sull'idoneità alla navigazione.

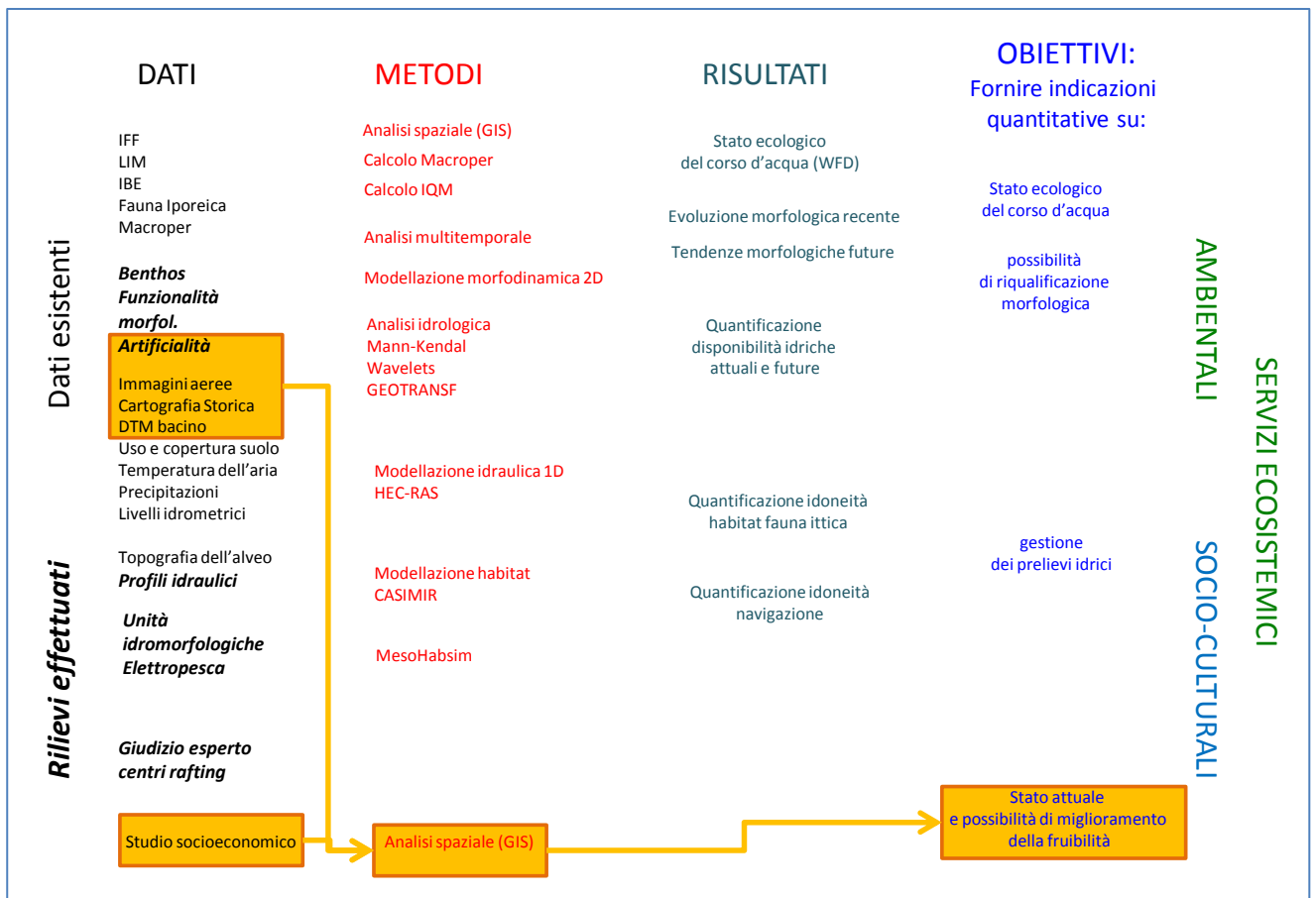


Figura 1-7 Metodo utilizzato per definire lo stato attuale e le possibilità di miglioramento della fruibilità.

## 2 Metodi

### 2.1 Analisi e modellazione idrologica

Sono state eseguite sia indagini statistiche che elaborazioni modellistiche al fine di valutare le disponibilità idriche attuali e l'impatto di modificazioni di breve periodo del regime delle portate sulla disponibilità delle risorse idriche.

L'obiettivo è in primo luogo quello di caratterizzare lo stato attuale delle risorse idriche disponibili lungo l'asta principale del fiume Noce e del torrente Rabbies.

Ai fini della modellazione della qualità dell'habitat e della idoneità alla navigazione, si è utilizzato il modello idrologico GEOTRANSF (Majone et al., 2010), già utilizzato nell'esecuzione dei Bilanci Idrologici del Trentino da parte dell'Università di Trento per conto della PAT (Cainelli et al., 2009), per simulare quattro "scenari di riferimento" della disponibilità idrica attuale e per simulare ipotetici scenari di disponibilità futura basati su prelievi dall'alveo aggiuntivi rispetto a quelli attuali.

In secondo luogo i dati sono stati analizzati alla ricerca di trend di variazione in atto sul breve periodo, nell'ordine dei 10-20 anni, al fine di stimare le variazioni sulle disponibilità idriche in un orizzonte temporale di pari estensione. Le tecniche utilizzate comprendono l'utilizzo del test di Mann Kendall (e.g. Mann, 1945, Kendall, 1955, Martinelli et al., 2010) e delle trasformate Wavelets (e.g. Foufula-Georgiou e Kumar, 1995, Torrence e Compo, 1998).

Per l'ultima parte dell'analisi, basata sull'utilizzo di strumenti modellistici, si è utilizzato sempre il modello idrologico GEOTRANSF con l'obiettivo di simulare l'effetto di eventuali trend di variazione presenti nelle forzanti meteorologiche sulla disponibilità idrica lungo l'asta principale del fiume Noce e del torrente Rabbies.

Questo capitolo è dunque organizzato nelle seguenti sezioni:

- Dati e stazioni di misura
- Quantificazione delle disponibilità idriche attuali
- Il modello GEOTRANSF
- Scenari idrologici di riferimento attuali e futuri
- Analisi dei trend di breve periodo con i Test di Mann-Kendall e le Trasformate Wavelets

#### *Dati e stazioni di misura*

I dati considerati nelle analisi statistiche di seguito descritte sono essenzialmente di tre tipi:

- dati idrometrici
- dati pluviometrici
- dati termometrici

Assieme ai dati sopra elencati, alla base dell'utilizzo del modello GEOTRANSF vengono inoltre utilizzate le seguenti tipologie di dato:

- il modello digitale del terreno (DEM);
- mappe d'uso del suolo e geologia;
- dati sulla radiazione solare, che se non disponibili sono ricavati tramite modelli;
- dati di ETp (Evapotraspirazione potenziale) ricavabili, se non sono disponibili, tramite modelli che utilizzano altri dati quali temperatura e radiazione solare;
- dati sulle utilizzazioni idrauliche;

Per quanto riguarda il reperimento dei dati, questi sono stati, qualora possibile, scaricati dagli appositi siti web messi a disposizione della Provincia Autonoma di Trento. In alternativa, qualora questo non sia stato possibile si è proceduto alla richiesta ai servizi preposti della Provincia Autonoma di Trento per la loro raccolta. In particolare, i dati meteorologici sono stati ottenuti dal sito HydstraWeb messo a disposizione da Meteotrentino, mentre i dati idrometrici sono stati forniti dall'ISSSI (Incarico Speciale Sicurezza Sistema Idraulico). Altri dati, relativi all'utilizzo delle risorse idriche sul territorio, sono stati forniti dal Servizio Utilizzazione Acque Pubbliche della Provincia Autonoma di Trento (che attualmente fa capo all'APRIE).

Qualora possibile, i dati sono stati reperiti a scala oraria, così da poter analizzare le dinamiche idro-meteoriche sub giornaliere, particolarmente rilevanti a causa dell'importante fenomeno dei deflussi discontinui ("*hydropeaking*"). Per l'analisi statistica per la ricerca di trend, le stazioni meteorologiche considerate, interne ed in prossimità del bacino, sono in totale 8 (Tabella 2-1). La loro dislocazione è rappresentata in Figura 2-1.

L'analisi si è limitata a queste stazioni poiché tra le stazioni attualmente attive presenti nell'area di studio sono quelle ad avere la serie storica più lunga. Purtroppo l'estensione della serie storica delle stazioni considerate è comunque limitata a circa 20 anni. I trend ricavati dalle analisi statistiche che verranno descritte in seguito saranno quindi affetti dall'incertezza legata alla limitatezza delle serie storiche. Tuttavia si ritiene che i risultati ricavati possano essere considerati rappresentativi per lo studio delle tendenze di variazione per i prossimi 10-20 anni.

<b>Stazione</b>	<b>Codice</b>	<b>Coordx</b>	<b>Coordy</b>	<b>Coordz</b>	<b>Temp.</b>	<b>Prec.</b>
<b>Pian Palù</b>	0063	624243	5132705	1800	X	X
<b>Peio</b>	0064	628896	5135854	1565	X	X
<b>Careser</b>	0065	630579	5142408	2600	X	X
<b>Cogolo</b>	0068	629915	5135988	1190	X	X
<b>Passo Tonale</b>	0069	624155	5124564	1795	X	X
<b>Malè</b>	0074	647417	5135284	735	X	X
<b>Somrabbi</b>	0075	638621	5141220	1352	X	X
<b>Pradalago</b>	0167	639820	5123390	2084	X	X

Tabella 2-1 Stazioni di rilevamento di temperatura e precipitazione considerate in questo studio.

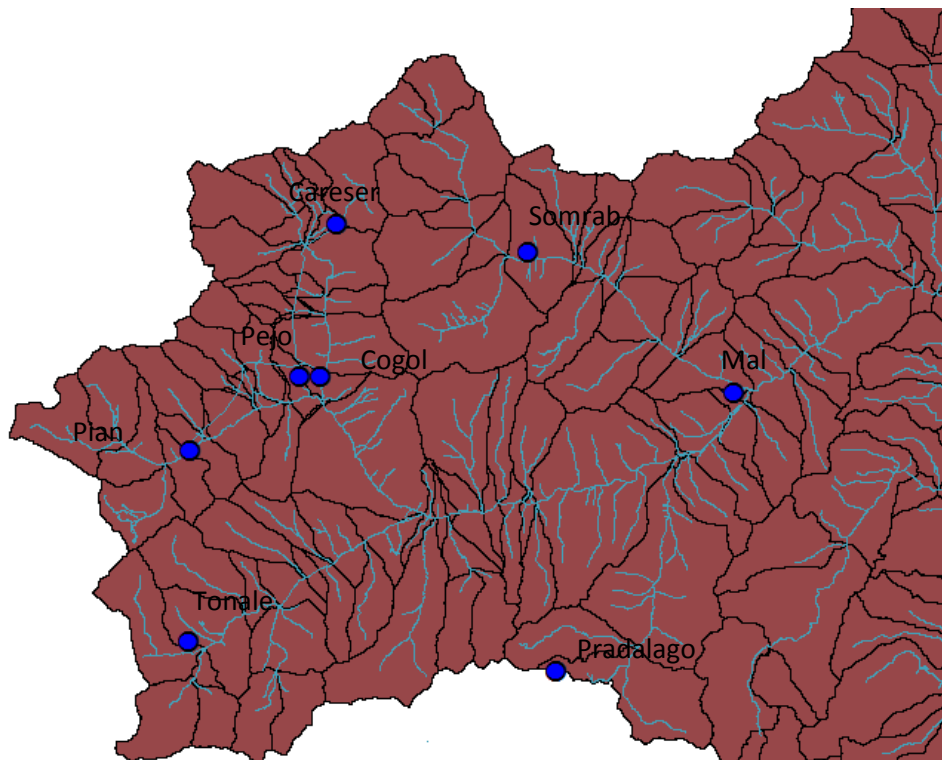


Figura 2-1 Posizione delle stazioni termo-pluviometriche utilizzate in questo studio

Le stazioni idrometriche per le quali sono state fornite le serie storiche sono rappresentate in Figura 2-2. Tuttavia, non per tutte queste sezioni le informazioni rese disponibili sono risultate esaurienti. In particolare le sezioni di Cogolo e di Pellizzano, necessarie per uno studio accurato a scala sub giornaliera del contributo derivante dalla parte alta del bacino del Noce, non sono dotate di scale di deflusso attendibili. In queste sezioni è infatti disponibile il solo dato di altezza idrometrica. Nell'ambito dello studio sono state svolte misure di portata alla sezione di Pellizzano, ma la scala delle portate realizzata copre ancora un intervallo limitato rispetto agli scopi dell'analisi idrologica. Inoltre, data la scarsa estensione della serie storica delle portate alla sezione idrometrica sul Rabbies, per questa sezione risultano inapplicabili le tecniche di analisi statistiche utili per la ricerca di trend in atto.

In definitiva, le stazioni idrometriche risultate analizzabili con le tecniche statistiche preventivate sono le sole stazioni di Vermiglio e di Malè, le cui serie storiche iniziano rispettivamente nel 1995 e nel 1988.

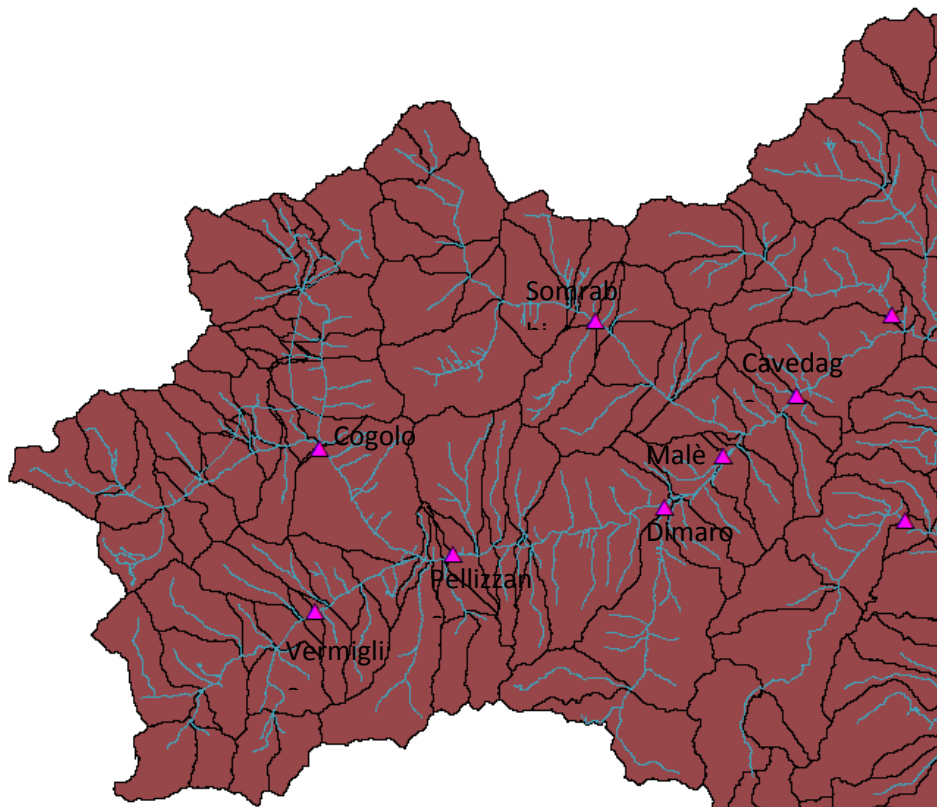


Figura 2-2 Posizione delle stazioni idrometriche presenti in Val di Sole

Prima di procedere all'esecuzione delle analisi previste in questo incarico, è stata effettuata un'analisi di coerenza e completezza delle serie storiche dei dati. In primo luogo sono stati analizzati i dati di temperatura e precipitazione, le cui serie sono risultate incomplete, con buchi di lunghezza variabile dalle ore alle settimane. Per ovviare a questo inconveniente si è proceduto all'interpolazione dei dati mancanti tramite la tecnica del kriging. Questa tecnica prevede che il dato mancante in una determinata stazione venga interpolato sulla base dei dati disponibili nelle stazioni limitrofe, opportunamente pesati in base alle distanze relative con il punto dove si vuole effettuare la stima. In secondo luogo sono stati analizzati i dati di portata rilevati nelle stazioni di Vermiglio, Malè e Somrabi. I pochi buchi presenti nelle serie sono stati riempiti tramite una semplice interpolazione lineare tra i dati precedenti e successivi al buco.

L'aspetto più importante emerso dall'analisi di questi dati riguarda la stazione di Malè. Come verrà mostrato più avanti, la serie storica presenta un intervallo di dati anomalo, compreso tra pochi mesi dopo l'inizio della serie ed il dicembre 1994. In questo periodo di tempo, il dato idrometrico, e conseguentemente quello di portata, si posizionano su un livello medio piuttosto elevato rispetto al comportamento medio, salvo poi tornare istantaneamente nel dicembre 1994 ai livelli osservabili nel resto della serie. Per questo motivo, nella caratterizzazione delle disponibilità idriche attuali e nel processo di ricerca trend conseguente, si è deciso di escludere dall'analisi i primi 5 anni della serie storica, così da evitare che le anomalie osservate influiscano sui risultati dei test statistici.

### ***Quantificazione delle disponibilità idriche attuali***

L'obiettivo di questa analisi è stato quantificare le disponibilità idriche attuali sulla base dei dati di portata rilevati agli idrometri disponibili sul territorio.

Come accennato in precedenza, le uniche stazioni idrometriche risultate utilizzabili in questa analisi sono la stazione di Vermiglio e la stazione di Malè. A questa si aggiunge la stazione di Somrabbi, la quale pur non presentando una serie storica sufficientemente lunga per l'esecuzione di test statistici per la ricerca di trend significativi, è comunque dotata di una scala delle portate affidabile, che consente quantomeno di quantificare correttamente lo stato attuale delle risorse idriche transitanti per questa sezione.

Lo strumento scelto per la rappresentazione delle disponibilità idriche sono le curve di durata. Queste curve rappresentano la frequenza di superamento registrata per i vari livelli di portata osservati. Si prenda a riferimento la Figura 2-3, che riporta un esempio teorico di curva di durata.

In ascissa è riportato il valore di portata, in ordinata la frequenza con cui questa portata è stata superata nella serie di dati analizzata. Nel grafico d'esempio ad una portata di  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  corrisponde una frequenza (P) all'incirca di 0.35. Questo significa che in questa ipotetica sezione la portata ha superato  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  nel 35% delle rilevazioni. Dato che solitamente le rilevazioni avvengono ad intervalli di tempo regolari, si può asserire che la portata nel corso d'acqua è stata superiore ad  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  per il 35% del tempo su cui si sviluppa la serie storica analizzata.

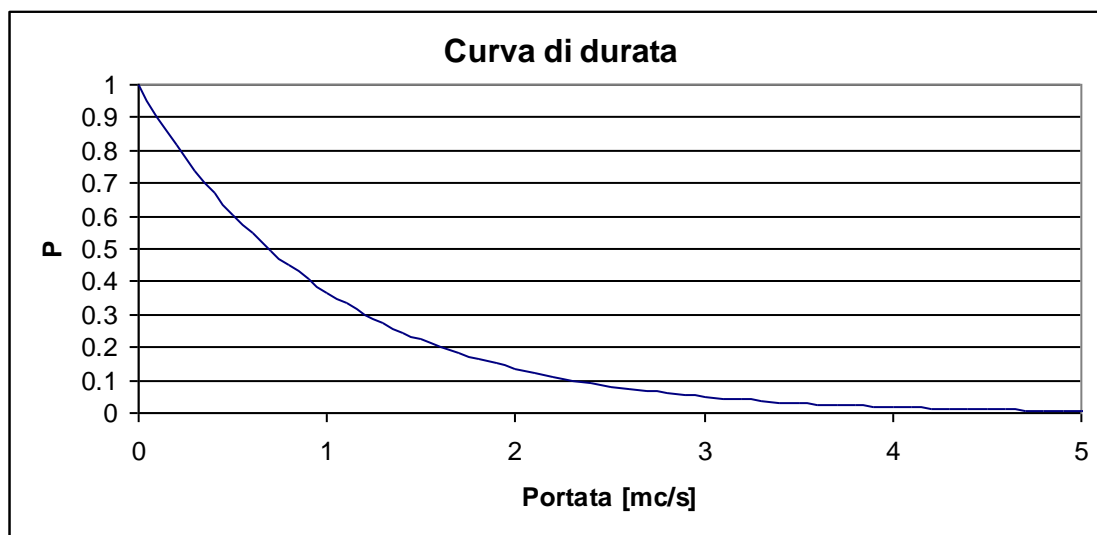


Figura 2-3 Esempio di curva di durata della portata

Le curve di durata per il caso in esame sono state costruite sulla base dei dati di portata disponibili nelle 3 sezioni sopra citate. L'analisi è stata condotta separando i dati di portata in quattro intervalli giornalieri di 6 ore ciascuno, rispettivamente negli intervalli 0-6, 6-12, 12-18 e 18-24, al fine di poter osservare eventuali differenze nei vari momenti del giorno, legate a potenziali effetti della dinamica di scioglimento nivale, la quale può essere fortemente influenzata dal ciclo diurno di insolazione. A questo si aggiunge un probabile effetto dovuto all'*hydropeaking* (deflussi discontinui) legato alle operazioni di rilascio dell'acqua dalle centrali di produzione di energia idroelettrica. Quest'ultimo effetto, qualora rilevante sulla variabilità giornaliera, si dovrebbe riscontrare nell'analisi dei dati rilevati alla stazione Malè, unica delle 3 stazioni analizzate ad essere influenzata dalla regolazione delle dighe dell'alta val di Sole.

L'analisi è stata effettuata separatamente per i 12 mesi dell'anno, così che in totale sono state costruite 48 curve di durata per ogni sezione di misura.

## *Il modello GEOTRANSF*

Accanto all'analisi statistica dei dati disponibili, il progetto ha visto l'implementazione di una fase modellistica, il cui scopo è quello di ricostruire il comportamento idrologico del bacino idrografico del Noce e di verificare l'impatto che le opere di prelievo e restituzione idrica dislocati sul territorio hanno sulle disponibilità di risorsa idrica in alveo e sugli altri attori che utilizzano tale risorsa. L'approccio adottato si basa sull'utilizzo del modello idrologico GEOTRANSF.

GEOTRANSF è un software di simulazione idrologica basato su un approccio di tipo semi – distribuito che consente di coniugare velocità di calcolo ed accuratezza della modellazione attraverso l'utilizzo di un modello concettuale per tempi di residenza. Il vantaggio principale di questo tipo di approccio è di limitare la quantità di informazioni necessarie per la sua applicazione rispetto ai modelli distribuiti che richiedono invece la conoscenza dettagliata di molte grandezze fisiche specifiche. Spesso invece tutto ciò di cui si dispone è un modello digitale del terreno, la carta geologica e di uso del suolo e poche altre informazioni. Questa carenza di informazioni disponibili e la scala spaziale e temporale di interesse giustificano l'utilizzo di modelli semi – distribuiti che consentono, attraverso formule empiriche o derivanti dalla semplificazione di modelli fisicamente basati o di modelli più di dettaglio, di descrivere i principali fenomeni di interesse in maniera sufficientemente accurata per riprodurre un bilancio idrologico attendibile.

GEOTRANSF utilizza informazioni facilmente reperibili come DTM, carta geologica, uso del suolo, precipitazioni, temperature e portate misurate, mediante le quali, attraverso un opportuno algoritmo di calibrazione, ricostruisce la parametrizzazione dei processi che avvengono nelle diverse zone del bacino fornendo così un modello semplificato, ma accurato, del comportamento idrologico del bacino.

GEOTRANSF è un modello a base geomorfologica, che utilizza cioè una suddivisione del bacino idrografico in sottobacini elementari connessi alla sezione di chiusura mediante la rete idrografica. Gli elementi morfologici di base sono quindi i sottobacini, nei quali prevalgono i processi di infiltrazione, evapotraspirazione, redistribuzione e generazione del deflusso (tali processi sono comunemente chiamati processi di versante) ed i canali, che raccolgono i deflussi generati dai sottobacini e li convogliano verso la sezione di chiusura; in essi prevalgono quindi i processi di trasferimento.

Nella Figura 2-4 è riportato un esempio di suddivisione in sottobacini con l'individuazione del percorso che, mediante canali collegati in serie, connette ognuno di essi alla sezione di chiusura del bacino.

Le forzanti meteorologiche esterne (precipitazioni e temperatura), misurate nelle stazioni meteorologiche contenute nel bacino, vengono distribuite spazialmente mediante l'interpolatore geo-statistico "ordinary kriging" nel caso della precipitazione, e mediante interpolazione lineare con la quota nel caso delle temperature, cosicché ad ogni sottobacino è assegnata una precipitazione ed una temperatura, corrispondenti ognuna alla media spaziale riferita all'area del sottobacino in quel dato istante temporale. La risposta idrologica di ogni sottobacino viene calcolata seguendo uno schema semplificato, secondo il quale lo spessore di suolo idrologicamente attivo è suddiviso in due strati. Nel primo strato avvengono i processi di infiltrazione, evapotraspirazione e redistribuzione, nel secondo avviene la generazione del deflusso. Il modello include inoltre l'effetto delle utilizzazioni idriche, attraverso opportuni moduli che consentono di inserire nel bilancio sia i prelievi che le restituzioni. I prelievi possono avvenire sia da corso d'acqua (ed affini) che dal terreno attraverso il pompaggio/prelievo da pozzo.



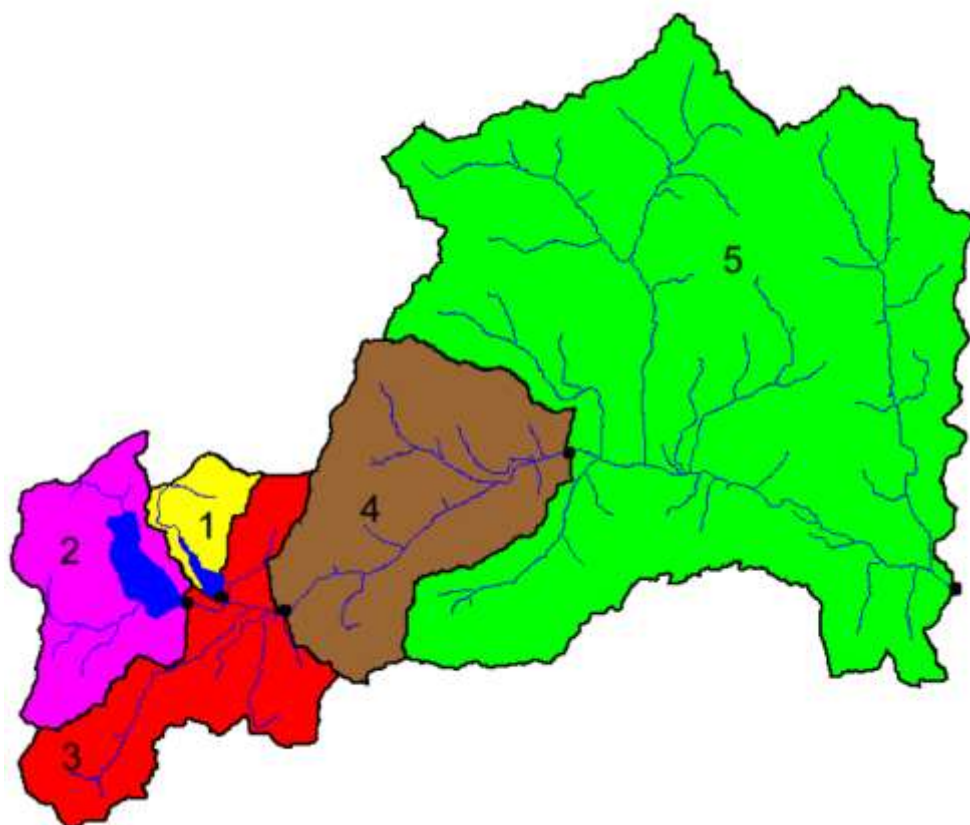


Figura 2-4 Esempio di struttura di confluenza geomorfologica.

### *Scenari idrologici di riferimento attuali e futuri*

La realizzazione di scenari di disponibilità idriche attuali e futuri ha richiesto l'uso di strumenti modellistici quali GEOTRANSF per poter tenere in conto la presenza dei deflussi discontinui (*"hydropeaking"*), elemento cruciale del fiume Noce in relazione agli obiettivi dello studio. Dal punto di vista metodologico un problema di non facile soluzione è stato conciliare la scala tipicamente sub-giornaliera del fenomeno con il fatto che il modello GEOTRANSF, fra i più avanzati della stessa tipologia in ambito internazionale, nella sua configurazione volta a simulare i processi di prelievo e restituzione legati alle innumerevoli opere di presa dislocate sul territorio, è vincolato a lavorare alla scala giornaliera, simulando di fatto dati medi giornalieri di deflusso. Il motivo di questo vincolo risiede nella necessità di poter trascurare i tempi di trasferimento delle portate lungo i corsi d'acqua all'interno dell'intervallo temporale di calcolo. Questa assunzione è rispettata se si lavora alla scala giornaliera. Mentre questo è accettabile ai fini di un bilancio idrologico di lungo termine, se si vuole considerare condizioni specifiche di disponibilità idrica a scala sub-giornaliera come nel caso in cui l'alveo sia caratterizzato da hydropeaking, la portata media giornaliera risulta poco rappresentativa delle reali condizioni che determinano l'idoneità alla navigazione e la qualità dell'habitat fluviale. In questi particolari contesti, all'interno della giornata si osserva che la portata oscilla soprattutto fra due valori, un valore di picco associato ai periodi di turbinamento delle centrali, e un valore "di base" che si verifica quando in alveo non sono restituite le portate turbinate (Figura 2-5).

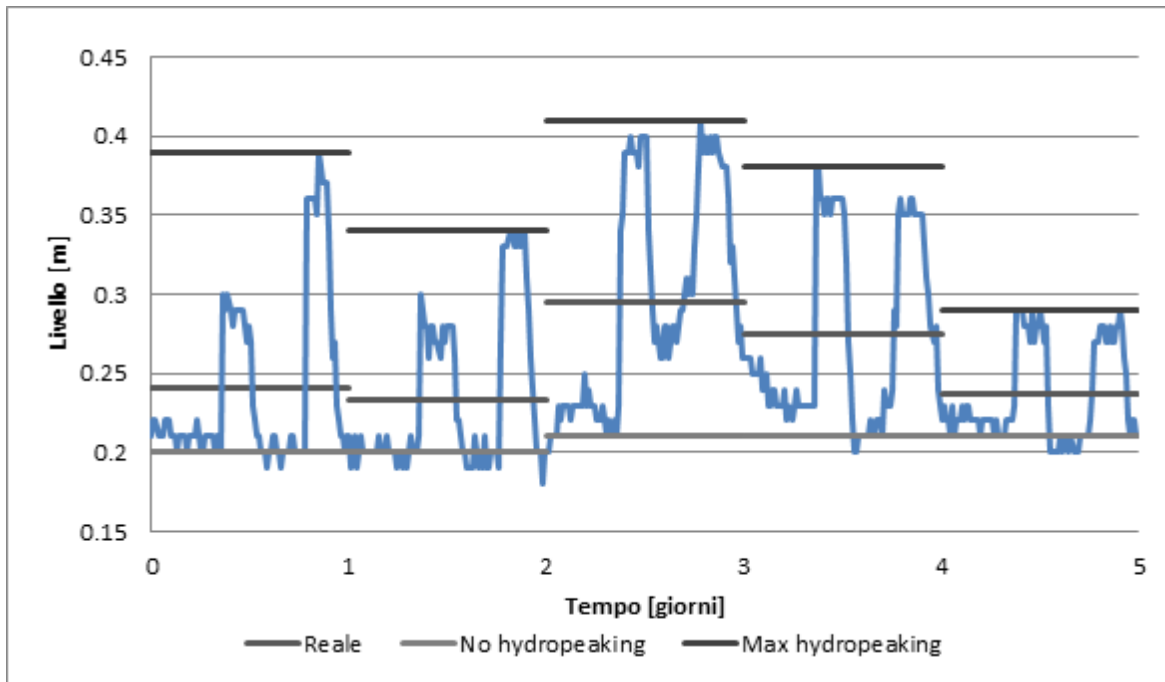


Figura 2-5 Esempio di andamento temporale del livello idrometrico in una sezione caratterizzata da deflussi discontinui (“hydropeaking”). Sono evidenziati i valori di portata media giornaliera simulati attraverso lo scenario “Max hydropeaking” e “No hydropeaking”. Le linee orizzontali corrispondenti allo scenario “Reale” indicano i valori della portata media giornaliera, poco rappresentative delle condizioni che realmente determinano l’idoneità del corso d’acqua a supportare servizi ecosistemici, quali la navigazione o l’habitat per la fauna ittica.

Per simulare le disponibilità idriche in alveo attraverso portate medie giornaliere tenendo al tempo stesso in conto il fenomeno dell’*hydropeaking* si è dunque sviluppata una metodologia *ad hoc* basata sulla simulazione di quattro differenti scenari. Ogni scenario è stato realizzato facendo riferimento al periodo 2001 – 2006 (nel seguito: “Periodo di riferimento”), intervallo temporale in cui erano disponibili tutti i dati necessari per una corretta calibrazione del modello. Gli scenari simulati sono descritti di seguito:

- 1) **Reale**: simula l’andamento delle portate medie giornaliere nelle condizioni attuali, cioè il modello tiene conto dei rilasci associati ad ogni concessione a prelevare e delle relative restituzioni quando previste, come nel caso delle grandi concessioni idroelettriche.
- 2) **Naturale**: simula l’andamento delle portate medie giornaliere in una ipotetica condizione di naturalità del regime idrologico. Viene ottenuto eliminando dal modello tutte le concessioni a prelevare. La serie temporale delle portate medie giornaliere alla sezione di chiusura di ogni sottobacino è quella che si avrebbe in assenza di regolazioni antropiche del deflusso.
- 3) **No hydropeaking**: simula l’andamento delle portate medie giornaliere in una ipotetica condizione in cui sono azzerate le restituzioni in alveo dovute dalle grandi concessioni idroelettriche (viene azzerato il contributo legato al turbinamento). La loro presenza nel modello idrologico è dunque percepita attraverso i rilasci minimi giornalieri come previsto dalla normativa attualmente in vigore sul Deflusso Minimo Vitale (DMV), i quali rimangono costanti durante tutto l’arco della giornata. La serie temporale delle portate medie giornaliere ottenuta è ritenuta una buona approssimazione delle portate che si verificano realmente in ogni giorno in assenza delle portate turbinate (restituite) in alveo.

- 4) **Max hydropeaking**: simula l'andamento delle portate medie giornaliere in una ipotetica condizione in cui le portate restituite in alveo dalle grandi derivazioni idroelettriche durante il turbinamento sono le stesse osservate in ciascun giorno del periodo di riferimento ma hanno una durata fittizia estesa all'intera giornata (24 ore). La stima delle portate restituite nel periodo di riferimento è stata effettuata a partire dall'analisi delle serie orarie di livello idrometrico e di portata, ottenute grazie alle scale di deflusso esistenti e a quelle costruite nell'ambito dello studio, attraverso misure in campo e misure fornite, con vincolo di riservatezza, dal l'ente pubblico competente (Ufficio gestione risorse idriche della Provincia Autonoma di Trento) . La serie temporale delle portate medie giornaliere così ottenuta è ritenuta una buona approssimazione delle portate che si verificano realmente in ogni giorno in presenza delle portate di picco associate all' *hydropeaking*.

Il risultato relativo ad ogni scenario consiste in un insieme di serie temporali di portate medie giornaliere ad ogni sezione di chiusura di ogni sottobacino considerato per il periodo di riferimento. Tale informazione può essere sintetizzata attraverso curve di durata ricavate su base mensile. È stata dunque costruita una curva di durata per ogni mese dell'anno, per un totale di 12 curve di durata per ogni scenario e per ogni sottobacino. La Figura 2-6 riporta un esempio di curve di durata per il mese di gennaio per i quattro scenari nel tratto 1.

#### *Analisi degli effetti di prelievi in alveo*

I quattro scenari appena descritti sono stati usati come riferimento per descrivere le disponibilità idriche attuali e per simulare altri scenari corrispondenti a differenti scelte di gestione futura delle portate. In particolare sono stati utilizzati per simulare i potenziali effetti di prelievi idrici dall'alveo, in particolare associati a piccoli impianti per la produzione idroelettrica, per i quali le richieste di concessione vanno rapidamente aumentando in tutto l'arco alpino. Tali impianti prevedono una produzione annuale massima di 10 megawatt e prelevano una portata regolamentata da concessione direttamente dall'alveo, restituendola più a valle, e rilasciando in alveo una portata residua attualmente corrispondente al DMV.

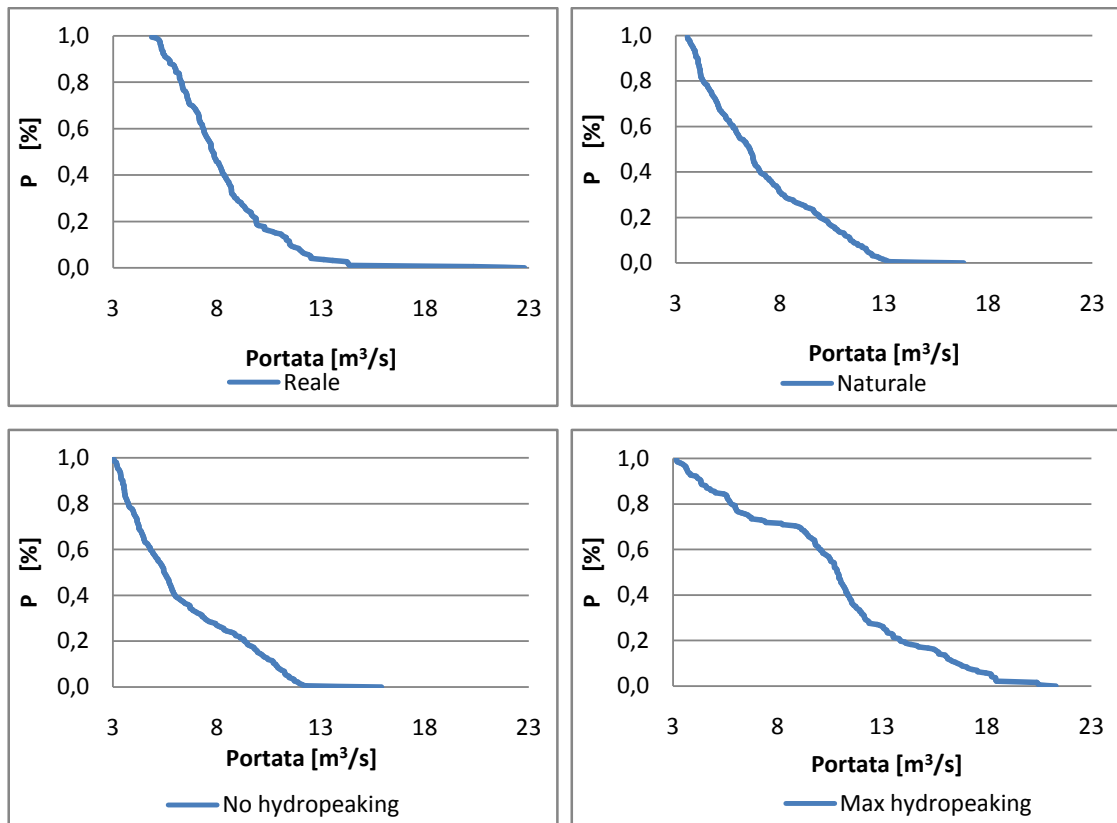


Figura 2-6 Esempio curve di durata relative al mese di gennaio per i quattro scenari di disponibilità idrica, per il tratto 1

Per la simulazione delle disponibilità idriche associate a ipotetici prelievi si è operato come segue. Sono stati inseriti nel modello idrologico ipotetiche concessioni a prelevare per una portata massima di concessione  $Q_c$ , con un rilascio in alveo pari al DMV ( $Q_{DM}$ ) come fissato dal PGUAP. L’algoritmo non consente dunque alcun prelievo se la portata transitante in alveo  $Q(t)$  è minore o pari a  $Q_{DM}$ . Se la portata è invece maggiore del DMV l’algoritmo simula un prelievo pari all’eccesso rispetto al DMV fino al massimo stabilito dalla concessione. Per esempio se il DMV è fissato in  $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$  e la concessione è di  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , la portata effettivamente prelevabile sarà uguale a 0 se la portata transitante è minore di  $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$ , sarà pari alla differenza tra la portata transitabile e il DMV se la portata è minore di  $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$  e sarà di  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  se la portata in alveo è maggiore di  $6.25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Questa procedura, in generale, ha consentito di ricavare per ogni prelievo due serie temporali  $Q_r(t)$  (portata rilasciata in alveo) e  $Q_p(t)$  (portata prelevata) così definite:

$$Q_r(t) = Q(t) - Q_c \text{ se } Q(t) > (Q_{DM} + Q_c);$$

$$Q_r(t) = \min[Q(t), Q_{DM}] \text{ se } Q(t) < (Q_{DM} + Q_c);$$

Equazione 2-1

$$Q_p(t) = Q(t) - Q_r(t) .$$

Equazione 2-2

### *Analisi dei trend di breve periodo con i Test di Mann-Kendall e le Trasformate Wavelets*

Il Mann-Kendall è un test non parametrico che permette di individuare la presenza di una tendenza di medio e lungo periodo nei dati di portata, a seconda della lunghezza della serie da analizzare. Con questo test si può ricavare l'entità del trend in forma quantitativa, ovvero ottenere in base all'intervallo temporale prescelto qual è l'incremento per il tempo successivo.

I segnali ambientali, portata, temperatura e precipitazione, spesso nascondono informazioni difficili da osservare attraverso semplici analisi statistiche quali media, mediana, varianza o caratteristiche non valutabili con test quali Mann Kendall.

Ad esempio il segnale di portata si presenta come una serie di picchi spesso a carattere giornaliero, dovuti alla differente temperatura atmosferica e copertura nuvolosa, che originano un'alternanza di gelo e disgelo che varia d'intensità a seconda del periodo dell'anno, maggiore in estate, minore in inverno.

Per analizzare questi dati con maggiore dettaglio si dispone di strumenti statistici molto sofisticati, uno di questi è il metodo delle trasformate Wavelets. Il segnale così come si presenta è di difficile interpretazione, soprattutto se lo scopo è quello di verificare la presenza di trend in atto. L'analisi wavelet (piccole onde) è in grado di convertire il segnale in una forma più facile da studiare permettendo di individuare la presenza di eventuali trend in atto e di separarli in base alla scala del fenomeno. Non solo, l'analisi delle varie componenti del segnale può evidenziare altri caratteri importanti quali l'incremento della velocità di variazione del segnale.

Va sottolineato che nel momento in cui eventuali trend presenti nei dati non siano particolarmente marcati, questa tecnica, essendo per lo più visiva, può non evidenziarne la presenza.

## 2.2 Modellazione idraulica unidimensionale

La modellazione idraulica è stata utilizzata nell'ambito della metodologia integrata (Figura 1-6 e Figura 1-7) per la previsione della qualità dell'habitat fluviale e dell'idoneità alla navigazione nell'ambito degli scenari idrologici esaminati. Nel presente studio è stata utilizzata una modellazione unidimensionale a fondo fisso in regime stazionario. La scelta dello schema unidimensionale è stata dettata sia dalla tipologia dei dati geometrici disponibili, da cui è stato possibile ricavare sezioni trasversali distanti mediamente 100m, sia dall'estensione notevole del tratto di corso d'acqua considerato (> 25 km). La variabilità della portata lungo l'asta fluviale è stata tenuta in considerazione assegnando, per ogni simulazione, quattro diversi valori di portata a ciascuno dei quattro tratti in cui l'area prioritaria di studio è stata suddivisa (descrizione al Capitolo 1.5), le cui sezioni limite coincidono anche con i confini dei principali sottobacini utilizzati nella modellazione idrologica (Capitolo 2.1). Per ogni valore di portata assegnata a monte del tratto 1 (compreso fra la confluenza con la Vermigliana e il paese di Mezzana), è stato assegnato a ciascuno dei tratti più a valle (2, 3 e 4) il valore di portata corrispondente alla stessa probabilità di non-superamento nella relativa curva di durata mensile per lo stesso scenario di disponibilità idrica.

La descrizione dei metodi relativi alla modellazione idraulica si divide nelle seguenti due sezioni principali:

- Descrizione del modello idraulico utilizzato (HEC-RAS).
- Descrizione del metodo di taratura del coefficiente di resistenza attraverso misure in campo, di portata e disuperficie libera.

### 2.2.1 Il modello idraulico

Il modello utilizzato per la modellazione idraulica è il software River Analysis System (Hec-Ras) nella versione 4.1 rilasciata nel gennaio del 2010. Il codice di calcolo è stato implementato dall'United States Army Corps of Engineering Center (USACE), Hydrological Engineering Center (HEC). Il software simula i profili di corrente a superficie libera nell'ambito di uno schema unidimensionale. Può trattare sia il moto stazionario sia quello non stazionario. Il codice calcola l'andamento del profilo della superficie libera sia in regime subcritico (corrente lenta) sia in regime supercritico (corrente veloce). La quota del pelo libero e le altre principali grandezze idrodinamiche, tra le quali la velocità media e la profondità della corrente, sono calcolate partendo da una sezione dove è assegnata una condizione al contorno, procedendo verso monte o verso valle secondo il carattere supercritico o subcritico del moto in esame. Se la superficie non presenta discontinuità, la quota piezometrica è calcolata risolvendo in maniera iterativa tra due sezioni l'equazione dell'energia, Equazione 2-3 e Figura 2-7, la cui espressione è:

$$Y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

#### Equazione 2-3

In cui:

- $Y_1$  e  $Y_2$  sono la profondità nelle sezioni;
- $z_1$  e  $z_2$  sono le quote del fondo rispetto a un piano di riferimento orizzontale;

- $V_1$  e  $V_2$  sono le velocità medie;
- $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti di ragguglio dell'energia cinetica;
- $h_e$  è la perdita di energia tra le due sezioni.

La perdita di energia  $h_e$  è calcolata tenendo conto di due contributi. Il primo tiene conto delle perdite distribuite legate all'attrito, il secondo tiene conto delle perdite localizzate dovute ad allargamenti o restringimenti o alla presenza di manufatti. Dove il profilo transita per la condizione critica, non si può più utilizzare l'equazione della conservazione dell'energia.

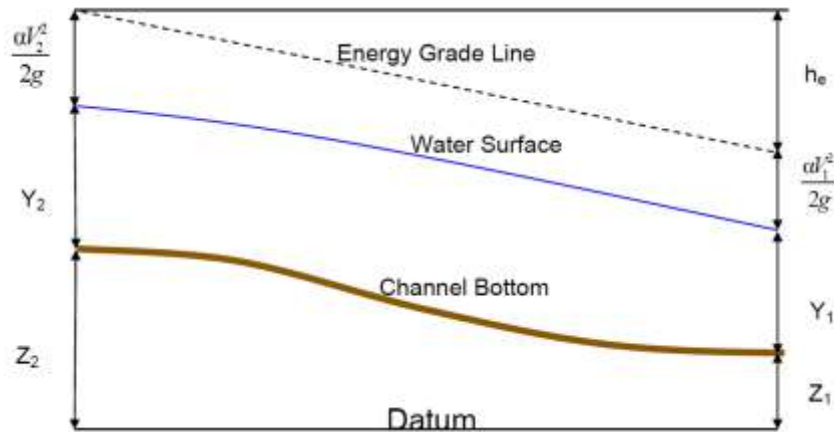


Figura 2-7 Schema del bilancio energetico in Hec-Ras.

Il passaggio tra correnti lente e veloci, o viceversa, con conseguente passaggio in critica può avvenire per diversi motivi, per esempio allargamenti o restringimenti, presenza di opere in alveo, quali pile di ponte, significativi cambi di pendenza o un cambio di portata dovuta ad affluenti o derivazioni. Il codice utilizza in questo caso la conservazione della quantità di moto, equazione 2, la cui formula, scritta in riferimento a un volume di controllo racchiuso fra due sezioni 1 e 2 (Figura 2-8) assume la forma:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = \rho Q \Delta V_x$$

Equazione 2-4

In cui:

- $P_2$  e  $P_1$  rappresentano la spinta o quantità di moto totale nelle due sezioni limite del volume di controllo;
- $W_x$  denota il peso dell'acqua nella direzione della corrente  $x$ ;
- $F_f$  denota la forza di attrito;
- $Q$  denota la portata e  $\rho$  la densità dell'acqua;
- $\Delta V_x$  denota la differenza di velocità tra le due sezioni.

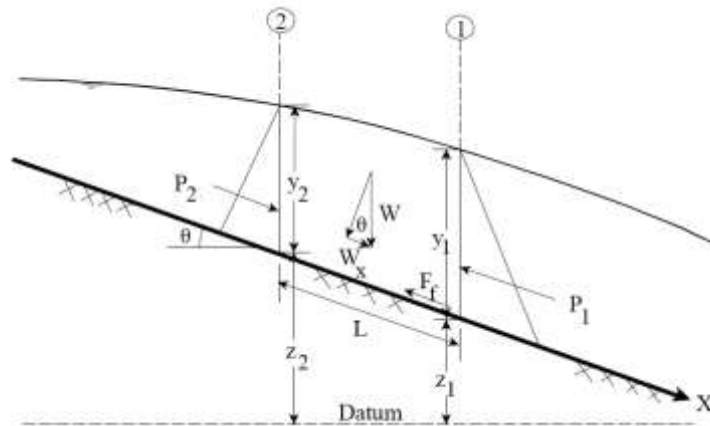


Figura 2-8 Schema della conservazione della quantità di moto in Hec-Ras

Per la simulazione sono stati utilizzati i seguenti dati di input:

**Dati geometrici:** I dati relativi alla geometria delle sezioni trasversali dell'alveo sono stati forniti dal Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento (Figura 2-9). Le sezioni trasversali necessarie per le simulazioni sono definite attraverso i punti del rilievo fornito, (Figura 2-10), che determinano il profilo trasversale della sezione stessa, la distanza tra una sezione e la successiva. Altri parametri che caratterizzano le proprietà della sezione sono il coefficiente di Manning, che indica la scabrezza dell'alveo, e i coefficienti di perdita dell'energia.

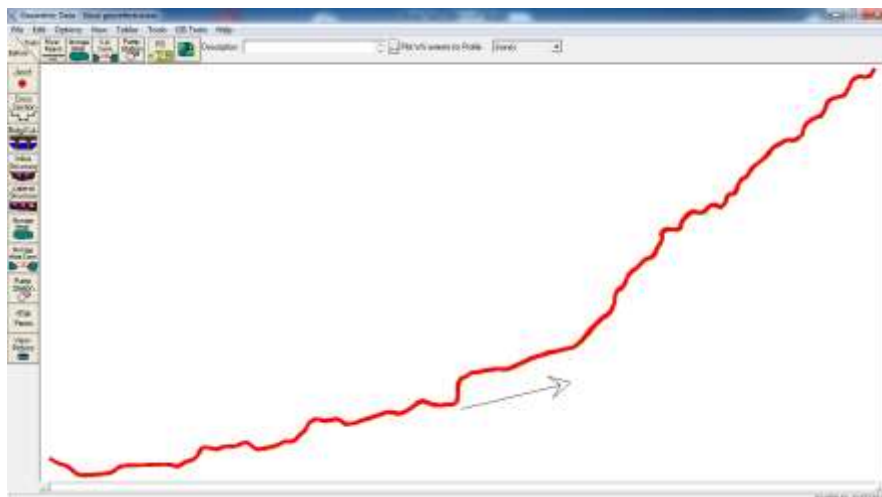


Figura 2-9 Visione planimetrica del tratto del fiume Noce analizzato.



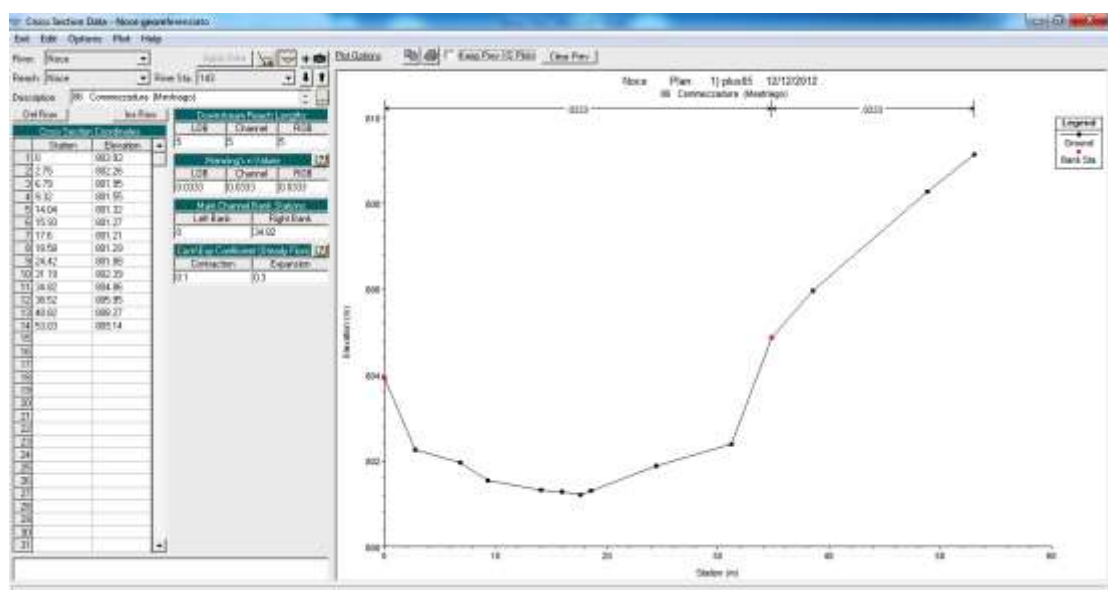


Figura 2-10 Esempio di una sezione trasversale utilizzata nella modellazione idraulica

Le sezioni inserite relative al tratto in esame sono 228 e coprono il tratto di fiume Noce che va da Fucine di Ossana fino al lago di Santa Giustina. La distanza media tra le sezioni è di circa 100 m.

È stata eseguita un'interpolazione lineare tra le sezioni inserite manualmente. Per soddisfare i requisiti di accuratezza della soluzione sono state interpolate sezioni fittizie ogni 5 m.

**Portata e condizioni al contorno.** Al fine di procedere con la simulazioni, oltre ai dati geometrici devono essere forniti i dati di portata e le condizioni al contorno. Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il profilo iniziale della superficie libera agli estremi del tratto in esame. Nel caso in esame è stato assegnato sia a monte sia a valle il valore di superficie libera corrispondente al moto uniforme calcolato con la pendenza locale.

I valori di pendenza assegnati corrispondono a 1.05% a monte e a 1.92%.

### 2.2.2 Taratura del coefficiente di scabrezza.

Il coefficiente di scabrezza è stato calcolato tramite apposite procedure di taratura che hanno richiesto una serie di campagne di misura.

Il calcolo diretto del coefficiente è stato escluso per l'elevato grado di incertezza e rischio di errore associato. Esistono infatti in letteratura molte formule empiriche che forniscono una stima della scabrezza a partire dai diametri caratteristici dei sedimenti presenti in alveo. Tuttavia tali relazioni sono state ricavate da misure sperimentali effettuate in condizioni non facilmente generalizzabili, e non sempre sono pertanto in grado di fornire valori attendibili per uno specifico corso d'acqua. A questo si aggiunge il fatto che le informazioni sulla granulometria del sedimento d'alveo del Noce nel tratto esaminato è conosciuta solo con notevole approssimazione, per classi granulometriche molto ampie, tali da non risultare rilevanti per una stima attendibile del coefficiente di resistenza.

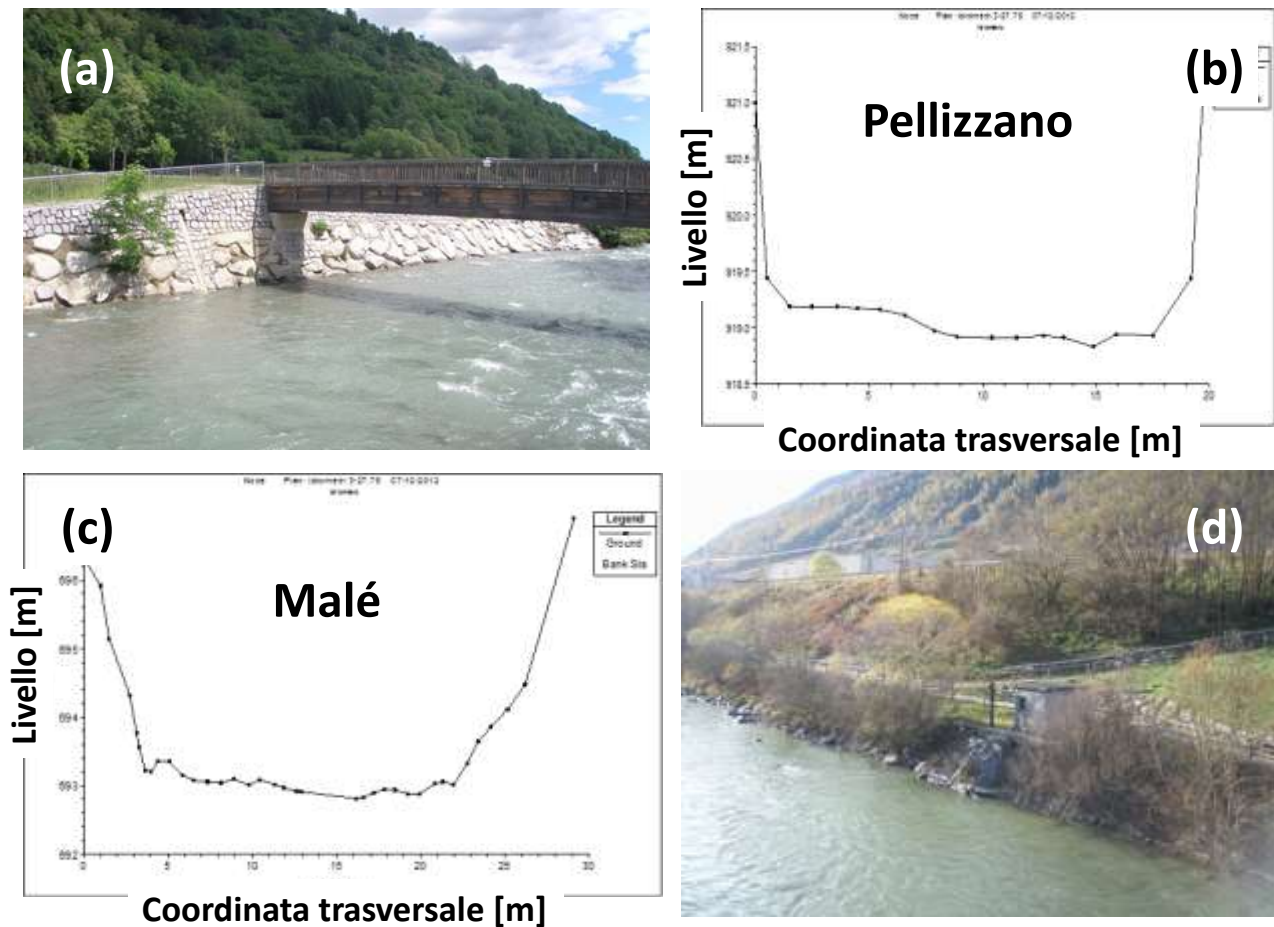


Figura 2-11. (a), (d): vista delle sezioni idrometriche rispettivamente di Pellizzano e Malé; (b), (c): profilo trasversale delle sezioni rispettivamente di Pellizzano e di Malé.

La misura della portata di un corso d'acqua è un'operazione resa complessa da numerosi fattori. Si distinguono metodi *contact*, che prevedono il contatto dell'operatore e/o dello strumento entrino in contatto con la corrente, dai più recenti metodi *non contact*, che sono utilizzabili anche per alte portate e alte velocità perché non è necessaria l'entrata in alveo. Infatti con i metodi *contact* è spesso pericoloso, se non impossibile, effettuare misure con alti livelli di profondità e portata. I metodi *non contact* sono di sviluppo piuttosto recente, e la loro applicazione non è ancora consolidata nelle misure idrometriche. Per questo è opportuno effettuare dei confronti, quando le condizioni idrauliche lo consentano, con misure effettuate con i metodi *contact* tradizionali di cui è più facilmente quantificabile l'affidabilità. In questo lavoro, alle portate in cui l'alveo risultava guadabile, si sono confrontati i dati di portata misurati tramite tre metodi diversi:

- la misura tramite diluizione del sale (metodo della concentrazione salina);
- la misura tramite mulinello idrometrico;
- la misura tramite strumento SVR - *Surface Velocity Radar* (anche detto *Radar Gun*, e.g. Zolezzi et al., 2011b).

Una volta verificata l'affidabilità del terzo metodo, l'unico *non contact*, per il Noce nelle sezioni di Malé e Pellizzano, questo è stato utilizzato per costruire la scala di deflusso fino a valori di portata per cui non era possibile la presenza in alveo di strumenti o operatori. Gli altri due metodi sono stati applicati solo per valutare l'affidabilità delle misure effettuate con *radar gun*.

La stima del coefficiente di Manning è stata effettuata utilizzando due differenti approcci:

- 1) variandone il valore fino ad approssimare al meglio la scala di deflusso misurata e quella simulata tramite il software Hec-Ras.
- 2) massimizzando la corrispondenza fra i profili di superficie libera simulati e misurati per la portata defluente durante la misura.

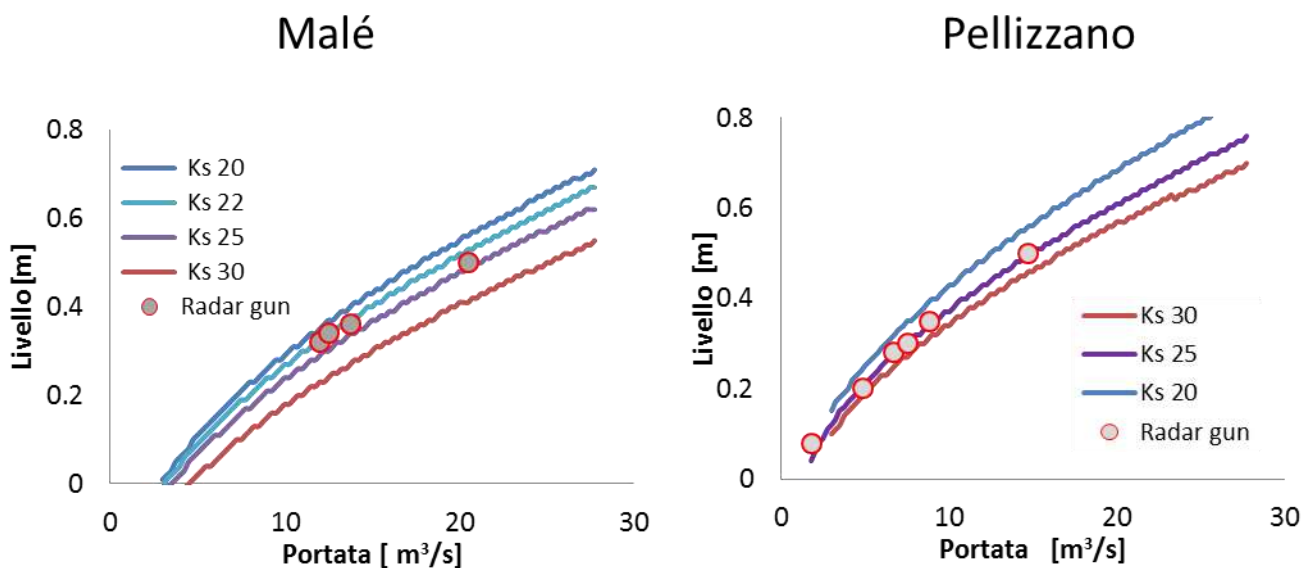


Figura 2-12. Scale di deflusso misurate e simulate nelle sezioni di Malé e Pellizzano per la taratura del coefficiente di resistenza  $K_s$  [ $m^{1/3}/s$ ]. NB.  $K_s = 1/n$ , con  $n$  Coefficiente di Manning.

### 1. Taratura tramite scala di deflusso

È stato tarato il  $K_s$  cercando i valori che forniscono la migliore corrispondenza fra scale di deflusso misurate in campo e simulate attraverso Hec-Ras.

La Figura 2-12 mostra come nella sezione di Pellizzano la scala di deflusso che approssima al meglio i valori misurati sia quella calcolata con  $K_s = 25 \text{ m}^{1/3}/s$ , mentre nella sezione di Malé la scala di deflusso simulata che meglio approssima i valori riportati cambia leggermente con il livello. Per i valori più bassi di livello la migliore corrispondenza si ha con  $K_s = 22 \text{ m}^{1/3}/s$ , al crescere della portata è più idoneo un valore di  $K_s = 25 \text{ m}^{1/3}/s$ .

Nel presente lavoro si è pertanto deciso di utilizzare un coefficiente di scabrezza  $K_s = 25 \text{ m}^{1/3}/s$ , su tutto il tratto e per tutti i valori di portata. Questo si traduce in un coefficiente di Manning  $n$  pari a  $0.04 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$ . Simulazioni effettuate con valori di  $K_s = 22 \text{ m}^{1/3}/s$  hanno comunque fornito differenze dell'ordine del centimetro sul valore simulato della quota della superficie libera.

## **2. Taratura tramite confronto di profili di corrente misurati e simulati**

Sono state eseguite diverse misurazioni del livello della superficie libera in condizioni di portata costante in diversi tratti dell'area prioritaria di studio. Sono state quindi effettuate simulazioni in moto stazionario cambiando il coefficiente  $K_s$  in un intervallo di valori più comunemente attribuiti a corsi d'acqua e torrenti naturali e va da un minimo di  $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  a un massimo di  $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Si è riscontrata una differenza dell'ordine di pochi cm, fra i valori della quota della superficie libera ottenuti dalle simulazioni effettuate con  $K_s$  variabile nell'intervallo  $20 - 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Questa piccola differenza suggerisce la debole influenza del parametro  $K_s$  all'interno di un intervallo di valori ragionevoli per il corso d'acqua esaminato, e non permette in ogni caso di stabilire quale  $K_s$  riproduca al meglio l'andamento osservato della superficie libera. Questo metodo di taratura è stato scartato dopo attente analisi a favore del primo, dimostratosi sufficientemente robusto.

## 2.3 Modellazione integrata dell'habitat della fauna ittica

L'analisi della relazione tra la distribuzione degli organismi acquatici e le caratteristiche dell'habitat, sia queste ultime di natura strutturale (ad es., morfologia e pendenza dell'alveo, distribuzione granulometrica del substrato) sia di natura idraulica (ad es., profondità e velocità della corrente), può essere utilizzata per prevedere gli effetti ecologici di una determinata alterazione idrologica. I Modelli di Simulazione dell'Habitat (MSH, vedasi, Acreman & Dunbar, 2004), impiegati fin dai primi anni '80 (Bovee, 1982), sono ad oggi strumenti ampiamente riportati in letteratura e possono essere applicati utilizzando differenti scale di risoluzione spaziale.

Verranno di seguito descritte le due differenti metodologie utilizzate per il Fiume Noce in questo studio.

La prima è la modellazione della qualità dell'habitat su larga scala, effettuata sviluppando un approccio modellistico *ad hoc* che comprende il modello idrologico GEOTRANSF, il modello idraulico HEC-RAS e il modello matematico di habitat CASIMIR. È un approccio facilmente replicabile su altri corsi d'acqua poiché si basa su informazioni normalmente disponibili, e in buona parte su modelli di comune utilizzo e liberamente disponibili in rete. Inoltre GEOTRANSF è stato utilizzato per lo sviluppo dei Bilanci Idrici della PAT.

La seconda metodologia fa riferimento al cosiddetto approccio a meso-scala che, considerando più variabili ambientali su una scala spaziale più ridotta, permette uno studio più di dettaglio per la valutazione e quantificazione dell'habitat fluviale disponibile per specie target (in questo caso, i salmonidi) in torrenti e fiumi alpini (Veza et al., 2013). L'approccio a meso-scala è flessibile, e può essere utilizzato in quei casi dove i modelli di simulazione idraulica non sono applicabili, quali per esempio torrenti ad elevata pendenza.

Tali metodologie sono entrambe quantitative e complementari: quella basata sull'approccio a meso-scala consente valutazioni a scale spaziali di tratto e in condizioni dove la modellazione matematica non è applicabile; fornisce inoltre informazioni per la costruzione di curve di preferenza utilizzate dalla modellazione matematica, che, a sua volta, consente l'estensione della previsione quantitativa a scale spaziali a cui il rilievo in campo richiesto dall'approccio a meso-scala diventa eccessivamente oneroso.

### 2.3.1 Modellazione matematica

La modellazione matematica dell'habitat è stata svolta tramite il software CASMIR ([www.casimir-software.de](http://www.casimir-software.de); Jorde et al., 2000). "CASIMIR" è l'acronimo di "Computer Aided Simulation system for Instream flow Requirements" ed è un software sviluppato per la modellazione e simulazione dell'habitat nei primi anni '90 dall'Institute of Hydraulic Engineering of Stuttgart University. Negli anni successivi è stato continuamente migliorato e ampliato. All'inizio il software era nato per la modellazione degli habitat del benthos, cui si sono via via aggiunti altri moduli. Nel presente lavoro è stato usato il modulo *Casimir-Fish* nella sua ultima versione dell'ottobre 2010.

I dati di input necessari a questo modulo sono i valori locali di profondità e velocità della corrente e il tipo di substrato. Infatti da studi precedenti (Armstrong et al., 2003) è emerso come la combinazione di questi tre fattori permetta di descrivere in maniera abbastanza rappresentativa l'idoneità di un particolare habitat idraulico per numerose specie ittiche.

Questo modulo permette di calcolare l' idoneità degli habitat dei pesci tramite le cosiddette "curve di preferenza" (Figura 2-14 e Figura 2-15). Le curve di preferenza sostanzialmente esprimono l' atteso livello di gradimento di una determinata specie ittica nei confronti di particolari variabili ambientali, quali appunto velocità, profondità e substrato locali. L' idoneità di un habitat è quantificata tramite l' indicatore HSI (Habitat Suitability Index, Bovee, 1982), definito in una scala tra zero e uno, dove il valore uno indica la massima idoneità e il valore zero la peggiore. Generalmente una serie di parametri concorre a formare la curva di preferenza per una specie, quindi il software provvede a combinare la preferenza di ogni singolo parametro per arrivare a un singolo valore. Per combinarle si usano dei metodi matematici. In particolare il modulo *Casimir-Fish* utilizza l' approccio schematizzato in Figura 2-13.

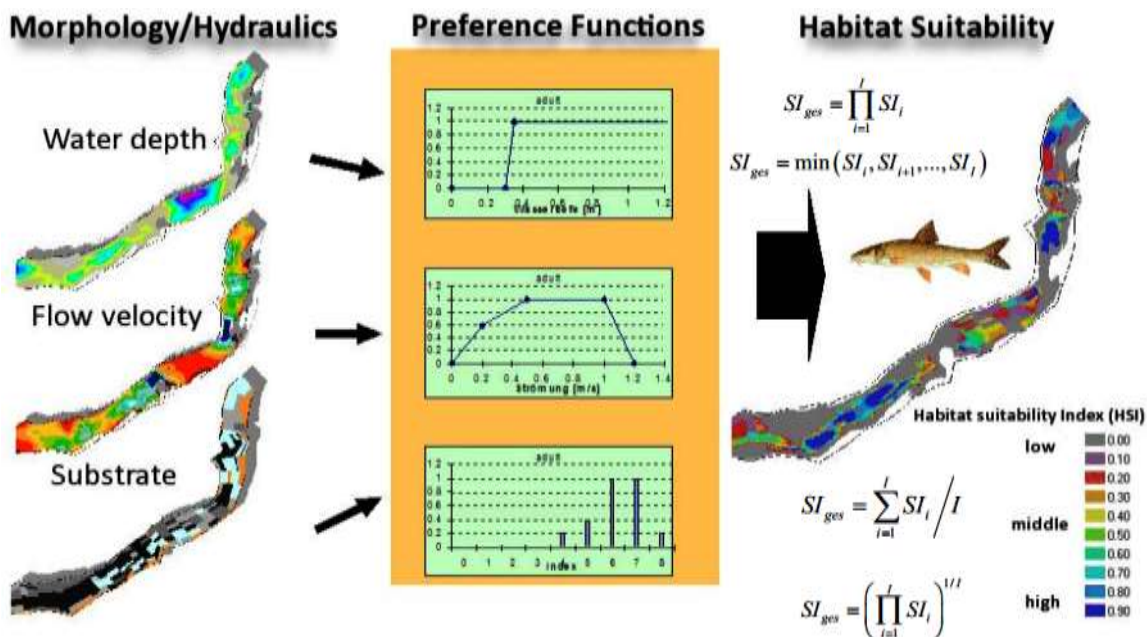


Figura 2-13 Metodi per il calcolo della *habitat suitability* nel software CASIMIR.

In particolare, sono previsti tre metodi per calcolare il valore d' idoneità complessivo dell' habitat a partire dalle curve di preferenza "univariate" che indicano come l' idoneità varia in funzione di una sola delle quantità considerate (es. velocità; profondità; substrato):

- Prodotto: esegue la moltiplicazione tra i valori d' idoneità di ogni curva di preferenza univariata per ottenere un valore unico. Per esempio se per la velocità il valore HSI è 0.2, per la profondità il valore è 0.3 e per il substrato è 0.5 il valore totale di HSI sarà 0.03, cioè  $(0.2 * 0.3 * 0.5)$ .
- media aritmetica; esegue una media tra i due, cioè per l' esempio precedente questo metodo restituisce un valore di HSI di 0.33, cioè  $\frac{0.2+0.3+0.5}{3}$ .
- media geometrica: per l' esempio precedente la media geometrica risulta  $\sqrt[3]{(0.2 * 0.3 * 0.5)} = 0.31$ .

Il valore di HSI è spazialmente distribuito. La modellazione dell' habitat fa riferimento a misure d' insieme della qualità complessiva su un' area di riferimento: la WUA (*Weighted Usable Area*, Area Utilizzabile Ponderata), e l' indice HHS (*Hydraulic Habitat Suitability*, Idoneità dell' Habitat Idraulico). Questi due parametri permettono di valutare la qualità globale dell' habitat in tutta la zona oggetto della simulazione per portata assegnata e la relativa variabilità con la portata. Il parametro WUA, Equazione 3, è calcolato come sommatoria ponderata di ciascuna area con HSI omogeneo pesata con il proprio valore di HSI:

$$WUA = \sum_{i=1}^n A_i * S_i = f(Q) [m^2]$$

#### Equazione 2-5

Dove:

- $A_i$  denota un'area con HSI omogeneo;
- $S_i$  è il valore di HSI della corrispondente  $A_i$ .

Per la nostra analisi il calcolo della WUA è stato effettuato filtrando le aree con idoneità di habitat  $S_i < 0.5$ , a cui è stato assegnato un peso nullo. In assenza di uno standard a livello normativo, questa scelta è stata motivata dalla migliore corrispondenza che si ottiene fra i risultati del modello matematico di habitat con le osservazioni sul campo effettuate nell'ambito dell'approccio a meso-scala nei tratti dove è stato possibile effettuare il confronto. Nel seguito vengono descritti gli input necessari al software CASIMIR per la modellazione del parametro spazialmente distribuito  $S_i$ .

*Dati di geometria.* Le sezioni trasversali sono le stesse utilizzate per l'analisi con Hec-Ras.

*Dati di livello idrometrico.* Casimir richiede in input la quota assoluta del livello idrometrico in ogni sezione e per ogni valore di portata. Il software calcola profondità e della velocità nell'ambito di uno schema unidimensionale che incorpora l'informazione di variabilità trasversale su sezioni di forma irregolare. Per il calcolo del livello della superficie libera è stato utilizzato il software Hec-Ras 4.1 già descritto nel Capitolo 2.2.

*Curve di preferenza della specie target.* Le curve di preferenza univariate per la trota marmorata sono state determinate a partire dalle misure effettuate secondo l'approccio a meso-scala su due tratti rappresentativi del fiume Noce. In sintesi (per maggiori dettagli si veda il successivo Capitolo 2.3.2)

Prima di tutto il corso d'acqua è stato diviso in aree con caratteristiche simili seguendo la metodologia MesoHabsim(Parasiewicz, 2001). Nelle diverse aree sono stati misurati in diversi punti la profondità, velocità e substrato per ottenerne una distribuzione. Le curve di preferenza per la trota marmorata sono state costruite recuperando i pesci tramite la tecnica dell'elettropesca. La popolazione è stata divisa in 2 stadi vitali: giovanile e adulta. Si è così potuto determinare come la trota marmorata, in 2 diverse fasi del suo ciclo vitale, selezioni l'habitat considerando due variabili idrauliche e il substrato. Per costruire la curva di preferenza del substrato si sono utilizzate dieci diverse classi come descritto in Tabella 2-2.

Tipo di substrato	Diametro particelle	Indice
Organic (materia organica)		0
Silt,clay (limo, argilla)		1
Sand (sabbia)	<2mm	2
Fine gravel (ghiaia fine)	2-6mm	3
Medium gravel (ghiaia media)	6-20mm	4
Large gravel (ghiaia grossolana)	2-6cm	5
Small stones (pietre piccole)	6-12cm	6
Large stones (pietre grandi)	12-20cm	7
Boulder (massi)	>20cm	8
Rock (roccia)		9

Tabella 2-2 Classi di substrato utilizzate per la costruzione delle curve di preferenza per la trota marmorata.

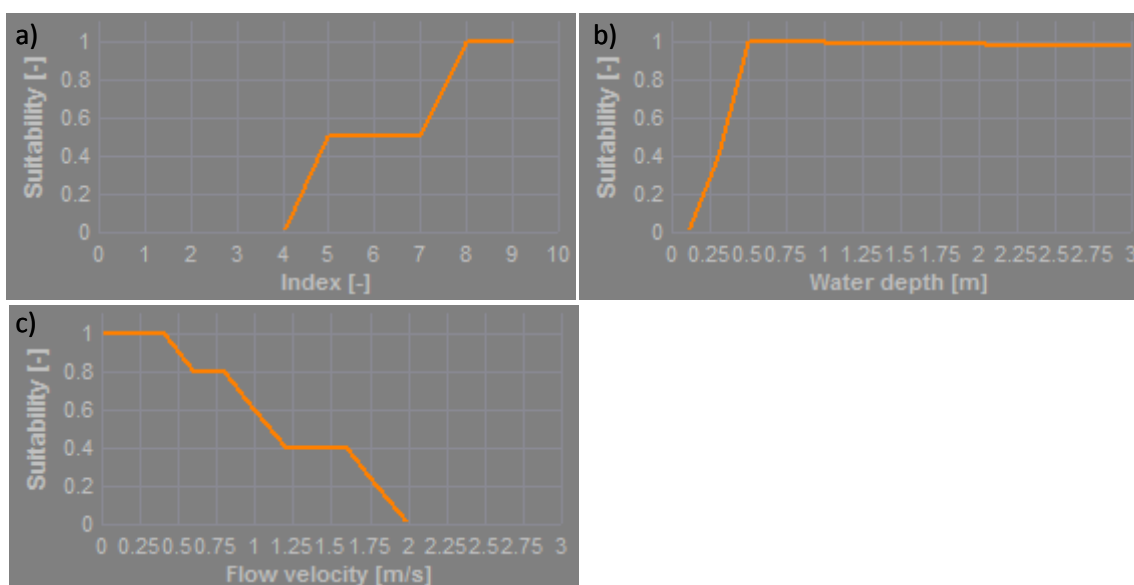


Figura 2-14 Curve di preferenza univariate per trota marmorata, stadio vitale adulto per: a) substrato, b) profondità e c) velocità.



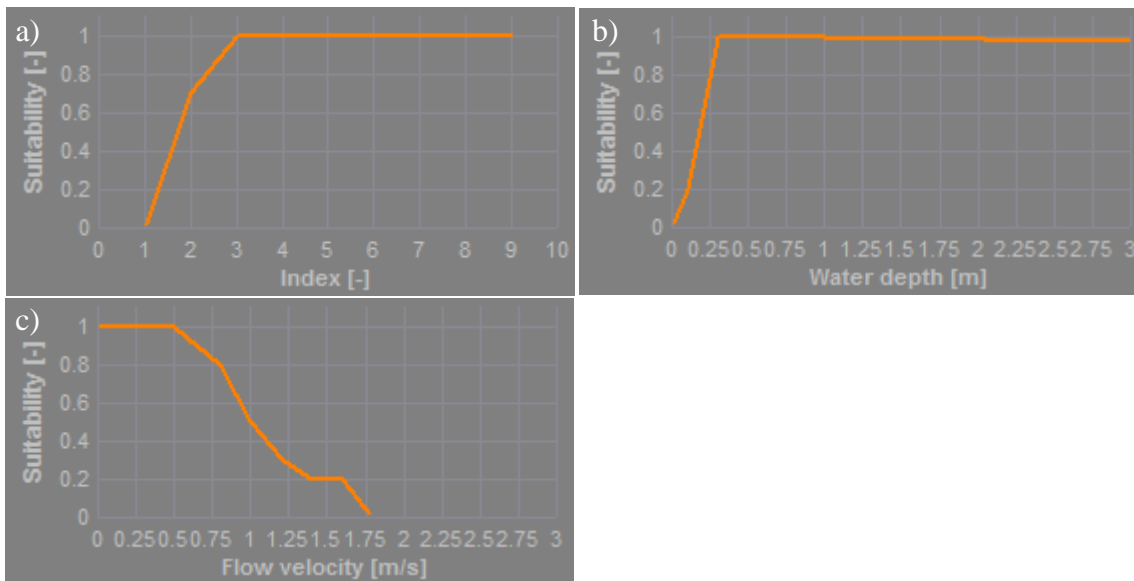


Figura 2-15 Curve di preferenza univariate per trota marmorata, stadio vitale giovane per: a) substrato, b) profondità e c) velocità

Nelle Figura 2-14 e Figura 2-15 sono rappresentate le curve di preferenza univariate ottenute sul Noce rispettivamente per gli adulti e i giovani di trota marmorata, riferite al substrato (a; i valori da 0 a 10 corrispondono ai valori esposti in Tabella), alla profondità (b), alla velocità (c).

**Scala di deflusso.** Si definisce scala di deflusso o scala delle portate, una legge che, per assegnata geometria d'alveo, lega le altezze idrometriche alle portate defluenti. Tale legge è univoca, a rigore, solo in condizioni di moto stazionario uniforme. La scala di deflusso (esempi in Figura 2-12) è il metodo standard utilizzato nelle stazioni idrometriche per la raccolta di dati relativi alle portate in modo tale da valutare la portata defluente attraverso una data sezione. Stabilendo una relazione che lega l'area della sezione alla quota della superficie libera è possibile determinare la portata per ogni livello idrico. La scala di deflusso è solitamente determinata sperimentalmente attraverso il rilevamento simultaneo della portata e dell'altezza idrometrica.

### Valori di portata limite per l'idoneità dell'habitat

La quantificazione di valori limite di portata che definiscano le condizioni limite complessive di accettabilità per il tratto considerato è un aspetto quantitativo fondamentale della metodologia proposta in questo studio, perché consente di disporre di uno strumento quantitativo per la valutazione dello stato attuale e per quantificare gli effetti di scenari futuri di disponibilità idrica in alveo dipendenti da diverse scelte di gestione e trend climatici. Tale strumento, innovativo rispetto alla prassi in vigore per questo tipo di studi, riveste particolare interesse in quanto biologicamente e fisicamente basato, riproducibile, e al tempo stesso in grado di tenere in conto le specificità di ogni sito fluviale.

Il presupposto che, a parità di morfologia e curva di preferenza, la relazione tra la portata e la WUA sia univoca consente di calcolare il valore di Area Utilizzabile Ponderata (WUA) a differenti valori di portata per una fissata specie all'interno di ogni tratto. In Figura 2-16 è riportato un esempio di relazione tra WUA e portata per i giovani di trota marmorata. Si osserva un andamento a massimo che consente di individuare le condizioni di habitat idraulico ottimale per la specie in quel tratto.

La relazione WUA – portata e, più in generale, l'esistenza di una relazione biunivoca fra habitat e portata è il passaggio chiave per quantificare la distribuzione temporale dell'idoneità di habitat a partire dalle serie temporali di portata.

Per effettuare valutazioni quantitative sull'idoneità dell'habitat è necessario definire un valore di soglia dell'indicatore WUA al di sotto del quale si considera che l'habitat sia sostanzialmente di scarsa qualità per la specie considerata. Sulla scelta di tale valore di soglia non esiste un riferimento normativo o scientifico che si possa considerare consolidato. La definizione dei quattro valori di soglia della WUA per i quattro tratti in cui è stato suddiviso il fiume Noce (Capitolo 1.5) è stata dunque effettuata integrando informazioni provenienti dalla letteratura scientifica esistente, da giudizio esperto e dalle osservazioni sul campo. La scelta, in particolare, ha tenuto conto dei seguenti due criteri: il valore WUA di soglia deve essere commisurato alla massima WUA compatibile con ogni tratto, e, nel caso del Noce, l'intervallo di valori di portata corrispondenti a condizioni di habitat complessivamente accettabili sul tratto deve riflettere le condizioni dell'habitat osservato (v. anche Capitolo 2.3.2). La popolazione ittica, benché presente nel Noce in abbondanza, è fortemente gestita da attività di piscicoltura, e, anche per confronto con fiumi alpini di dimensioni e caratteristiche ambientali confrontabili, il tratto di fiume Noce analizzato appare caratterizzato da ampie zone con velocità molto elevate rispetto a valori che determinino un habitat accettabile, soprattutto nelle condizioni dei massimi giornalieri estivi. Sulla base di queste considerazioni, il valore di soglia scelto  $WUA_{lim}$  può esprimersi, per ogni tratto, attraverso la relazione:

$$WUA_{lim} = 0.7 WUA_{max}$$

dove  $WUA_{max}$  indica il massimo valore di WUA compatibile con il tratto in esame.

L'intersezione di questo valore soglia con la relazione WUA-portata definisce così l'intervallo di valori di portata in cui il tratto presenta globalmente condizioni accettabili per la specie considerata (Figura 2-17).

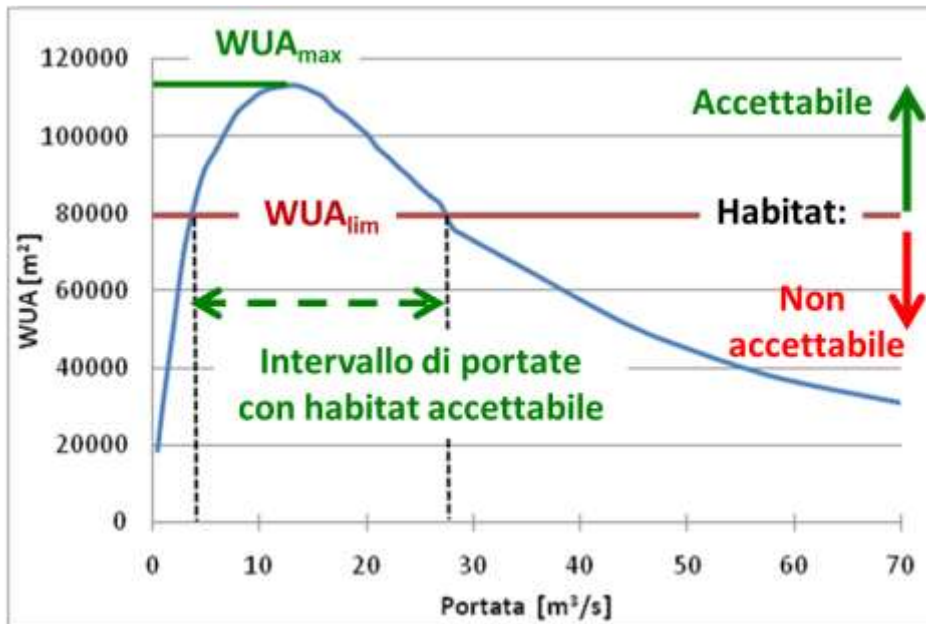


Figura 2-16 Linea blu: Esempio di relazione tra area utilizzabile ponderata (WUA) e portata per la trota marmorata – stadio giovane. Linea rossa: soglia  $WUA_{lim} = 70\% WUA_{max}$ , al di sotto del quale l'ideoneità dell'habitat non è considerata accettabile. Le due linee verticali tratteggiate identificano le relative portate limite per garantire condizioni di habitat accettabile nel tratto esaminato.

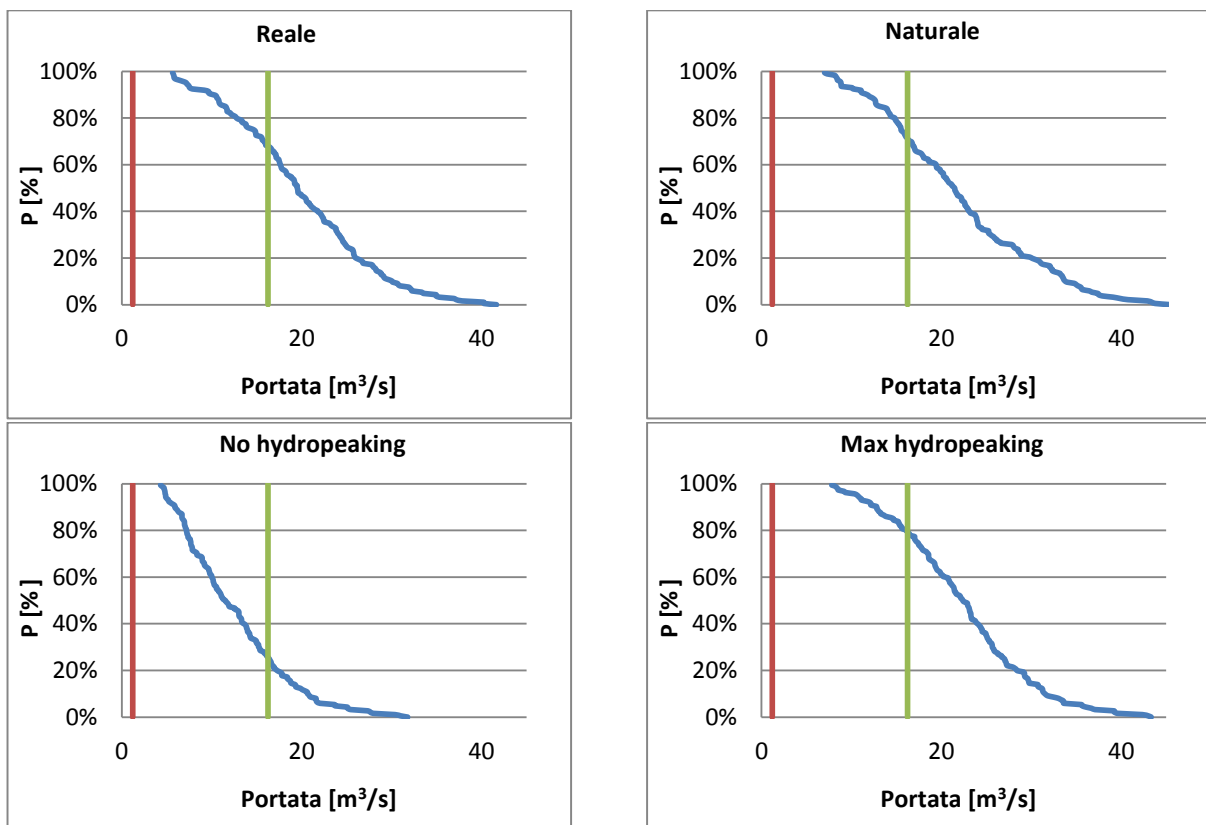


Figura 2-17 Esempio di curve di durata per il mese di giugno e limiti di portata che definiscono condizioni di habitat accettabili per la trota marmorata – stadio giovane.

Intersecando infine i valori limite di portata con le curve di durata corrispondenti ad ogni scenario idrologico (Capitolo 2.1) e a ogni tratto (Capitolo 1.3) è possibile quantificare per ogni mese la percentuale attesa di tempo in cui l’habitat per la specie target è idoneo in quel tratto per il dato scenario. Per esempio, analizzando le curve di durata riferite al mese di giugno (Figura 2-17) si osserva come per gli scenari “reale”, “naturale” e “max hydropeaking” il tratto ha mediamente presentato condizioni favorevoli di habitat per il 50% del tempo. Tale percentuale sale a circa l’80% per lo scenario “no hydropeaking”, rappresentativo dell’assenza di hydropeaking. Questo risultato complessivamente implica che nel periodo di riferimento 2001-2006, al quale sono riferiti gli scenari idrologici, l’habitat è peggiora di circa il 60% in condizioni di portata di picco associata all’hydropeaking rispetto alle condizioni di portata di base, fornendo così una valutazione quantitativa.

Il metodo descritto consente dunque di calcolare, per ogni mese, scenario idrologico, e tratto fluviale la percentuale di tempo durante il quale l’habitat è risultato idoneo. Nel seguito si farà riferimento a tale parametro come *percentuale di tempo mediamente idoneo* (PTMI). Un quadro di sintesi complessivo è visualizzato in Figura 2-18, che riporta l’andamento annuale (mese per mese) del PTMI per il tratto 1 (Vermigliana – Mezzana) per lo stadio giovane della trota marmorata. Si osserva come in questo tratto e per i tre scenari *reale*, *naturale* e *max hydropeaking*, il tratto offra un habitat idoneo per almeno il 90% del tempo in quasi tutti i mesi ad eccezione di maggio, giugno e luglio, caratterizzati da una disponibilità idrica eccessiva per la specie considerata. In questi tre mesi l’habitat migliora considerevolmente nello scenario *no hydropeaking*, ovvero nelle condizioni in cui in alveo defluisca la portata di base dell’*hydropeaking*.

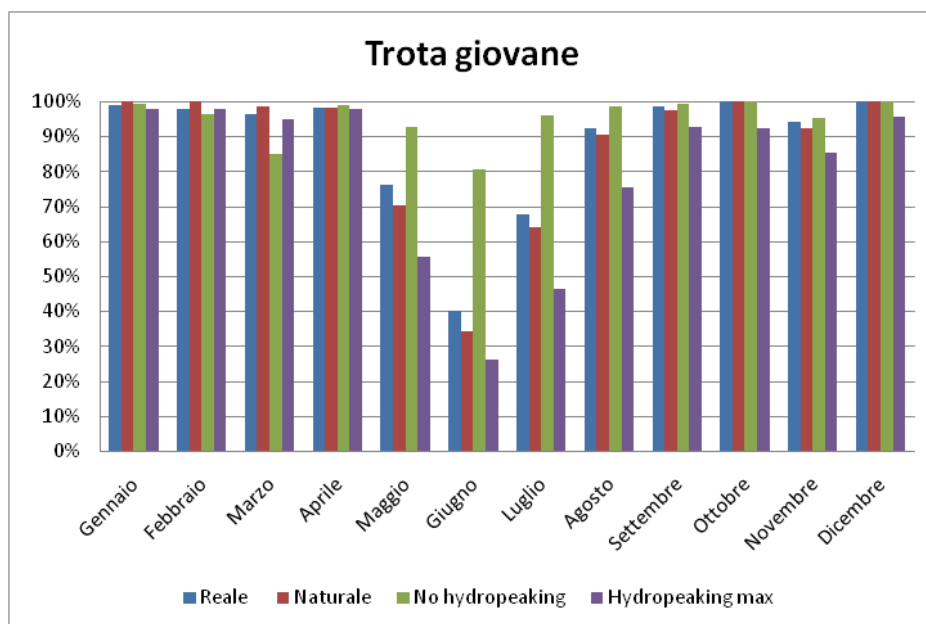


Figura 2-18 “Percentuale di tempo mediamente idoneo” (PTMI) per la trota marmorata, stadio giovane nel tratto 1.

### 2.3.2 L'approccio a meso-scala e l'analisi temporale delle serie storiche di habitat

I torrenti e fiumi alpini dell'Italia settentrionale sono caratterizzati da morfologie complesse (sequenze di raschi, salti e buche e presenza di massi e rocce in alveo), pendenze che variano da moderate a molto elevate (tra l'1% e il 20% circa, Vezza et al., 2012b) e presenza di specie ittiche di interesse locale (ad es., *Salmo trutta fario*) o comunitario (ad es., *Salmo trutta marmoratus*). Sebbene le variabili idrauliche come profondità e velocità della corrente siano importanti per la fauna presente nei corsi d'acqua, altri fattori quali le zone di rifugio, lo stato della vegetazione riparia, le tipologie e la distribuzione del substrato all'interno dell'alveo fluviale possono essere di considerevole rilevanza nel favorire la presenza o l'abbondanza degli organismi acquatici (Gordon et al., 2004). Al fine di far fronte a questo problema, l'approccio a meso-scala (MesoHabsim, Parasiewicz, 2007a; Vezza et al., 2013b) può offrire interessanti possibilità in contesti alpini, utilizzando (i) una adeguata scala spaziale (ii) una vasta gamma di variabili ambientali e (iii) l'analisi temporale delle serie storiche di habitat per la valutazione dell'idoneità dell'ambiente acquatico ed il confronto tra possibili scenari di rilascio attraverso robusti metodi statistici. Viene qui di seguito riportata la descrizione dei passi chiave dell'applicazione della metodologia MesoHabsim al Fiume Noce. Per ulteriori dettagli riferirsi agli articoli di Vezza et al. (2012a, b, c; 2013a, b). Per l'applicazione metodologia MesoHabsim adattata al contesto alpino e applicata al Fiume Noce, si veda in dettaglio il Capitolo 4.1.2.

#### Descrizione dell'habitat fluviale

La descrizione dell'habitat fluviale, effettuata in tratti rappresentativi, viene utilizzata per descrivere i cambiamenti nella composizione del mosaico di meso-habitat (come buche, raschi o rapide) con il variare della portata defluente. Per l'area alpina viene consigliato l'uso di un telemetro laser e un computer palmare per la registrazione diretta in campo delle caratteristiche dei diversi meso-habitat o unità idromorfologiche (HMU). I rilievi vengono solitamente effettuati delineando i poligoni che delimitano le diverse HMU ed associando le caratteristiche di ciascun habitat all'interno di un sistema informativo territoriale (vedasi Vezza et al. 2012a per un elenco delle variabili ambientali utilizzate nella descrizione dell'habitat fluviale). Sulla base del fatto che l'habitat in corsi d'acqua cambia regolarmente con la portata, da tre a cinque rilievi del tratto fluviale per differenti portate in alveo (che interessino condizioni di magra, media e morbida) vengono considerati il minimo indispensabile al fine di descrivere le caratteristiche idromorfologiche e le variazioni spazio-temporali del mosaico di meso-habitat (Vezza et al. 2013b).

#### Modellazione biologica

L'indicatore biologico proposto per i corsi d'acqua alpini è definito in base alla comunità ittica di riferimento. Nello studio effettuato per il Fiume Noce l'attenzione è stata rivolta alla specie trota marmorata (*Salmo trutta marmoratus*), caratteristica della zona di interesse. I dati biologici (riportati in Vezza et al. 2012b) vengono raccolti a scala di HMU attraverso elettropesca e costituiscono la base per la costruzione di modelli statistici multivariati che stabiliscono i criteri di idoneità d'habitat per la specie target considerata. Nel presente lavoro è stata utilizzata la tecnica statistica denominata Random Forests, seguendo la metodologia riportata in Vezza et al. (2013a), impiegata per l'identificazione delle variabili

ambientali che maggiormente influenzano la distribuzione di *S. trutta marmoratus* (stadio vitale adulto e giovane).

Di conseguenza, le variabili selezionate sono suddivise per modello previsionale per assenza/presenza e presenza/abbondanza. La relazione tra le variabili e la probabilità è espressa tramite i diagrammi di dipendenza parziale al fine di studiare l'effetto marginale della variabile selezionata sulla probabilità di presenza o di abbondanza della specie. I modelli biologici, già sviluppati per torrenti e fiumi alpini nelle Alpi Occidentali, sono stati validati per il bacino del Noce nel Torrente Rabbies, confrontando le previsioni della distribuzione spaziale della trota marmorata, date dai due modelli binari di assenza/presenza e presenza/abbondanza, con l'effettiva osservazione degli animali all'interno di 30 meso-habitat campionati in due differenti tratti del torrente.

A valle della validazione, l'applicazione dei modelli biologici ai tratti fluviali analizzati per il Fiume Noce ha consentito di prevedere la distribuzione spaziale della trota marmorata in termini di assenza, presenza e abbondanza e di classificare, di conseguenza, ciascun meso-habitat in tre diverse categorie di idoneità: non idoneo, idoneo, ottimale (Veza et al., 2013b).

### *Relazione habitat-portata*

La mappatura delle HMU, definita attraverso i rilievi sul campo, unita ai criteri multivariati di idoneità d'habitat costituisce la base per lo sviluppo della relazione che lega l'habitat disponibile per la fauna ittica con la portata defluente all'interno del corso d'acqua. L'habitat disponibile è misurato in termini percentuali rispetto alla superficie dell'alveo bagnato. I valori di habitat disponibile che derivano dall'applicazione dei modelli biologici sono quindi interpolati linearmente per la costruzione della relazione (o curva) habitat-portata ed il procedimento viene ripetuto per le specie analizzate ed i rispettivi stadi vitali (Veza et al., 2013b).

### *Analisi temporale delle serie storiche di habitat*

Oltre alle relazioni habitat-portata, l'analisi della variazione temporale delle condizioni di habitat viene considerata come sostanziale elemento per un confronto tra possibili scenari di rilascio in corsi d'acqua interessati da hydropeaking. Le serie di portata in alveo (misurate o simulate) possono essere infatti tradotte in serie temporali di habitat tramite la relazione:

$$HA(t)=H[Q(t)];$$

dove H rappresenta la relazione habitat-portata per una determinata specie o stadio vitale,  $Q(t)$  è la portata defluente al tempo  $t$  e  $HA(t)$  è l'habitat disponibile al tempo  $t$  (Milhous et al. 1990).

Le serie storiche di habitat possono essere analizzate statisticamente al fine di stabilire le soglie temporali, in termini di durata e frequenza di accadimento, di condizioni di habitat che risultano stressanti per l'ecosistema. Tale analisi può essere realizzata attraverso le curve UCUT (*Uniform Continuous Under-Threshold curves*, Parasiewicz 2007b), ossia curve di durata continua dell'habitat disponibile al di sotto una data soglia. Un singolo evento di stress per la fauna risulta caratterizzato dal numero di ore in cui un valore di habitat disponibile rimane al di sotto di una data soglia (Parasiewicz 2007b). 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 o il susseguirsi di picchi di portata dovuti alla produzione di energia idroelettrica) sono

fattori di stress che agiscono sulla comunità ittica e che ne determinano la struttura della popolazione presente.

Si riporta un esempio applicativo per la costruzione delle curve di habitat sotto-soglia. Nell'esempio riportato in Figura 2-19 il calcolo viene eseguito per un periodo di 100 ore (circa 4 giorni) considerando una soglia di habitat disponibile pari al 26% dell'alveo bagnato. Importante notare come nella figura il calcolo del numero di ore in cui la quantità di habitat disponibile si mantiene continuamente al di sotto della soglia considerata sia eseguito per l'intero intervallo di durate (ossia tra l'evento di durata 2 ore – evento E - e l'evento di durata massima pari a 21 ore – evento A). Per ulteriori dettagli sulla costruzione della curve UCUT vedasi Parasiewicz (2007b).

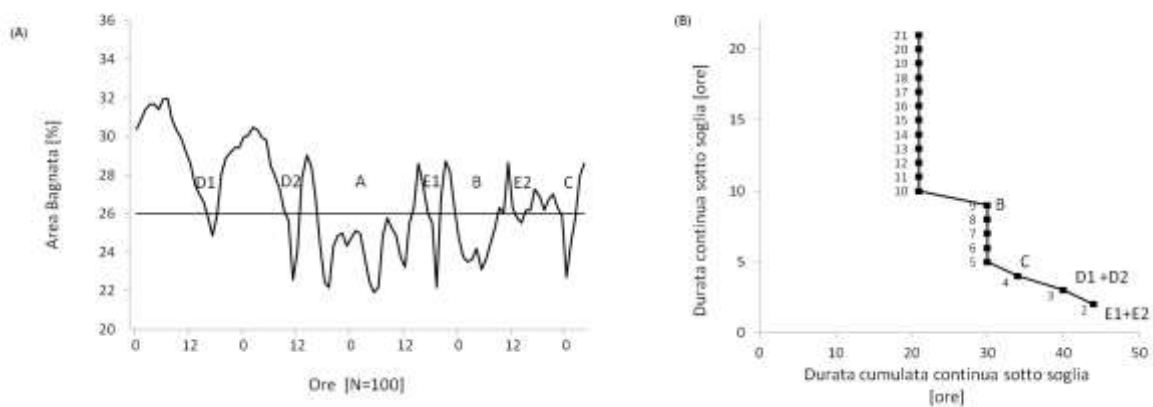


Figura 2-19 Esempio di calcolo della curva di durata dell'habitat disponibile sotto soglia (UCUT). Il calcolo viene eseguito per l'intero intervallo di durate sotto soglia (in Figura: tra 2 ore – evento E - e 21 ore – evento A).

Il processo di costruzione delle curve UCUT viene ripetuto per l'intero intervallo di soglie di habitat disponibile (esprese in % dell'alveo bagnato) definito dalle relazioni habitat portata (Figura 2-20). Questo procedimento ripetuto permette di identificare, in base alla posizione delle curve all'interno del grafico e alla distanza fra esse, le soglie di habitat disponibile utilizzate come riferimento per eventi che si manifestano raramente o comunemente nel periodo di tempo analizzato.

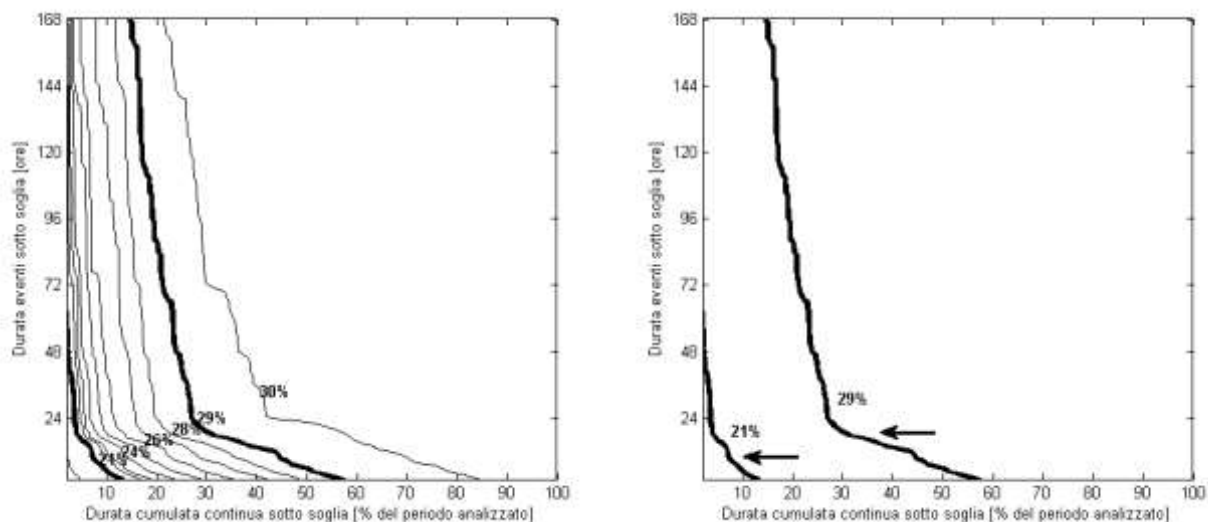


Figura 2-20 Figura di sinistra: curve UCUT costruite per l'intero intervallo di soglie di habitat disponibile (espresso in % dell'alveo bagnato, Figura G) in riferimento al tratto fluviale di Dimaro e alla specie trota marmorata – stadio giovane. Figura di destra: curve 21% e 29% considerate rappresentative rispettivamente delle condizioni rare e comuni di habitat sotto-soglia. Uno spostamento verso sinistra delle due curve indica una riduzione della frequenza di accadimento degli eventi di habitat sotto-soglia.

Come è possibile intuire, gli eventi di habitat sotto soglia-soglia (o di stress per la fauna) con frequenza di accadimento “rara” sono localizzati nell’angolo in basso a sinistra dei grafici riportati in Figura 2-20, mentre condizioni sempre più comuni di habitat sotto-soglia sono indicate dalle successive curve che si incontrano spostandosi verso destra lungo l’asse delle ascisse. Sulla base del fatto che un aumento della distanza tra le curve indica un aumento della frequenza di accadimento dell’evento di stress è possibile identificare due soglie di habitat disponibile che rappresentano i due estremi nella frequenza di accadimento degli eventi sotto soglia. In particolare, nel caso riportato in Figura 2-20, si può fare riferimento, per la loro posizione nel grafico, alle soglie 21% e 29% come rappresentative, rispettivamente, di condizioni rare e comuni di habitat disponibile sotto-soglia. I valori di tali percentuali sono da valutarsi caso per caso e ad esempio per il tratto del Noce esaminato la curva del 29% è scelta come quella che rappresenta il valore di inizio della disponibilità di habitat che comunemente sono sotto soglia.

### Costruzione e confronto di possibili scenari di rilascio.

La costruzione di possibili scenari di rilascio definiti come riduzione di intensità e ampiezza dell’hydropeaking è stata realizzata secondo i seguenti passi: (1) definizione dell’ora di inizio e di fine dell’evento di hydropeaking in base all’analisi del segnale orario della portata defluente; (2) definizione di un deflusso “di base” tramite interpolazione lineare dei due valori così individuati sulla serie temporale, (3) calcolo del volume idrico associato all’hydropeaking, compreso tra il valore della portata nella serie temporale e il corrispettivo valore di base, e verifica attraverso misure in campo e misure fornite, con vincolo di riservatezza, dall’ente pubblico competente (Ufficio gestione risorse idriche della Provincia Autonoma di Trento); (4) costruzione di ipotetici scenari di rilascio andando a ridurre la portata oraria dovuta all’hydropeaking del 10, 30, 50, 70, 90 e 100 %

Al fine di analizzare il regime di magra, considerato critico per la ridotta disponibilità di portata in alveo, e considerare lo stadio vitale maggiormente sottoposto a stress derivanti dall’oscillazione giornaliera delle



portate (García et al. 2011; Tuhtan et al. 2012), gli scenari di riduzione dell'hydropeaking sono stati costruiti per il periodo autunnale - invernale (mesi Ottobre-Marzo, anni 2001-2006) e per lo stadio giovanile della trota marmorata.

Utilizzando quindi come riferimento le curve di durata dell'habitat disponibile sotto-soglia relative al 21% e 29% dell'alveo bagnato (rappresentative, rispettivamente, di eventi sotto soglia che si verificano raramente e comunemente all'interno del periodo analizzato), e ripetendo la costruzione di tali curve per ciascuno degli scenari di riduzione dell'hydropeaking, è possibile valutare l'eventuale spostamento progressivo delle curve UCUT verso sinistra, indicatore di una riduzione della frequenza di accadimento degli eventi di stress per la fauna.

Lo spostamento delle curve UCUT è quantificato come differenza percentuale delle durate cumulate continue riportate sull'asse delle ascisse. Questa operazione può essere eseguita per una particolare durata o per un intervallo di durate (Parasiewicz et al. 2012). Nel presente studio, tenuto conto della scala temporale caratteristica delle operazioni di produzione idroelettrica che interessano il Fiume Noce, l'intervallo di durate di eventi di habitat sotto-soglia è stato definito tra 1 e 168 ore (7 giorni) in modo da confrontare la riduzione degli eventi sotto-soglia sia a scala giornaliera (intervalli compresi tra 1 e 48 ore) e sia a scala settimanale (intervalli compresi tra 1 e 168 ore).

## 2.4 Valutazione della qualità ambientale

La valutazione della qualità ambientale è stata suddivisa nelle seguenti componenti: qualità ecologica, qualità fisico-chimica, qualità idromorfologica, qualità per l'avifauna e per la fauna ittica. L'analisi della qualità ecologica è articolata in due parti principali: la prima focalizzata sull'uso di indicatori adottati dalla Direttiva Quadro 200/60/EU, la seconda focalizzata su studi di dettaglio sulla fauna bentonica e iporreica condotti dal team di lavoro in precedenti progetti di ricerca e integrati durante il presente lavoro con misure ed analisi aggiuntive. Parte dei dati utilizzati per valutare la qualità ecologica sono tratti da risultati di indagini di monitoraggio svolte dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente della Provincia Autonoma di Trento (APPA), pubblicati e/o reperibili online, integrati da dati più dettagliati forniti direttamente dagli uffici APPA e da dati supplementari raccolti sul campo dal nostro gruppo di lavoro nel corso del presente, e di precedenti progetti. I dati relativi all'avifauna sono stati forniti dal Museo della Scienza di Trento.

### 2.4.1 Qualità ecologica

Sono stati utilizzati i seguenti indici di qualità ecologica delle acque correnti: Indice Biotico Esteso o IBE (Ghetti, 1997), MacrOper (ISPRA, 2007), Indice di Funzionalità Fluviale o IFF (Siligardi et al., 2010), e lo studio della fauna iporreica. Per gli indici IBE, IFF e MacrOper sono stati utilizzati dati forniti dall'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento (APPA), e in parte rielaborati dal gruppo di lavoro. Per l'indice MacrOper sono stati anche calcolati valori sulla base di campioni raccolti nel corso del presente progetto in stazioni non incluse nella rete di monitoraggio APPA. Per l'ambiente iporreico, sono stati raccolti campioni nel presente progetto, e confrontati con dati pregressi raccolti dal gruppo di lavoro nel 2006-2009.

La suddivisione in tratti ottenuta dall'indice IQM e descritta nel Capitolo 4.2.4 è stata utilizzata per l'elaborazione cartografica di tutti gli indici di qualità ecologica e chimico-fisica presentati di seguito (IFF, MacrOper, LIM), e per la discussione incrociata degli indici del Capitolo 4.

#### *L'Indice Biotico Esteso (IBE)*

L'IBE si basa sull'analisi delle comunità di macroinvertebrati che colonizzano gli ecosistemi fluviali. Tali comunità, che vivono associate al substrato, sono composte da popolazioni caratterizzate da differenti livelli di sensibilità alle modificazioni ambientali e con differenti ruoli ecologici. Poiché i macroinvertebrati hanno cicli vitali relativamente lunghi, l'indice fornisce un'informazione integrata nel tempo sugli effetti causati da differenti cause di turbativa (fisiche, chimiche e biologiche). Fino a tempi recenti, in cui il recepimento della Direttiva Quadro delle Acque 2000/60 ha imposto l'uso di altri indici integrati, l'IBE è stato utilizzato come metodo di routine nel monitoraggio di qualità delle acque correnti (APAT 2003).

L'I.B.E. deriva dal "Trent Biotic Index" (Woodwiss, 1964), aggiornato come "Extended Biotic Index – E.B.I. (Woodwiss, 1978) e successivamente modificato e tarato per l'applicazione standardizzata ai corsi d'acqua italiani, da Ghetti (Ghetti 1995, 1997). La revisione aggiornata del metodo è riportata nel Manuale APAT/IRSA-CNR, 29/2003.

Il campionamento ha lo scopo di ricostruire la reale struttura in "taxa" della comunità di macroinvertebrati che colonizza un determinato tratto di corso d'acqua; il metodo consente di confrontare la comunità

rinvenuta con quella potenziale che potrebbe cioè svilupparsi in un corso d'acqua con caratteristiche analoghe in assenza di fattori di disturbo.

I diversi "taxa" presi in considerazione dal metodo ed il livello di determinazione tassonomica richiesto sono definiti in Tabella 2-3.

<b>Gruppi faunistici</b>	<b>Livello di determinazione tassonomica per definire le "Unità Sistematiche"</b>
Plecotteri	genere
Efemerotteri	genere
Tricotteri	famiglia
Coleotteri	famiglia
Odonati	genere
Ditteri	famiglia
Eterotteri	famiglia
Crostacei	famiglia
Gasteropodi	famiglia
Bivalvi	famiglia
Tricladi	genere
Irudinei	genere
Oligocheti	famiglia
Altri taxa da considerare nel calcolo dell'IBE	
Sialidae (Megalotteri)	
Osmylidae (Planipenni)	
Prostoma (Nemertini)	
Gordiidae (Nematomorfi)	

Tabella 2-3 Limiti obbligati per la definizione delle unità sistematiche (U.S.) di macroinvertebrati (da: APAT, 2003)

Concettualmente il metodo si fonda quindi sul confronto e la valutazione delle differenze fra la composizione di una comunità "ottimale o attesa", definita ovvero la comunità che in condizioni di naturalità o comunque di "buona efficienza dell'ecosistema" dovrebbe colonizzare quella determinata tipologia fluviale, e la composizione della comunità "campionata" in un determinato tratto di fiume. I valori decrescenti dell'indice vanno intesi come un progressivo allontanamento dalla condizione "ottimale o attesa".

Il metodo prevede l'utilizzo di una tabella a due entrate (Figura 2-21), che permette di trasformare le informazioni racchiuse nelle liste dei "taxa" in un giudizio espresso mediante un valore di indice (Indice Biotico) che esprime i successivi livelli dello stato di qualità, da una condizione "ottimale" ad una condizione di "massimo degrado". Il giudizio di qualità è fondato su due tipi di indicatori: la presenza nel campione di "taxa" a differenti livelli di sensibilità alle alterazioni del corso d'acqua e la ricchezza totale della comunità.

Gruppi faunistici che determinano con la loro presenza l'ingresso orizzontale in tabella (ingresso orizzontale)		Numero totale delle Unità Sistematiche costituenti la comunità (Ingresso verticale)								
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-..
Plecoteri presenti ( <i>Leuctra</i> °)	Più di una U.S.	-	-	8	9	10	11	12	13*	14*
	Una sola U.S.	-	-	7	8	9	10	11	12	13*
Efemeroteri presenti °° (Escludere Baetidae e Caenidae)	Più di una U.S.	-	-	7	8	9	10	11	12	-
	Una sola U.S.	-	-	6	7	8	9	10	11	-
Tricotteri presenti (Comprendere Baetidae e Caenidae)	Più di una U.S.	-	5	6	7	8	9	10	11	-
	Una sola U.S.	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Gammaridi e/o Atiidi e/o Palemonidi presenti	Tutte le U.S. sopra assenti	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Asellidi e/o Nifargidi presenti	Tutte le U.S. sopra assenti	-	3	4	5	6	7	8	9	-
Oligocheti o Chironomidi	Tutte le U.S. sopra assenti	1	2	3	4	5	-	-	-	-
Altri organismi	Tutte le U.S. sopra assenti	0	1-	2-	3-	-	-	-	-	-

**Legenda:**  
 °: nelle comunità in cui *Leuctra* è presente come unico "taxon" di Plecotteri e sono assenti gli Efemeroteri (tranne eventualmente generi delle famiglie di Baetidae e Caenidae), *Leuctra* deve essere considerata al livello dei Tricotteri per definire l'entrata orizzontale in tabella;  
 °°: per la definizione dell'ingresso orizzontale in tabella ogni genere delle famiglie Baetidae e Caenidae va considerato a livello dei Tricotteri;  
 -: giudizio dubbio, per errore di campionamento, per presenza di organismi di "drift" erroneamente considerati nel computo, per ambiente non colonizzato adeguatamente, per tipologia non valutabile con l'I.B.E. (es. sorgenti, acque di scioglimento di nevai, acque ferme, zone deltizie, salmastre);  
 \*: questi valori di indice vengono raggiunti raramente negli ecosistemi di acqua corrente italiani per cui occorre prestare attenzione, sia nell'evitare la somma di biotipologie (incremento artificioso del numero di "taxa"), che nel valutare eventuali effetti prodotti dall'inquinamento, trattandosi di ambienti con elevata ricchezza in "taxa".

Figura 2-21 Tabella per il calcolo del valore di I.B.E.

Il campionamento della comunità di macroinvertebrati che colonizza la sezione del corso d'acqua studiato va effettuato tenendo conto dei "microhabitat" rappresentativi della tipologia fluviale, possibilmente lungo un transetto da sponda a sponda. Lo strumento di campionamento è il retino immanicato con rete a 21 maglie/cm.

La definizione del valore di indice da assegnare ad una determinata sezione di un corso d'acqua si basa su di una tabella a due entrate (Figura 2-21). In ordinata sono riportati alcuni gruppi di macroinvertebrati che, dall'alto verso il basso, riflettono una sempre minore sensibilità agli effetti di alterazione della qualità dell'ambiente. In ascissa sono riportati degli intervalli numerici che fanno riferimento al numero totale di Unità Sistematiche ("taxa" al livello di classificazione previsto in Tabella 2-3) rinvenute nella stazione di campionamento. Il totale delle "Unità Sistematiche" rinvenute in una determinata stazione determina la "ricchezza in U.S. o taxa" della stessa.

La tabella dell'I.B.E. presenta quindi: una entrata orizzontale (primo ingresso in Figura 2-21), che deve essere utilizzata in corrispondenza delle U.S. più sensibili presenti nella comunità della stazione in esame, e una entrata verticale, che va utilizzata in corrispondenza della colonna che comprende il numero totale di

U.S. che formano la comunità complessiva in esame. Il valore di indice sarà definito dal numero indicato nella casella che si trova all'incrocio della riga di entrata orizzontale con la colonna di entrata verticale. Particolare attenzione va posta all'entrata orizzontale, essendo quella che può determinare il maggior intervallo di errore. Per questo è necessario verificare in modo rigoroso attraverso il campionamento la reale presenza dei "taxa" più sensibili.

I valori di I.B.E. sono raggruppati in 5 Classi di Qualità (C.Q.), ciascuna individuata da un numero romano, e visualizzate in cartografia mediante colori convenzionali (nell'ordine: azzurro, verde, giallo, arancione e rosso) o altro simbolismo grafico (Figura 2-22). I valori intermedi tra le classi vengono rappresentati mediante tratteggio formato dai colori corrispondenti alle due classi.

CLASSI DI QUALITÀ	VALORE DI I.B.E.	GIUDIZIO	COLORE DI RIFERIMENTO
Classe I	10-11-12	Ambiente non inquinato o non alterato in modo sensibile	Azzurro
Classe II	8-9	Ambiente in cui sono evidenti alcuni effetti dell'inquinamento	Verde
Classe III	6-7	Ambiente inquinato	Giallo
Classe IV	4-5	Ambiente molto inquinato	Arancione
Classe V	1-2-3	Ambiente fortemente inquinato	Rosso

Figura 2-22 Tabella di conversione dei valori di I.B.E. in classi di qualità, con relativo giudizio e colore per la rappresentazione in cartografia.

Sul torrente Noce i dati si riferiscono a campionamenti IBE effettuati da APPA-Trento in luglio ottobre 2008, aprile e luglio 2009, agosto ottobre 2010, nelle stazioni di Pellizzano e Cavizzana sul Noce, di Malè e Rabbi sul Rabbies, a Ossana sulla Vermigliana ed infine a Cusiano sul Noce Bianco, integrati con dati a lungo termine (dal 1990) per la stazione di Cavizzana, utilizzata dalla PAT per i monitoraggi della qualità della componente ecologica dell'alto corso del Noce dal 1990.

### **Indice di Funzionalità Fluviale (IFF)**

L'Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F.) è un metodo messo a punto dall' Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA) ora Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT), per valutare lo stato complessivo dell'ambiente fluviale e della sua funzionalità, intesa come capacità auto depurativa derivante dalla interazione di vari sistemi biotici e abiotici presenti nell'ecosistema acquatico e in quello terrestre ad esso collegato. La versione pubblicata da APAT risulta essere una elaborazione dell'RCE-I (Riparian Channel Environmental Inventory, Petersen, 1992) adattato ai corsi d'acqua italiani da Siligardi e Maiolini (1990, 1993). Il metodo è stato aggiornato e rivisto nel 2007 da Siligardi et al., e questa versione è stata utilizzata nel presente progetto.

L'IFF viene utilizzato per definire il livello di funzionalità di un corso d'acqua ed eventualmente individuare i motivi di scarsa naturalità di ciascun tratto esaminato. La scheda IFF si compone di una intestazione con la richiesta di alcuni metadati e di 14 domande che riguardano le principali caratteristiche ecologiche di un corso d'acqua. La struttura della scheda è impostata tenendo in considerazione vari comparti ambientali, quali il territorio circostante, la fascia perifluviale, le condizioni idriche, la struttura dell'alveo, le caratteristiche biologiche. I dati richiesti riguardano principalmente il bacino, il corso d'acqua, la località, la larghezza dell'alveo di morbida, la lunghezza del tratto omogeneo in esame, la quota media del tratto. Le domande possono essere raggruppate in gruppi funzionali:

- le domande da 1 a 4 riguardano le condizioni vegetazionali delle rive e del territorio circostante al corso d'acqua ed analizzano le diverse tipologie strutturali che influenzano l'ambiente fluviale, come, ad esempio, l'uso del territorio o l'ampiezza della zona riparia naturale;
- le domande 5 e 6 si riferiscono alla ampiezza relativa dell'alveo bagnato e alla struttura fisica e morfologica delle rive, per le informazioni che esse forniscono sulle caratteristiche idrauliche;
- le domande da 7 a 11 considerano la struttura dell'alveo, con l'individuazione delle tipologie che favoriscono la diversità ambientale e la capacità di auto depurazione di un corso d'acqua;
- le domande da 12 a 14 rilevano le caratteristiche biologiche, attraverso l'analisi strutturale delle comunità Macrobentonica e Macrofitica e della conformazione del detrito.

La compilazione della scheda viene effettuata risalendo il corso d'acqua dalla foce verso la sorgente, in modo da individuare tratti omogenei di varia lunghezza anche mediante l'ausilio di cartografia appropriata (1:10.000) e di rilievi aerofotogrammetrici. Alle risposte sono assegnati pesi numerici raggruppati in 4 classi (con peso minimo 1 e massimo 40) che esprimono le differenze funzionali tra le singole risposte. Le quattro risposte alternative nella loro gradualità dalla prima alla quarta, evidenziano rispettivamente la massima e la minima funzionalità ecologica associata a tale elemento. Il punteggio totale di IFF, ottenuto sommando i punteggi parziali relativi ad ogni domanda, può assumere un valore minimo di 14 e uno massimo di 300., viene denominato Valore di I.F.F., e tradotto nel rispettivo Livello di Funzionalità espresso in numeri romani, a cui corrisponde un Giudizio di Funzionalità ed un colore di riferimento, utilizzato per la rappresentazione cartografica, così come evidenziabile nella Figura 2-23.

VALORE DI IFF	LIVELLO DI FUNZIONALITÀ	GIUDIZIO DI FUNZIONALITÀ	COLORE
261 - 300	I	ottimo	Blu
251 - 260	I-II	ottimo-buono	Blu
201-250	II	buono	verde
181 - 200	II-III	buono-mediocre	verde
121 - 180	III	mediocre	giallo
101 - 120	III-IV	mediocre-scadente	giallo
61 - 100	IV	scadente	arancio
51 - 60	IV-V	scadente-pessimo	arancio
14 - 50	V	pessimo	rosso

Figura 2-23 Livelli di funzionalità e relativo giudizio e colore di riferimenti (da: Siligardi et al., 2007)

L'IFF permette anche di confrontare la funzionalità reale di un dato corso d'acqua (misurata attraverso il rilievo IFF) con quella potenziale, corrispondente alle sue condizioni di riferimento naturali. Tali condizioni possono essere definite attraverso l'identificazione delle condizioni di massima funzionalità raggiungibile,

nel tratto specifico, per ciascun aspetto considerato dal metodo (e, quindi, per ciascuna domanda). Il rapporto tra IFF reale e potenziale, definito come funzionalità relativa, può essere espresso in percentuale ed esprime in modo semplice l'eventuale decremento del reale rispetto al potenziale.

I dati IFF utilizzati nel presente studio, e i commenti ai valori di funzionalità sono stati forniti direttamente dall'Agenzia Provinciale Protezione Ambiente della Provincia Autonoma di Trento o reperiti online (<http://www.appa.provincia.tn.it/appa/pubblicazioni/-Acqua/pagina96.html>), e si riferiscono a rilevamenti effettuati nel 2010.

### **MacrOper**

Il sistema di classificazione MacrOper consente di derivare una classe di qualità per gli organismi macrobentonici, utile per la definizione dello Stato Ecologico, in accordo con quanto richiesto dalla Direttiva Quadro Europea sulle Acque (WFD 2000/60). Per poter giungere ad una classificazione di qualità ecologica mediante il sistema MacrOper, con l'eccezione dei grandi fiumi che prevedono metodiche di campionamento a parte, è necessario soddisfare i seguenti requisiti:

- l'utilizzo di informazioni sull'abbondanza dei taxa bentonici raccolti;
- liste faunistiche con identificazione dei taxa a livello di famiglia;
- campionamento della fauna macrobentonica secondo una procedura multi-habitat proporzionale;
- attribuzione tipologica del tratto fluviale in esame (definendo l'appartenenza di ogni regione a una o più Idroecoregioni(HER), e la tipologia fluviale di ogni corpo idrico) secondo quanto previsto dal D.M. 131/2008. Il bacino dell'alto Noce appartiene (così come tutto il Trentino), all'idroecoregione HER 3, alpi centro-orientali, e la tipologia fluviale identificata è la 03ss2, ovvero torrenti alpini su substrato siliceo.

Il metodo di campionamento utilizzato è di tipo multi-habitat proporzionale (Buffagni et al. 2007). Il prelievo quantitativo di macroinvertebrati viene effettuato su una superficie nota in maniera proporzionale alla percentuale di microhabitat presenti nel tratto campionato. I microhabitat vengono classificati in minerali e biotici. Per il monitoraggio operativo, vengono raccolte 10 unità di campionamento nella sola area di *pool* o nel solo *riffle* o in entrambe a seconda del tipo fluviale. Il numero di unità di campionamento da raccogliere in ciascun microhabitat viene attribuito in relazione all'estensione relativa (percentuale) dei singoli microhabitat, quali *pool* e *riffle*. La superficie coperta da ciascuna unità di campionamento è stabilita in relazione al tipo fluviale o alla idroecoregione di appartenenza e può essere 0.05 m<sup>2</sup> o 0.1 m<sup>2</sup>, per un campione totale rispettivamente raccolto su 0.5 e 1 m<sup>2</sup>. Gli habitat minerali vengono classificati in base alle dimensioni del substrato che sono determinate stimando la lunghezza dell'asse intermedio dei sedimenti. Il microhabitat artificiale è costituito da manufatti di origine antropica e.g. alveo cementificato, blocchi di cemento posizionati in alveo per rinforzarlo. Il microhabitat igropetrico - l'ultimo riportato tra i microhabitat minerali - è in genere poco frequente e si rinviene in condizioni di scarsità d'acqua in fiumi mediterranei o in corsi d'acqua montani.

Nell'idroecoregione 3, in cui è situato l'intero territorio trentino, è previsto il campionamento solo sui seguenti microhabitat minerali (Tabella 2-4).

Microhabitat	Codice	Descrizione
Limo/Argilla < 6 µm	ARG	Substrati limosi, anche con importante componente organica, e/o substrati argillosi composti da materiale di granulometria molto fine
Sabbia 6 µm - 2 mm	SAB	Sabbia fine e grossolana
Ghiaia 0,2 - 2 cm	GHI	Ghiaia e sabbia molto grossolana
Microlithal 2-6 cm	MIC	Pietre piccole
Mesolithal 6-20 cm	MES	Pietre di medie dimensioni
Macrolithal 20-40 cm	MAC	Pietre grossolane
Megalithal > 40 cm	MGL	Pietre di grosse dimensioni, massi, substrati rocciosi di cui viene campionata solo la superficie
Artificiale	ART	Calcestruzzo e tutti i substrati solidi non granulari immessi artificialmente nel fiume
Igropetrico	IGR	Sottile strato d'acqua su substrato solido, spesso ricoperto da muschi

Tabella 2-4 Lista e descrizione dei microhabitat minerali (Buffagni et al.2007).

Un campione è costituito da un numero definito di unità di campionamento (e.g. 10), talora indicate mediante il termine 'repliche', che vengono raccolte in tutti gli habitat presenti con una percentuale di occorrenza almeno pari ad una soglia minima definita. Tale percentuale viene definita in base al numero di unità di campionamento e.g. se esse sono 10 in totale, la soglia minima di presenza di un habitat per essere campionato è 10%. Una unità di campionamento corrisponde al campione raccolto smuovendo il substrato localizzato immediatamente a monte del punto in cui viene posizionata all'imboccatura della rete, su una superficie definita (UNI EN 28265). Nel bacino del Noce, il campionamento è stato effettuato su una superficie complessiva di 0.5 m<sup>2</sup>, derivante dalla raccolta di 10 unità di campionamento su substrati minerali, per una superficie totale di 0.05 m<sup>2</sup>.

Il campionamento deve essere iniziato dal punto più a valle dell'area oggetto d'indagine proseguendo verso monte, in modo da non disturbare gli habitat prima del campionamento. Lo strumento utilizzato per il campionamento quantitativo nei fiumi guadabili, come da norme internazionali (UNI EN 28265), è la rete Surber e i dati relativi campioni così raccolti e identificati vengono utilizzati per il calcolo dell'indice STAR\_ICMi, un indice multimetrico composto da sei metriche opportunamente normalizzate e ponderate, che includono i principali aspetti che la Direttiva Quadro chiede di considerare. Le sei metriche sono: ASPT, Log10(sel\_EPTD+1), 1-GOLD, Numero Famiglie di EPT, Numero totale di Famiglie e indice di diversità di Shannon-Weiner (Tabella 2-5).



Metriche che compongono lo STAR\_ICMi e peso loro attribuito nel calcolo (da Buffagni et al., 2005, 2007, 2008; DM 260/2010).

Tipo di informazione	Tipo di metrica	Nome della Metrica	Taxa considerati nella metrica	Rif. Bibliografico	Peso
Tolleranza	Indice	ASPT	Intera comunità (livello di famiglia)	e.g. Armitage et al., 1983	0.333
Abbondanza/ Habitat	Abbondanza	$\text{Log}_{10}(\text{Sel\_EPTD} + 1)$	$\text{Log}_{10}$ (somma di Heptageniidae, Ephemeridae, Leptophlebiidae, Brachycentridae, Goeridae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Odontoceridae, Dolichopodidae, Stratiomyidae, Dixidae, Empididae, Athericidae e Nemouridae +1)	Buffagni et al., 2004; Buffagni & Erba, 2004	0.266
	Abbondanza	1-GOLD	$1 - (\text{Abbondanza relativa di Gastropoda, Oligochaeta e Diptera})$	Pinto et al., 2004	0.067
Ricchezza /Diversità	Numero taxa	Numero totale di Famiglie	Somma di tutte le famiglie presenti nel sito	e.g. Ofenböck et al., 2004	0.167
	Numero taxa	Numero di Famiglie di EPT	Somma delle famiglie di Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera	e.g. Ofenböck et al., 2004; Böhrer et al., 2004	0.083
	Indice Diversità	Indice di diversità di Shannon-Wiener	$D_{S-W} = - \sum_{i=1}^s \left( \frac{n_i}{A} \right) \ln \left( \frac{n_i}{A} \right)$	e.g. Hering et al., 2004; Böhrer et al., 2004	0.083

Tabella 2-5 Metriche MacrOper.

Il livello di identificazione tassonomica richiesto per il calcolo dell'indice STAR\_ICMi è la Famiglia. Alcune delle metriche componenti necessitano, per poter essere calcolate correttamente, di dati relativi all'abbondanza delle singole famiglie di organismi bentonici. Lo STAR\_ICMi è applicabile anche ai corsi d'acqua artificiali e fortemente modificati.

Il calcolo dell'indice STAR\_ICMi prevede 4 passaggi successivi elencati nel seguito:

- calcolo dei valori grezzi delle sei metriche che compongono lo STAR\_ICMi;
- conversione dei valori di ciascuna metrica in RQE, dividendo il valore osservato (i.e. ottenuto per il campione in esame) per il valore mediano relativo ai campioni di riferimento propri del tipo fluviale analizzato;
- calcolo della media ponderata dei valori di RQE delle sei metriche;
- normalizzazione del valore così ottenuto, effettuata dividendo il valore del campione in esame per il valore proprio dell'indice STAR\_ICMi nelle condizioni di riferimento.

L'indice multimetrico finale (STAR\_ICMi), si ottiene dalla somma delle sei metriche normalizzate, ciascuna delle quali è moltiplicata per il proprio peso. La normalizzazione garantisce la comparabilità dei risultati ottenuti in aree diverse. I valori di indice rappresentativi della qualità ecologica, sono riportati ad una scala ideale da 0 a 1.

Le comunità attese, su cui vengono elaborate le metriche di calcolo degli indici, sono calcolate da quelle presenti in corpi idrici di riferimento non impattati dall'attività antropica e sottoposte al processo di intercalibrazione tra gli Stati membri della Comunità Europea. Il giudizio di qualità per ciascun elemento biologico viene espresso attraverso il rapporto tra il valore osservato e quello rilevato nei siti di riferimento (Rapporto di Qualità Ecologica, RQE Rapporto di Qualità Ecologica, RQE). Il rapporto è espresso come valore numerico compreso tra 0 e 1.

La lista di taxa utilizzata nel Sistema di classificazione MacrOper, e quindi alla base del calcolo dell'indice STAR\_ICMi, è stata ottenuta partendo dalle liste tassonomiche prodotte nel corso dei progetti AQEM ([www.aqem.de](http://www.aqem.de)) e STAR ([www.eu-star.at](http://www.eu-star.at)). Essa è stata successivamente aggiornata confrontandola con la lista proposta dal progetto Fauna Europaea ([www.faunaeur.org](http://www.faunaeur.org)) e si è così ottenuta una *taxa list* che contava circa 330 famiglie. La lista è stata quindi adattata alla realtà italiana, considerando le informazioni

fornite da alcune Agenzie e quanto riportato nella check-list della fauna d'Italia. La *taxa list* comprende oggi 171 taxa, la maggior parte dei quali a livello di famiglia (tranne alcune eccezioni e.g. Hydracarina, Nemertini). Per il calcolo corretto dell'indice STAR\_ICMi, CNR-IRSA e Università della Tuscia hanno sviluppato un apposito free software (IRSA, 2007), utilizzato anche in questo studio.

L'attribuzione a una delle cinque classi di qualità per il sito in esame è da effettuarsi sulla base del valore medio dei valori dell'indice utilizzato relativi alle diverse stagioni di campionamento. La Tabella 2-6 seguente riporta la corrispondenza tra valori di RQE e stati validi per l'indice STAR\_ICMi per la macrotipologia A2 (area geografica Alpina, siliceo) alla quale appartiene l'intero territorio regionale Trentino.

Valori RQE	STAR ICMi	Colore convenzionale
$RQE \geq 0,95$	elevato	blu
$0,71 \leq RQE < 0,95$	buono	verde
$0,48 \leq RQE < 0,71$	sufficiente	giallo
$0,24 \leq RQE < 0,48$	scarso	arancione
$RQE < 0,24$	cattivo	rosso

Tabella 2-6. Limiti e classi dell' indice STAR\_ICMi

Nel presente progetto, i campioni per il calcolo dell'indice STAR\_ICMi sono stati raccolti in Settembre 2012 nelle seguenti stazioni (Figura 2-24): 1) Noce SIC Ontaneta di Croviana; 2) Noce a monte di Dimaro; 3) Noce Bozzana Ponte Stori; 4) Noce Bianco Cogolo a monte del rilascio della centrale; 5) Noce Bianco Cogolo a valle del rilascio della centrale; 6) Vermigliana a valle di Vermiglio; 7) Rabbies a valle di Pracorno. Sono stati inoltre utilizzati i valori di MacrOper forniti da APPA, e relativi a campioni raccolti dal 2008 al 2010 nelle stazioni di Noce Pellizzano, Rabbies Malè, Rabbies Rabbi, Vermigliana Ossana, Noce Valle Del Monte, Noce Bianco Cusiano.



Figura 2-24 Siti di campionamento 2012 per l'indice MacrOper.

## *Fauna iporreica*

La zona iporreica è un ecotono spazialmente instabile individuato tra le acque superficiali e quelle sotterranee. In questa regione si stabiliscono importanti processi ecologici le cui caratteristiche e prodotti sono influenzati, a tutte le scale, da movimenti delle acque, dalla permeabilità, dalla dimensione del particolato che forma il substrato, dalla fauna e dalle caratteristiche fisiche e chimiche della sovrapposizione del corso d'acqua e dell'adiacente acquifero (Boulton et al., 1998). L'ambiente iporreico è colonizzato dalla fauna interstiziale, ovvero quegli organismi che vivono negli "spazi interstiziali" di tutti i tipi di sedimenti, e si muovono in questo habitat senza praticamente smuovere le particelle costituenti o cambiarne la posizione. In tempi recenti, negli studi che interessano la fauna iporreica, particolare accento viene posto sulle relazioni ecologiche che legano i diversi organismi alle acque sotterranee (Gibert et al., 1994), riconoscendo le seguenti categorie, che corrispondono a un crescente grado di adattamento all'habitat:

- 1) Stigosseni: specie ad ampia valenza ecologica, che solo occasionalmente si rinvergono nell'ambiente interstiziale (gli stigosseni possono influenzare i processi nell'ecosistema sotterraneo agendo, per esempio, come predatori o prede);
- 2) Stigofili: specie che sfruttano attivamente le risorse dell'ecosistema sotterraneo, cercandovi protezione da condizioni ambientali sfavorevoli negli ambienti superficiali, o per metamorfosare, o per predare, ma che non sono necessariamente legati a questo ambiente.
- 3) Stigobie: forme estremamente specializzate (nella morfologia, fisiologia, etologia), esclusive di acque dolci sotterranee di cui i crostacei rappresentano una grande percentuale.

Dal punto di vista funzionale, la zona iporreica (HZ) viene attivamente utilizzata dagli organismi iporreici occasionali (organismi, quali insetti acquatici, avannotti e crostacei, che si rinvergono occasionalmente in iporreico per trasporto passivo o per strategie di rifugio) e dagli anfibi (organismi, prevalentemente insetti epigei, che completano lo sviluppo larvale negli interstizi iporreici (uova, pupe, organismi in diapausa) quale ambiente di rifugio contro la predazione, le alte velocità di corrente, le temperature estreme (sia invernali che estive), l'eccessiva mobilità dei sedimenti e l'alterazione del chimismo dell'acqua superficiale.

La zona iporreica ha un ruolo importante per la stabilità e il funzionamento dell'ecosistema fluviale; il suo ruolo come habitat per la fauna dipende dalla dimensione dello spazio interstiziale disponibile (Brunke & Gonser, 1997). Affinché la HZ possa ospitare una fauna differenziata è infatti necessario che siano presenti gli spazi interstiziali in cui gli organismi possono muoversi. Il processo di intasamento degli interstizi presenti tra il sedimento degli acquiferi alluvionali dipende da numerose variabili, quali l'assortimento e la quantità di sedimento rilasciato, il tasso di rilascio (graduale e costante o pulsante) (Blaschke et al., 2003), la granulometria del letto fluviale, la velocità del flusso e il gradiente idraulico. Se viene rilasciato troppo poco sedimento, o se il flusso è troppo veloce, allora si verificano abrasione e asportazione del sedimento. Se si verifica la situazione opposta, la zona iporreica può venire colmata e il flusso d'acqua nell'iporreico viene ridotto tanto da non assortire i sedimenti, causandone globalmente la colmatazione (Blaschke et al., 2003).

In tempi recenti, Bruno et al. (2009) hanno condotto uno studio approfondito dell'ambiente iporreico del Noce al fine valutare gli impatti delle onde di hydropeaking rilasciate dall'impianto di Cogolo-Pont sulla fauna sia iporreica che bentonica (quest'ultima usa l'iporreico come rifugio per evitare la *drift*). Sono state selezionate tre stazioni: A, situata 0,25 km a monte dell'impianto idroelettrico a 1265 m s.l.m.; B (1197 m s.l.m.) e C (1054 m s.l.m.) rispettivamente 0,25 km e 6 km a valle del punto di rilascio dell'impianto. Da settembre 2006 a Agosto 2008 sono stati raccolti campioni di fauna iporreica con cadenza mensile, con l'eccezione di alcuni mesi invernali (novembre 2006, gennaio 2007 e 2008). Temperatura e conducibilità delle acque superficiali e iporreiche sono state registrate a ogni campionamento. Gli invertebrati iporreici sono stati raccolti filtrando 10 L di acqua iporreica raccolta con una pompa Bou-Rouch, ovvero una pompa inerziale a funzionamento manuale collegata a un piezometro inserito nel letto del fiume. La pompa Bou-Rouch permette di prelevare l'acqua interstiziale a una profondità definita nella zona iporreica, insieme con i sedimenti di dimensioni minori, sostanza organica particolata intrappolata tra i sedimenti e ovviamente la fauna ivi residente. I campioni sono stati filtrati con un retino di 10 µm di maglia, e gli organismi così raccolti sono stati identificati in laboratorio. Tale metodica è quella indicata dal progetto PASCALIS (Protocols for the ASsessment and Conservation of Aquatic Life in the Subsurface) afferente al V Programma Quadro per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico (FP5 RTD), che ha prodotto strategie di valutazione e conservazione della fauna acquatica sotterranea tramite la definizione di protocolli di campionamento di acque sotterranee, iporreico incluso.

La ricerca ha permesso di investigare gli effetti spaziali (a valle della perturbazione) e temporali di ripetuti eventi di hydropeaking sulle comunità iporreiche lungo un tratto di 6 km del fiume Noce. Il focus era incentrato sul livello di specializzazione degli organismi alla vita nelle acque sotterranee, e ha permesso di valutare se ripetuti eventi di hydropeaking alterano e riducono l'habitat disponibile per gli organismi iporreici (intasamento dello spazio interstiziale, modifiche del regime termico) per diversi km a valle del punto di rilascio dell'acqua, e in che misura i taxa bentonici utilizzano l'habitat iporreico come rifugio per evitare la deriva (*drift*) catastrofica.

Nel 2013 sono stati raccolti alcuni campioni di fauna iporreica nella parte più bassa del bacino del Noce e nei due affluenti principali (Noce e Vermigliana). Nonostante il campionamento pianificato comprendesse le stazioni indagate per l'indice MacrOper, la difficoltà di accesso in alveo e di utilizzo della pompa Bou-Rouch ha consentito il campionamento solo delle stazioni Vermigliana, Rabbies, Dimaro, monte-valle impianto Cogolo-Pont. Con l'eccezione delle stazioni Cogolo, in queste stazioni l'hydropeaking è assente (Vermigliana e Rabbies) o ridotto rispetto alle stazioni a monte indagate nel 2006-2008, data la maggiore distanza dai punti di rilascio, e la maggiore larghezza dell'alveo (Dimaro).

#### **2.4.2 Fauna zoobentonica e iporreica: precedenti progetti di ricerca**

Alcuni componenti del gruppo di lavoro hanno precedentemente condotto una serie di progetti di ricerca nel bacino del Noce in Val di Sole, che hanno analizzato a fondo una serie di aspetti legati alla fauna zoobentonica e iporreica in diversi corsi d'acqua (e.g. Maiolini e Lencioni, 2001, Maiolini et al., 2009). Benché condotti al di fuori dall'area prioritaria di questo studio, tali progetti forniscono informazioni rilevanti per gli scopi del presente lavoro. Nel seguito ne sono descritti brevemente i caratteri essenziali.

- 1) Il progetto REPORT "Regolazione delle Portate: Linee Guida per una Gestione Eco-Compatibile degli Ecosistemi e della Dinamica Fluviale"

Il progetto è stato sviluppato nel biennio 2006-2008 dall'Autorità di Bacino del Fiume Adige con il Museo Tridentino Scienze Naturali (ricercatori oggi afferenti a FEM) e l'allora Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Trento (Maiolini et al., 2009). Il progetto faceva riferimento al bacino idrografico del fiume Adige, con l'obiettivo generale di sviluppare un modello di gestione sostenibile di corsi d'acqua impattati da *hydropeaking* e dalla regolazione delle portate. Nel corso del progetto sono state svolte varie attività nel bacino del Noce in Val di Sole, in particolare lo studio degli effetti dell'*hydropeaking* sulle comunità zoobentoniche e iporreiche a valle della restituzione delle acque turbinate dalla centrale di Cogolo-Pont (Bruno et al., 2009, 2010); la definizione e valutazione delle alterazioni termiche associate ai rilasci da centrali idroelettriche con bacini di accumulo in alta quota, ovvero il *thermopeaking* (Zolezzi et al., 2011). Benché tali indagini siano state condotte principalmente al di fuori dell'area prioritaria di studio (prevalentemente nel bacino del Noce Bianco, e comunque a monte della confluenza fra Noce e Vermigliana), forniscono comunque alcune informazioni rilevanti per il bacino del Noce in generale e per il tratto situato in area prioritaria. Tali informazioni sono riportate nel capitolo 4 insieme ai risultati del presente progetto.

- 2) Studi condotti da parte della Sezione di Idrobiologia e Zoologia degli Invertebrati del Museo Tridentino di Scienze Naturali dal 1998 al 2004.

Tali studi sono stati condotti attraverso progetti europei sulla porzione superiore del bacino idrografico del torrente Noce Bianco (e.g. Lencioni e Maiolini, 2002), che si estende da circa quota 1950 (bacino di sedimentazione di Malga Mare) e 3768 m s.l.m. (Monte Cevedale) e comprende il sottobacino del Noce Bianco (21,4 km<sup>2</sup>) e quello del Careser (14,5 km<sup>2</sup>). Nel corso di tali ricerche, tutti i corsi d'acqua presenti nel bacino del Noce Bianco sono stati georeferenziati tramite GIS ArcView 3.2 e successivamente ordinati secondo il criterio gerarchico indicato da Strahler (1957) e di ognuno sono state misurate lunghezza e pendenza ogni 100 m di quota. È stato inoltre calcolato il rapporto di biforcazione ( $R_b$ ), che consiste nel rapporto tra il numero di tratti di un dato ordine e il numero di tratti di ordine successivo (Strahler 1984). I corsi d'acqua principali (Figura 2-25) sono stati campionati da ricercatori del Museo Tridentino di Scienze Naturali sia per quanto riguarda la fauna acquatica superficiale che iporreica per diverse stagioni dal 1999 al 2004 nell'ambito di diversi progetti di ricerca.

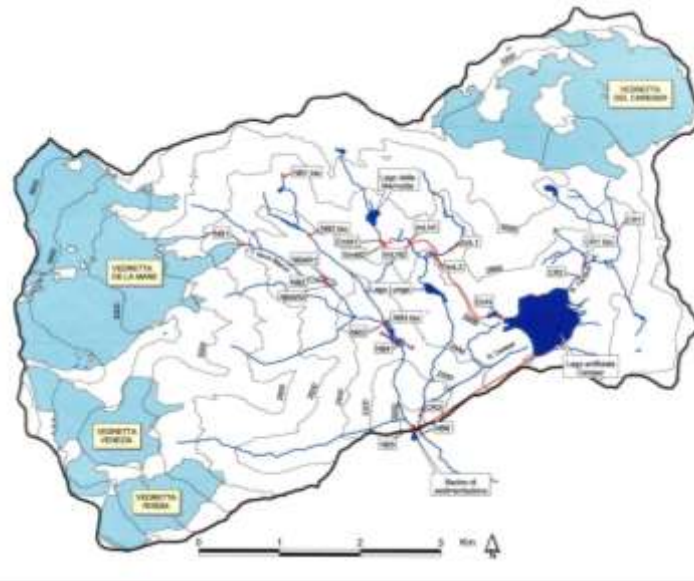


Figura 2-25 Bacino superiore del torrente Noce Bianco e corsi d'acqua analizzati nel periodo 1998-2004 dai ricercatori del Museo Tridentino di Scienze Naturali.

### 2.4.3 Qualità chimico-fisica

I dati di qualità delle acque sono stati forniti dall' Agenzia Provinciale Protezione Ambiente della Provincia Autonoma di Trento, e si riferiscono a rilevamenti effettuati nel 2010.

Il Livello di Inquinamento da Macrodescrittori (LIM) basa il suo giudizio su una serie di parametri chimico-fisici e microbiologici e descrive lo stato di qualità globale delle acque, principalmente dal punto di vista chimico.

L'indice LIM si ottiene sommando i punteggi derivanti dal calcolo del 75° percentile di sette parametri, cosiddetti macrodescrittori (Tabella 2-7, Allegato 1 al D. Lgs. 152/99). I macrodescrittori sono parametri rappresentativi delle condizioni generali del corso d'acqua (livello di ossigeno disciolto), del grado di inquinamento di origine organica (misurato attraverso le concentrazioni di COD e BOD5) e dello stato trofico (nitrati e fosforo totale). Per quanto riguarda l'inquinamento di tipo microbiologico l'unico indicatore utilizzato per il calcolo del LIM è *E.coli*. Per ciascun parametro, indicatore delle pressioni ambientali, viene individuato un livello di inquinamento e un corrispondente punteggio numerico tanto più elevato quanto minore è il livello di inquinamento. Sommando i punteggi dei sette macrodescrittori si ottiene il LIM, che può assumere valori compresi tra il livello 1 (livello di inquinamento minore, colore azzurro) e il livello 5 (livello di inquinamento peggiore, colore rosso).

Parametro	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
100-OD (% sat.)	≤10	≤20	≤30	≤50	>50
BOD5 (O2 mg/L)	<2,5	≤4	≤8	≤15	>15
COD (O2 mg/L)	<5	≤10	≤15	≤25	>25
NH4 (N mg/L)	<0,03	≤0,10	≤0,50	≤1,50	>1,50
NO3 (N mg/L)	<0,3	≤1,5	≤5,0	≤10,0	>10,0
Fosforo totale (P mg/L)	0,07	≤0,15	≤0,30	≤0,60	>0,60
Escherichia coli (UFC/100 mL)	<100	≤1.000	≤5.000	≤20.000	>20.000
Punteggio	80	40	20	10	5
Livello di Inquinamento da Macrodescrittori(LIM)	480-560	240-475	120-235	60-115	<60

Tabella 2-7 I parametri macrodescrittori previsti per il calcolo dell'indice LIM (Allegato 1 al D. Lgs.152/99)

#### 2.4.4 Qualità idromorfologica

La valutazione della qualità morfologica del fiume Noce (asta principale) è stata effettuata facendo riferimento al metodo IDRAIM (sistema di valutazione IDRomorfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua, Rinaldi et al., 2011), un quadro metodologico complessivo di analisi, valutazione post-monitoraggio e di definizione delle misure di mitigazione degli impatti ai fini della pianificazione integrata prevista dalle Direttive 2000/60/CE e 2007/60/CE. Il metodo si basa sull'integrazione di rilievi/interpretazioni sul terreno e telerilevamento/analisi GIS e si articola nelle fasi di inquadramento e classificazione iniziale e successiva valutazione dello stato attuale e monitoraggio. La valutazione dello stato morfologico secondo l'IQM avviene sulla base di tre componenti:

(1) Funzionalità geomorfologica: si basa sull'osservazione delle forme e dei processi del corso d'acqua nelle condizioni attuali e sul confronto con le forme e i processi attesi per la tipologia fluviale presente nel tratto in esame. In altri termini si valuta la funzionalità del corso d'acqua relativamente ai processi geomorfologici (l'assenza di determinate forme e processi tipici per una data tipologia può essere sintomo di condizioni morfologiche alterate).

(2) Elementi artificiali: si valutano la presenza, frequenza e continuità delle opere o interventi antropici che possano avere effetti sui vari aspetti morfologici considerati. Alcuni elementi artificiali hanno effetti molteplici su diversi aspetti: essi verranno ovviamente rilevati una sola volta ma verranno valutati per ogni singolo aspetto.

(3) Variazioni morfologiche: questa analisi riguarda soprattutto gli alvei non confinati e parzialmente confinati e solo alcuni aspetti (principalmente le variazioni di configurazione morfologica plano-altimetrica). Vengono valutate le variazioni morfologiche rispetto a una situazione relativamente recente (scala temporale degli ultimi 50÷60 anni) in modo da verificare se il corso d'acqua abbia subito alterazioni morfologiche (ad es., incisione, restringimento) e stia ancora modificandosi a causa di perturbazioni antropiche non necessariamente attuali.

Il presente studio si è focalizzato sulla valutazione della qualità morfologica del tratto di Noce in area prioritaria di studio (Figura 1-2) facendo riferimento alla procedura per il calcolo dell'Indice di Qualità Morfologica (IQM).

Non è stato possibile nel corso del presente studio avvalersi dell'immagine aerea di riferimento (volo IGM-GAI 1954-55) da utilizzarsi per il calcolo dell'IQM. Tenendo conto anche del fatto che la larghezza media attuale dell'alveo del Noce è inferiore alla soglia indicata di 30m, la metodologia IQM è stata applicata come indicato nel manuale IDRAIM per gli alvei di larghezza inferiore ai 30m, ovvero escludendo la valutazione dei parametri legati alle variazioni morfologiche recenti. Di tali processi, rilevanti soprattutto in vista di suggerire potenziali siti per possibili interventi di riqualificazione morfologica dell'alveo, si è tenuto conto attraverso metodologie complementari e talora analoghe a quelle proposte dal manuale IDRAIM e descritte al successivo Capitolo 2.5. Si nota infine che tale scelta, dettata da vincoli contingenti, non ha comunque comportato differenze sostanziali rispetto all'indice IQM calcolato, durante il medesimo periodo di sviluppo del presente studio, dal personale dell'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente (APPA) della Provincia Autonoma di Trento, con il quale è stato effettuato un lavoro di confronto sui risultati ottenuti.



Il metodo prevede un'articolazione a diversi step, come sintetizzato nel seguito.

Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche (STEP 1).

Vengono inizialmente raccolte informazioni e dati potenzialmente utili, anche successivamente, per comprendere i possibili condizionamenti fisici sul carattere, sul comportamento e sulle variazioni della configurazione longitudinale dei corsi d'acqua in esame. Tali informazioni comprendono: area del bacino, idrologia, litologia, uso del suolo nel bacino. I profili longitudinali (costruiti dalle carte topografiche disponibili), soprattutto per il corso d'acqua principale e i maggiori affluenti, possono fornire indicazioni utili sia per la suddivisione in segmenti che per la successiva suddivisione in tratti. Sulla base di questa prima raccolta di informazioni, vengono individuate le principali unità fisiografiche attraversate dai corsi d'acqua in esame. I tratti dei corsi d'acqua compresi all'interno di ogni unità fisiografica sono denominati segmenti. Essi derivano dall'intersezione dei corsi d'acqua con i limiti di unità fisiografica e rappresentano una prima suddivisione in macro-tratti omogenei, funzionale alla successiva definizione dei tratti. Essi di norma hanno lunghezze che variano da qualche km, soprattutto nelle porzioni montuose del bacino, fino all'ordine di decine di km nelle porzioni di pianura.

Definizione del grado di confinamento (STEP 2).

Per l'analisi del confinamento si fa riferimento al grado e all'indice di confinamento (GC e IC).

Il GC è il grado di confinamento laterale considerato in senso longitudinale, alla scala del segmento o del tratto, cioè a prescindere dall'ampiezza della pianura, e corrisponde alla percentuale di lunghezza del corso d'acqua con sponde non a contatto con la pianura, bensì con versanti o terrazzi antichi. In altri termini esprime la percentuale di lunghezza di un tratto in cui si verifica o meno la condizione di confinamento, ovvero il contatto diretto con elementi che impediscono la mobilità laterale.

In base al grado di confinamento così definito, si distinguono i tre seguenti casi:

1. Alveo confinato: pianura assente. Oltre il 90% delle sponde è direttamente in contatto con versanti o terrazzi antichi. Eventualmente la pianura è ristretta a punti isolati (meno del 10% della lunghezza del tratto). Tipico di ambiti montani e collinari, oppure può essere presente lungo fiumi di pianura limitatamente a tratti di separazione (soglie rocciose) tra bacini diversi.
2. Alveo semiconfinato (o parzialmente confinato): pianura discontinua. Le sponde sono a contatto con pianura alluvionale per una lunghezza compresa tra il 10 ed il 90% della lunghezza del tratto. Tipico delle principali valli alpine, di zone pedemontane (all'uscita dall'ambito montuoso-collinare e all'ingresso nel fondovalle alluvionale), oppure può essere presente in tratti di separazione (soglie rocciose) tra bacini diversi.
3. Alveo non confinato: pianura continua. Meno del 10% dei margini dell'alveo sono a contatto con i versanti o terrazzi antichi. Le sponde sono quindi completamente deformabili, in modo tale che l'alveo è completamente libero di rimodellare i suoi limiti esterni. È tipico delle aree di pianura, ove l'alveo scorre in depositi alluvionali distante dai versanti. Tuttavia, anche in ambito montuoso o collinare un alveo può presentarsi non confinato. È il caso di valli glaciali aventi un fondovalle molto ampio, oppure di conoidi alluvionali di una certa dimensione, dove il corso d'acqua (ad esempio un piccolo torrente) che lo ha

formato si ritrova distante dai versanti e quindi, in analogia con i fiumi di pianura, ha massima libertà di rimodellare le sponde e modificare il proprio tracciato (processi di avulsione).

L'Indice di Confinamento (IC) è definito come il rapporto tra larghezza della pianura (Lp) (comprensiva dell'alveo) e larghezza dell'alveo (La), quindi esprime di quanto un alveo è confinato in sezione trasversale rispetto alla larghezza della pianura. Il valore dell'indice di confinamento è inversamente proporzionale al confinamento stesso, con un valore minimo di 1, che indica che la pianura e l'alveo hanno stessa larghezza (vale a dire pianura assente), mentre valori alti indicano che la pianura è molto larga rispetto alle dimensioni dell'alveo (condizioni di non confinamento).

#### Definizione della morfologia dell'alveo (STEP 3)

La classificazione morfologica dell'alveo si basa su vari fattori quali il grado di confinamento, il numero di canali, la forma planimetrica e la configurazione del fondo (per gli alvei confinati). Una prima schematizzazione del sistema di classificazione morfologica si può ricondurre in prima analisi all'ambito fisiografico nel quale il corso d'acqua è inserito (definito nel precedente STEP), dal quale dipendono le possibili condizioni di confinamento di seguito descritto. Il risultato complessivo degli STEP 2 e 3 porta ad una prima suddivisione del corso d'acqua in una serie di 18 tipologie sulla base del confinamento e della morfologia dell'alveo (Figura 2-26).

CONFINAMENTO	MORFOLOGIA	TIPOLOGIE
Confinato	Canale singolo	(1) Confinato a canale singolo
	<i>Wandering</i>	(2) Confinato <i>wandering</i>
	Canali intrecciati	(3) Confinato a canali intrecciati
	Anastomizzato	(4) Confinato anastomizzato
Semiconfinato	Rettilineo	(5) Semiconfinato rettilineo
	Sinuoso	(6) Semiconfinato sinuoso
	Meandriforme	(7) Semiconfinato meandriforme
	Sinuoso a barre alternate	(8) Semiconfinato sinuoso a barre alternate
	<i>Wandering</i>	(9) Semiconfinato <i>wandering</i>
	Canali intrecciati	(10) Semiconfinato a canali intrecciati
Non confinato	Anastomizzato	(11) Semiconfinato anastomizzato
		(12) Non confinato rettilineo
		(13) Non confinato sinuoso
		(14) Non confinato meandriforme
		(15) Non confinato sinuoso a barre alternate
		(16) Non confinato <i>wandering</i>
		(17) Non confinato a canali intrecciati
		(18) Non confinato anastomizzato

Figura 2-26 Tipologie fluviali derivanti dalla combinazione del confinamento (STEP 2) e della morfologia (STEP 3).

#### Suddivisione finale in tratti (STEP 4)

I tre criteri precedenti (ambito fisiografico, confinamento e morfologia) sono alla base della suddivisione in tratti omogenei dal punto di vista morfologico. Tuttavia, per procedere alla suddivisione definitiva, occorre prendere in considerazione anche aspetti legati alla presenza di discontinuità nella pendenza del fondo, discontinuità idrologiche naturali o artificiali, artificializzazione, variazioni delle dimensioni della pianura e/o dell'indice di confinamento o della larghezza dell'alveo.

Successivamente ai 4 STEP preliminari, nella fase successiva viene classificato lo stato morfologico attuale, secondo le seguenti tre componenti:

- (1) Funzionalità geomorfologica. Si valutano le forme e la funzionalità dei processi.
- (2) Artificialità. Si valuta in base all'esistenza di opere e di interventi.
- (3) Variazioni morfologiche. Si valutano le variazioni avvenute negli ultimi decenni (con particolare riferimento agli anni '50 per quanto riguarda le variazioni planimetriche). Di questa componente, nel presente studio, si è tenuto conto con metodologie leggermente differenti da quelle riportate nel manuale IDRAIM, così come descritto al successivo Capitolo 2.5.

Le analisi della funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche vengono effettuate attraverso l'ausilio di apposite schede di valutazione, che consentono un'analisi guidata dei vari aspetti, attraverso l'impiego integrato di analisi GIS da immagini telerilevate e rilevamenti sul terreno. A tal fine vengono usati un certo numero di indicatori, valutati attraverso variabili quantitative o qualitative. Le schede si differenziano in alcune componenti a seconda della tipologia fluviale e delle dimensioni del corso d'acqua, in modo da consentire una valutazione relativa alle caratteristiche morfologiche della tipologia d'alveo alla quale il tratto analizzato appartiene.

La valutazione finale avviene attraverso un Indice di Alterazione Morfologica (IAM) e un Indice di Qualità Morfologica  $IQM=1-IAM$ . L'indice IQM assume valore pari ad 1 nel caso di un corso d'acqua completamente inalterato (coincidente con condizione di riferimento) e pari a 0 per un corso d'acqua completamente alterato. Sulla base dei valori dell'IQM sono definite le classi di qualità morfologica secondo quanto specificato di seguito.

<b>IQM</b>	<b>CLASSE DI QUALITÀ</b>
$0.0 \leq IQM < 0.3$	<i>Pessimo o Cattivo</i>
$0.3 \leq IQM < 0.5$	<i>Scadente o Scarso</i>
$0.5 \leq IQM < 0.7$	<i>Moderato o Sufficiente</i>
$0.7 \leq IQM < 0.85$	<i>Buono</i>
$0.85 \leq IQM < 1.0$	<i>Elevato</i>

Figura 2-27 Classi di qualità dell' Indice di Qualità Morfologica

Maggiori dettagli sul metodo di calcolo dell'indice IQM sono riportati in Rinaldi et al.(2011).

## 2.5 Morfodinamica fluviale

Negli ultimi decenni si sono andati sviluppando numerosi interventi di “riqualificazione fluviale” (in inglese *river restoration*) con l’obiettivo di migliorare la salute ambientale del corso d’acqua e, in ultima analisi, la capacità degli stessi corsi d’acqua di sostenere la fornitura di beni e servizi richiesti dalle comunità umane e dai sistemi naturali. Nelle aree alpine di fondovalle, in particolare, alcuni di questi interventi hanno avuto come obiettivo quello di favorire il ripristino di un significativo livello di diversificazione morfologica, tale cioè da creare una varietà di habitat fluviali in grado di migliorare la biodiversità dell’ecosistema ed, in ultima analisi, la propria salute ambientale.

Un noto esempio di questi interventi è l’allargamento locale del fiume Drava (Austria), la cui evoluzione morfologica è riportata in Figura 2-28. La strategia di intervento è comune a quella adottata in molti altri fondovalle alpini, dove la necessità di utilizzare le fertili piane alluvionali e di proteggere le attività umane dalle piene si è quasi sempre tradotta in massicci interventi di canalizzazione e semplificazione morfologica di alvei originariamente meandriformi o a canali intrecciati. La riqualificazione morfologica prevede in questi casi di “lasciare più spazio al fiume”, allontanando localmente gli argini fra loro e restituendo così maggiore libertà all’alveo di far evolvere localmente la propria morfologia.



Figura 2-28 Evoluzione morfologica di un tratto del fiume Drava (Austria) oggetto di un intervento di riqualificazione idromorfologica consistente in un locale allargamento tramite allontanamento degli argini a difesa delle sponde opposte.

È spesso accaduto che tale tipo di interventi sia stato realizzato cercando di imporre un prefissato assetto morfologico al fiume, disegnato a priori secondo una logica “di forma” rivelatasi perlopiù fallimentare e causa di ingenti sprechi di risorse. I risultati di queste esperienze, insieme ai progressi della ricerca, hanno chiaramente mostrato come l’efficacia e la sostenibilità di tali interventi sia legata all’effettiva possibilità del corso d’acqua di riattivare processi morfodinamici dovuti all’interazione fra la variabilità delle portate, i processi di trasporto solido, e la dinamica della vegetazione riparia. È il fiume stesso che evolverà attraverso la riattivazione di questi processi verso una nuova configurazione morfologica auto-formatasi e soggetta a continuo cambiamento determinato dal succedersi degli eventi “formativi” di piena in grado di modificarne la morfologia. Nel momento in cui siano pianificati interventi di questo tipo su un corso d’acqua, vanno preliminarmente tenuti presenti due aspetti fondamentali. Il primo riguarda la possibile

interazione di interventi di questo tipo con il rischio idraulico: modifiche locali dell'assetto del fiume possono provocare effetti sui fenomeni di esondazione e in generale sulla sicurezza delle attività umane. In secondo luogo, va tenuto presente che il recupero di uno specifico processo dinamico non ha lo stesso valore in ogni tipologia fluviale e che la complessità e peculiarità di ogni realtà deve essere dunque compresa a fondo prima di intraprendere azioni di riqualificazione fluviale.

L'obiettivo dell'analisi morfodinamica è stato dunque quello di sviluppare una conoscenza il più possibile quantitativa a supporto di possibili interventi di riqualificazione idromorfologica di tratti del Noce. In particolare l'analisi si è focalizzata sui due obiettivi principali:

- 1) Identificare i tratti del Noce che possono essere presi in considerazione per tali interventi, in quanto potenzialmente in grado di attivare dinamiche di evoluzione morfologica;
- 2) Valutare i fattori che possano attualmente limitare le dinamiche morfologiche, e quindi limitare la capacità dei tratti individuati di auto-sostenere interventi di riqualificazione idromorfologica.

L'approccio seguito per il raggiungimento di questi obiettivi è basato quindi su due principali assi di lavoro:

- 1) Quantificazione delle variazioni morfologiche recenti (dal 1859 in poi) attraverso il confronto fra cartografia storica e immagini aeree, individuazione delle aree a potenziale mobilità laterale e analisi del relativo *pattern* geomorfologico
- 2) Analisi dei potenziali fenomeni inibitori della dinamica morfologica, quali l'incisione e il corazzamento dell'alveo

Nello specifico, i metodi impiegati possono riassumersi come segue.

### **1. Analisi cartografica e di immagine.**

Sono state confrontate in ambiente GIS le morfologie dell'alveo del Noce facendo riferimento a tre diverse fonti di cartografia storica e immagini aeree:

- Catasto Austriaco del 1859 (fonte), georeferenziato con sistema di riferimento etrf1989 e rielaborato per ottenere un percorso del fiume confrontabile con i dati attuali; i dati del Catasto sono stati gentilmente messi a disposizione dal gruppo di ricerca della Prof. Elena Daiprà, Dipartimento di Lettere e Filosofia, Università di Trento
- Ortofoto del 1973 (volo del 1973 dalla E.I.R.A., di proprietà della P.A.T.) con sistema di riferimento etrf1989;
- Ortofoto del 2006 (IT 2006, in licenza d'uso alla PAT) con sistema di riferimento ETRF1989.

La foto del 1973 è stata utilizzata solo per riferimenti qualitativi, soprattutto in considerazione del fatto che la foto nella parte della bassa Val di Sole non consente di effettuare valutazioni morfologiche su lunghi tratti dell'alveo a causa dell'ombra della montagna sul fondovalle. Il confronto quantitativo si è dunque focalizzato sui dati del 1859 e del 2006. In ambiente GIS è stato dunque definito un "alveo attivo" tramite poligoni e diviso in tratti in base alle differenze di mobilità laterale rilevate dal confronto tra le mappe. I principali parametri osservati o quantificati in ogni tratto sono la tipologia morfologica e i valori medi sul tratto di: grado di mobilità laterale, larghezza media, lunghezza, sinuosità.

## 2. Analisi delle condizioni formative e del pattern fluviale teorico

Sono stati stimati, per ognuno dei sottotratti semi- e non-confinati, una serie di parametri necessari per la messa a punto delle analisi morfodinamiche necessarie per rispondere agli obiettivi appena descritti. Sono quindi stati calcolati, per ciascuno di questi tratti, valori medi delle seguenti grandezze:

- portata rappresentativa delle condizioni formative, cioè in grado di generare dinamiche morfologiche. A questo scopo, in particolare, un indicatore frequentemente utilizzato è la portata a sponde piene (o *bankfull*, Leopold et al., 1964). La stima della portata a sponde piene è stata effettuata tramite il modello idraulico descritto al Capitolo 2.2;
- pendenza longitudinale del fondo e diametro medio superficiale sul tratto, a partire dal rilievo dell'alveo effettuato dal Servizio Bacini Montani;
- larghezza media della sezione rettangolare equivalente a sponde piene e relativo intervallo di variabilità spaziale;
- periodo di ritorno della portata di *bankfull* attraverso il metodo di regionalizzazione statistica riportato sul PGUAP (pag. 76).

Il calcolo di questi parametri ha consentito di effettuare le seguenti analisi morfodinamiche:

- Quantificazione di un intervallo di valori (min.- max.) di diametro del sedimento trasportabile dalle portate di *bankfull* in ogni tratto, imponendo un valore soglia del parametro di mobilità di Shieldspari a 0.047, comunemente utilizzato negli studi di idraulica fluviale in alvei a materiale grossolano;
- Stima indiretta di potenziali fenomeni di incisione dell'alveo in ogni tratto tramite confronto fra il periodo di ritorno  $Tr$  della portata a sponde piene con il valore tipicamente riscontrato in alvei monocursali e comunque non a canali intrecciati ( $Tr = 1.5 - 2$  anni).
- Previsione della morfologia fluviale di ogni segmento sulla base delle condizioni formative secondo due metodi complementari:
  - o Metodo Empirico (e.g. Kleinhans and Van den Bergh, 2011), basato su soglie stabilite empiricamente a partire dall'analisi di un elevato numero di corsi d'acqua. Tali soglie sono espresse in termini del parametro *unit specific stream power* (letteralmente: potenza unitaria specifica della corrente) e del diametro medio del sedimento dell'alveo;
  - o Metodo Razionale (Crosato e Mosselman, 2009, basato sulla teoria delle barre stazionarie, e.g. Seminara e Tubino, 1992). Il metodo calcola il più probabile numero di canali in una sezione rappresentativa del tratto sulla base della risoluzione linearizzata del modello idraulico bi-dimensionale a fondo mobile.
- Stima del fenomeno di instabilità altimetrica associata alla possibilità di sviluppare barre fluviali (Colombini et al., 1987) e di rispondere con variazioni morfologiche a modifiche localizzate della geometria dell'alveo secondo la teoria dell'influenza morfodinamica bi-dimensionale (Zolezzi e Seminara, 2001).

## 2.6 Modellazione dell'idoneità alla navigazione

L'approccio modellistico integrato, utilizzato per valutare l'idoneità dell'habitat per la specie ittica target al tratto di Noce in esame, è stato impiegato anche per quantificare l'idoneità dello stesso tratto alla navigazione a fini sportivi (rafting in particolare). Con queste finalità è stato sviluppato un metodo originale vista la sostanziale assenza di metodi consolidati nella pratica professionale e anche nella letteratura scientifica.

Il metodo è basato sull'integrazione fra giudizio esperto, modellazione idraulica e idrologica. Il metodo fa riferimento al concetto di curve di preferenza, tradizionalmente utilizzate nella modellazione degli habitat per la fauna ittica. Le preferenze legate alle condizioni di navigabilità sono state ottenute attraverso il giudizio esperto di rappresentanti di diversi centri rafting della Valle di Sole. Dalle interviste realizzate a tal fine, è emerso come numerosi centri prendano come riferimento la misurazione del livello idrometrico alla sezione di misura di Malè per prevedere le condizioni delle discese in rafting. In particolare è emerso quanto segue:

- Livello minore di 40 cm: non è possibile effettuare la discesa;
- Livello compreso tra 40 e 50 cm: la discesa è effettuabile ma non è divertente;
- Livello compreso tra 50 e 90 cm: condizioni ottimali per la discesa;
- Livello compreso tra 90 e 100 cm: la discesa inizia ad essere pericolosa;
- Livello maggiore di 100 cm: non si effettua la discesa per eccessiva pericolosità.

Si precisa che, come accade generalmente, lo zero dell'asta idrometrica non corrisponde alla quota del punto più basso della sezione, situato 53 cm più in basso. Le condizioni riportate, inoltre, non implicano necessariamente difficoltà di navigazione nella sezione di misura, ma sono assunte come riferimento per l'intero tratto fluviale dove si svolgono le discese.

I limiti riportati sono stati utilizzati per costruire le curve di preferenza (e.g. Figura 2-14 e Figura 2-15) per la navigabilità, a partire dalla distribuzione spaziale di profondità e velocità locali della corrente sull'intero tratto. La procedura sviluppata si basa sull'ipotesi che profondità e velocità della corrente siano i parametri idraulici che maggiormente controllano l'idoneità di un tratto fluviale alla navigazione sportiva, come emerge dal giudizio esperto rilevato nel presente studio. Più nello specifico, la procedura adottata è la seguente:

- Attraverso la modellazione idraulica (Capitolo 2.2) vengono calcolati i valori di portata associati ai limiti di livello per la navigazione nella sezione di riferimento di Malè. Tali valori di portata sono poi determinati separatamente per ognuno dei tratti 1, 2 e 4 (così come definiti al Capitolo 1.5; Malè si trova nel tratto 3) assegnando a ogni tratto il valore di portata corrispondente alla stessa probabilità di non-superamento nella relativa curva di durata. Tali valori sono riportati in Tabella 2-8.
- Per ogni valore limite e in ogni tratto viene esaminata la distribuzione in frequenza dei valori locali di profondità e velocità risultanti dalla modellazione idraulica effettuata in regime stazionario. Le distribuzioni sono riportate in Figura 2-29 e Figura 2-30.

Tratti	1: Vermigliana - Mezzana	2: Mezzana - Meledrio	3 - Meledrio - Rabbies	4 - a valle di confl. Rabbies
<b>Livello idrometrico a Malè [cm]</b>	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Portata [m <sup>3</sup> /s]
<b>40</b>	11	13.5	16.5	17.5
<b>50</b>	14.5	18.5	21	22.5
<b>90</b>	33	37	45	55
<b>100</b>	40	44	52	68

Tabella 2-8 Valori di portata significativi per il rafting per i quattro tratti in cui è stata suddivisa l'asta fluviale. La sezione di misura di Malè, assunta come riferimento per determinare i limiti di navigabilità, è situata nel tratto 3.

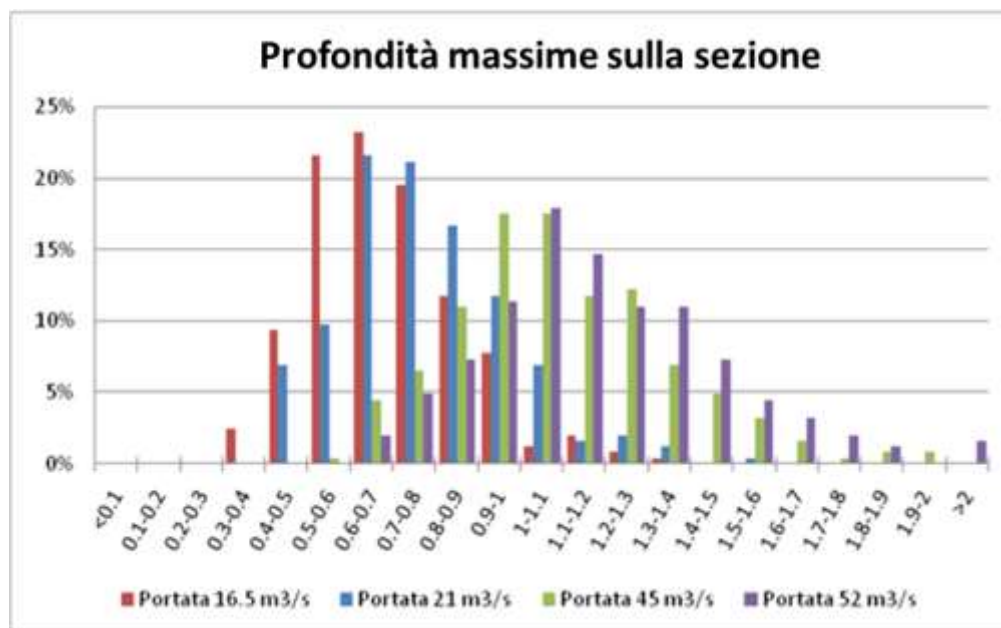


Figura 2-29 Distribuzione in frequenza dei valori massimi di profondità per ogni sezione dell'intera asta fluviale esaminata.

Le Figura 2-29 e Figura 2-30 evidenziano l'aumento dei valori locali di profondità e velocità all'aumentare della portata come appare dallo spostamento delle distribuzioni verso destra.

Ai fini della costruzione delle curve di preferenza sono stati considerati i valori minimi delle quattro distribuzioni di profondità e velocità simulate. Tali valori risultano dalla trasformazione dei limiti di livello riportati sull'idrometro di Malè in limiti "locali", al di sotto dei quali velocità media sulla sezione e profondità massima sulla sezione non scendono in nessuna sezione dell'intero tratto esaminato. Per esempio, in corrispondenza della lettura "40cm" all'idrometro (portata pari a 16.5 m<sup>3</sup>/s), non sono previsti dal modello idraulico valori di profondità inferiori a 36 cm. Questo indica quindi che una profondità massima di 36 cm sulla sezione è il limite inferiore al di sotto del quale la discesa in rafting non è localmente possibile, e, di conseguenza, non diventa possibile continuamente su un tratto più lungo. Un analogo ragionamento può essere fatto in termini di velocità media sulla sezione e conduce a stimare un valore di soglia inferiore locale pari a 0.75 m/s per una portata di 16.5 m<sup>3</sup>/s a Malè (Figura 2-30).

I valori di velocità media e profondità massima sulla sezione ottenuti con portate di 21 m<sup>3</sup>/s e 45 m<sup>3</sup>/s riflettono invece condizioni ottimali: in termini di profondità corrispondono all'intervallo(45 - 150 cm); in



termini di velocità corrispondono a un intervallo (1 – 3 m/s). La discesa è comunque possibile fino a distribuzioni con valori locali massimi di profondità e velocità rispettivamente di 180 cm e 3.75 m/s, al di sopra dei quali diventa troppo pericolosa.

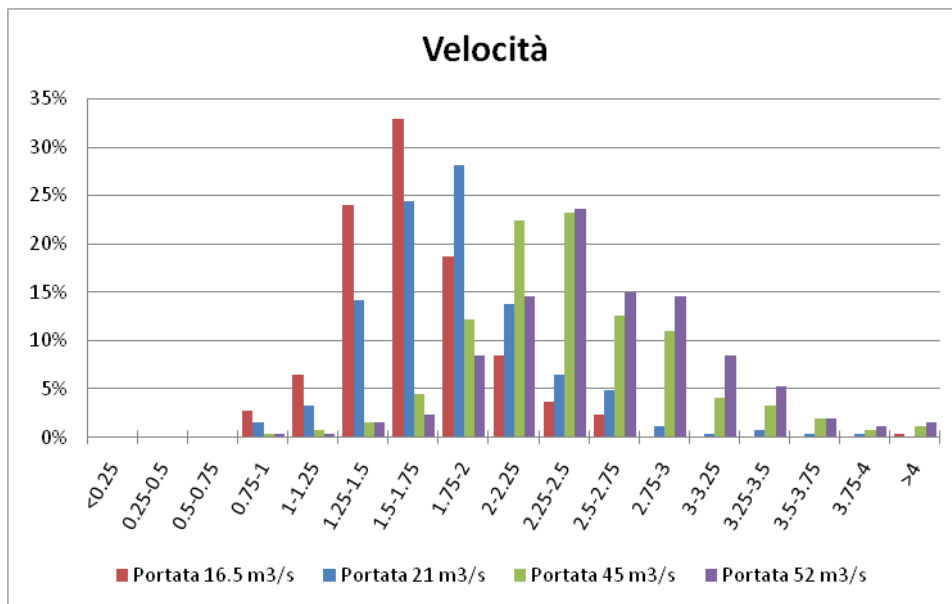


Figura 2-30 Distribuzione in frequenza della velocità media simulata per ogni sezione dell'intera asta fluviale esaminata.

	Limite inferiore	Limite inferiore valore ottimale	Limite superiore valore ottimale	Limite superiore
Profondità [cm]	36	45	150	180
Velocità [m/s]	0.75	1	3	3.75

Tabella 2-9 Valori limite delle curve di preferenza univariate per il rafting ricavati dalla simulazione idraulica

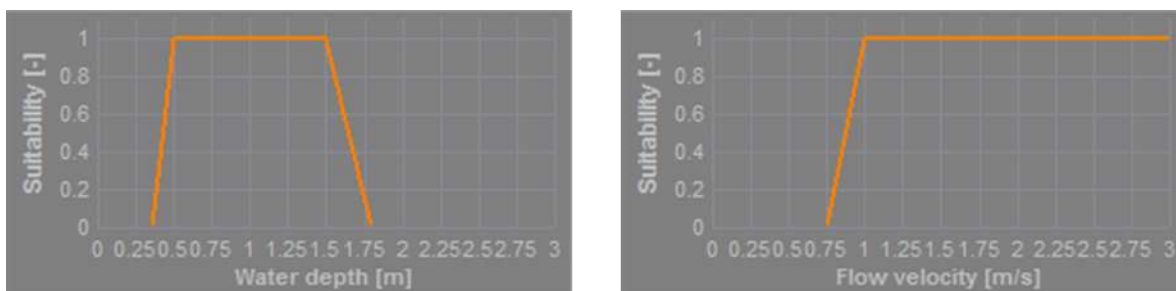


Figura 2-31 Curva di preferenza univariate per il rafting in termini di profondità e velocità.

Le "curve di preferenza" per il rafting sono quindi definite *ad hoc* nel software CASIMIR (modellazione di habitat, Capitolo 2.3.1) attraverso un'interpolazione lineare dei valori limite simulati attraverso la modellazione idraulica e riassunti in Tabella 2-9. Tali curve, riportate in Figura 2-31, sono utilizzate in modo del tutto analogo a quanto descritto nel Capitolo 2.3.1 per calcolare un valore spazialmente distribuito di "Indice di Navigabilità" (o Rafting Suitability Index, RSI), in base ai valori locali di profondità e velocità predetti dal modello idraulico. Un esempio dell'RSI è riportato in Figura 2-32, dove è stata usata il prodotto come regola di aggregazione delle curve di preferenza univariate riportate in Figura 2-31. L'indice di navigabilità varia fra 0 ed 1, indicativi rispettivamente delle condizioni peggiori e migliori per la navigabilità.

La Figura 2-30 indica come la navigabilità migliori complessivamente sul tratto in esame all'aumentare della portata e consente anche di evidenziare le porzioni dell'alveo dove è riscontrabile il miglioramento.

In analogia alla modellazione dell'habitat fluviale per specie ittiche target, l'intersezione dei valori limite di portata riportati in Tabella 2-9 con le curve di durata mensili relative a ogni tratto e a ogni scenario idrologico (e.g. Figura 2-17) è possibile quantificare per ogni mese la percentuale attesa di tempo in cui le condizioni del corso d'acqua sono idonee alla navigabilità. Il metodo descritto consente dunque di calcolare, per ogni mese e scenario idrologico la percentuale di tempo durante il quale il tratto fluviale risulta idoneo alla navigazione sportiva. Nel seguito si farà riferimento a tale parametro come *percentuale di tempo mediamente idoneo* (PTMI).

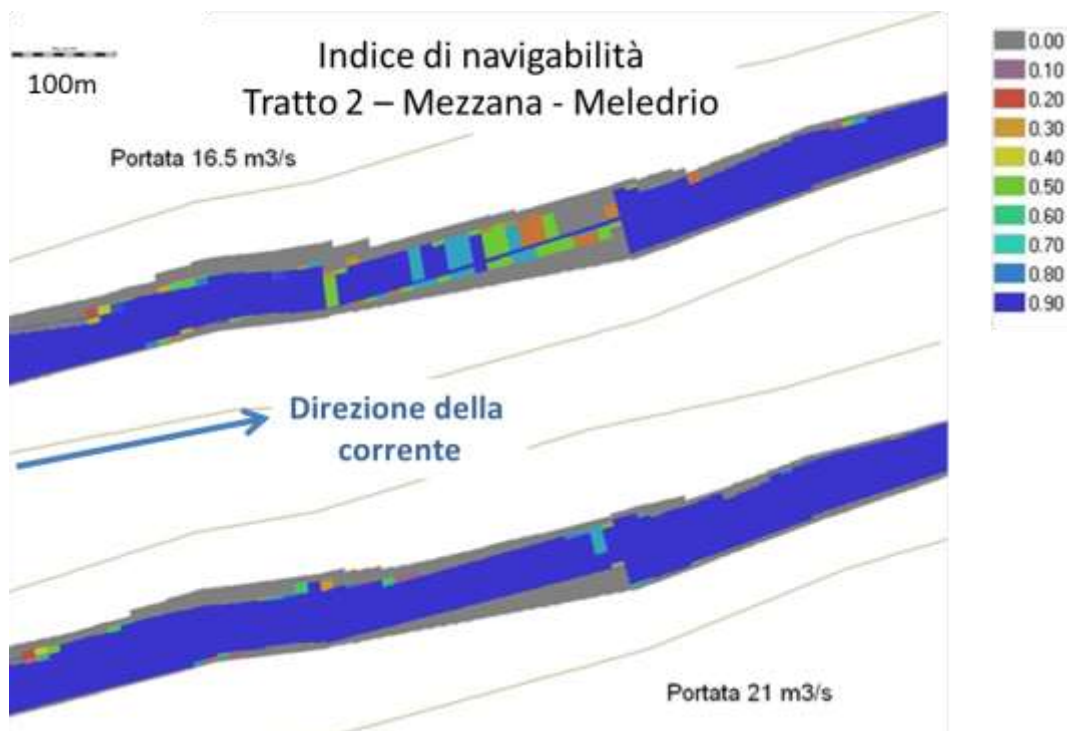


Figura 2-32 Esempio di distribuzione spaziale dell'indice di navigabilità o RSI (Rafting Suitability Index) per due diversi valori di portata in un segmento del tratto 2, compreso fra Mezzana e la confluenza con il Meledrio.

La metodologia basata su dati medi giornalieri appena descritta è stata infine integrata da un'analisi della serie oraria dei livelli a Malè disponibili per il periodo 1990 – 2010, con l'obiettivo di quantificare le reali percentuali di tempo idoneo alla navigazione nel periodo di riferimento a scala sub-giornaliera. La reale percentuale di tempo idoneo alla navigazione è infatti la percentuale di tempo nel mese in cui il livello si trova sopra al valore limite per la navigabilità di 40 cm alla sezione di Malè nella fascia oraria 8 -18, in cui realmente si effettuano le discese. Tale analisi è sicuramente più accurata della precedente basata su dati medi giornalieri, ma non può essere utilizzata a fini previsionali in quanto la serie oraria analizzata non è attualmente riproducibile con i modelli idrologici disponibili in corrispondenza di scenari di gestione futura.

### 3 Risultati: disponibilità idriche attuali

Le figure da Figura 3-1 a Figura 3-6 sono riportati i risultati ottenuti rispettivamente per Malè (Gennaio e Giugno), Vermiglio (Gennaio e Giugno) e Somrabbi (Gennaio e Giugno). Per brevità, i grafici relativi agli altri mesi dell'anno sono riportati nel CD allegato alla relazione tecnica già presentata alla Comunità di Valle dall'ing. Cainelli.

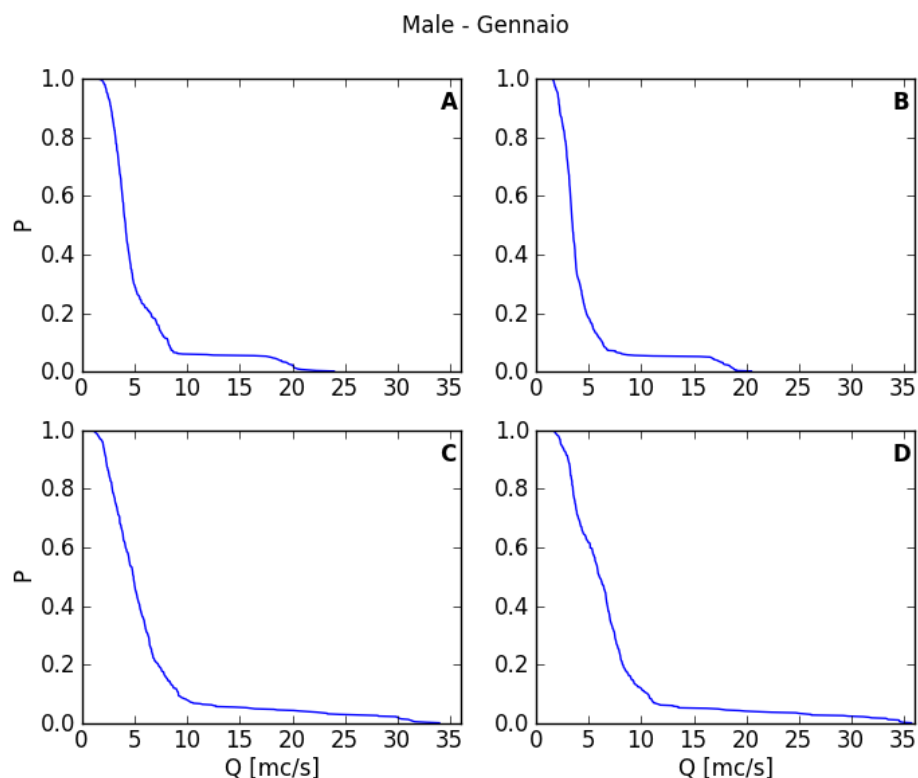


Figura 3-1 Curve di durata di Gennaio a Malè per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24

Analizzando i risultati per Malè, si può notare come l'andamento delle curve di durata nelle varie fasce orarie abbia un comportamento molto simile durante il mese di Giugno, mentre il comportamento tende a differenziarsi considerevolmente durante il mese di Gennaio.

In Figura 3-1 è facilmente osservabile un allargamento della curva verso destra nelle fasce pomeridiane e serali del giorno. Questo allargamento va interpretato come un innalzamento dei deflussi nella seconda metà del giorno (a parità di frequenza, la portata raggiunta nel corso d'acqua è più elevata nei riquadri C e D rispetto ai riquadri A e B di Figura). Riferendosi al mese di Gennaio, tali differenze difficilmente possono essere legate a processi di scioglimento nivale la cui dinamica segue le diverse fasi del giorno. Ciò sarebbe più probabile se questi risultati fossero stati osservati nel mese di Giugno. Al contrario, queste differenze possono essere più probabilmente legate alle politiche di produzione di energia idroelettrica, per le quali il quantitativo di acqua turbinata dalle centrali difficilmente rimane costante sulle 24 ore, ma seguendo il mercato dell'energia tende ad essere concentrato nei momenti di maggiore richiesta.

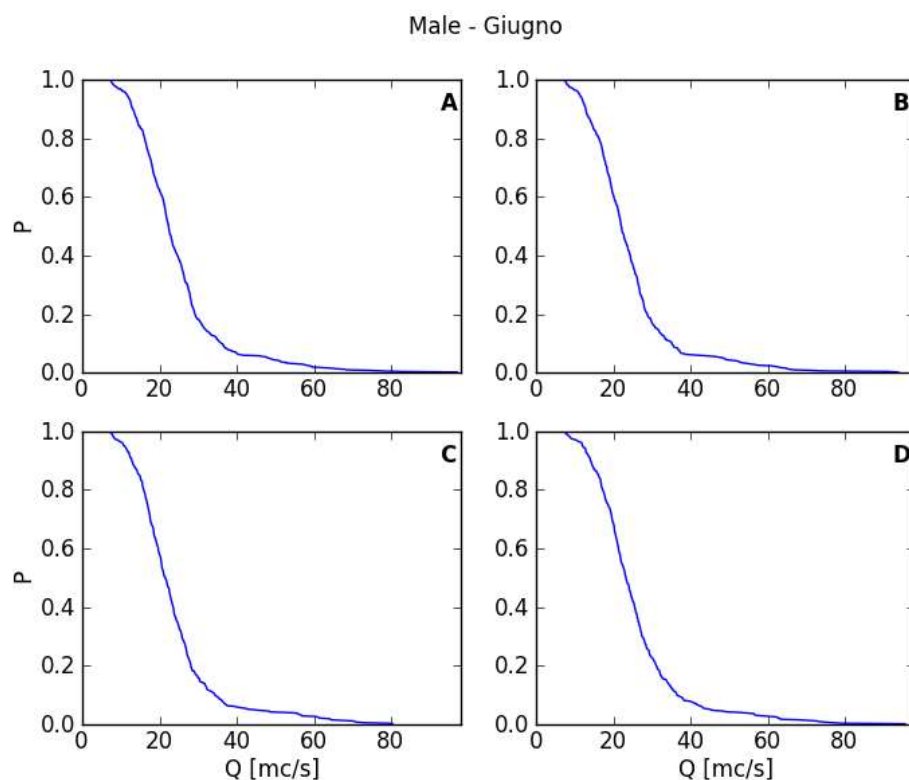


Figura 3-2 Curve di durata di Giugno a Malè per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

Per quanto riguarda il mese di Giugno, le differenze nelle curve di durata nelle diverse fasce orarie sono pressoché impercettibili. Tuttavia, sebbene, in termini relativi, di modesta entità (qualche  $\text{m}^3/\text{s}$ ), tali differenze sono presenti, ed esercitano il loro peso soprattutto nella fascia giornaliera serale (Figura 3-2 D).

Passando ad analizzare i risultati ottenuti a Vermiglio (Figura 3-3 e Figura 3-4) si può notare che mentre a Gennaio non ci sono differenze sostanziali nelle 4 fasce giornaliere, nel mese di Giugno si riscontra una leggera differenza tra la fascia B (6-12) e le altre fasce. In particolare le differenze maggiori le si riscontra con la fascia D (18-24), dove l'effetto del riscaldamento giornaliero ad opera del Sole produce una disomogeneità nello scioglimento nivale, più accentuato nella fase pomeridiana, ed i cui effetti si propagano a valle dei rilievi, verso la sezione di Vermiglio, nella fase preserale e serale della giornata (a titolo di esempio si veda l'aumento della probabilità di superamento di portate pari a  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  nel riquadro D rispetto agli altri riquadri).

Infine i risultati relativi alla sezione di Somrabbi sono riportati nelle Figura 3-5 e Figura 3-6. Anche qui non si riscontrano differenze importanti nelle curve di durata di Gennaio, mentre a Giugno si nota un leggero innalzamento della probabilità di superamento per le portate più alte nel riquadro D, ovvero la fascia oraria tra le 18 e le 24.

Vermiglio - Gennaio

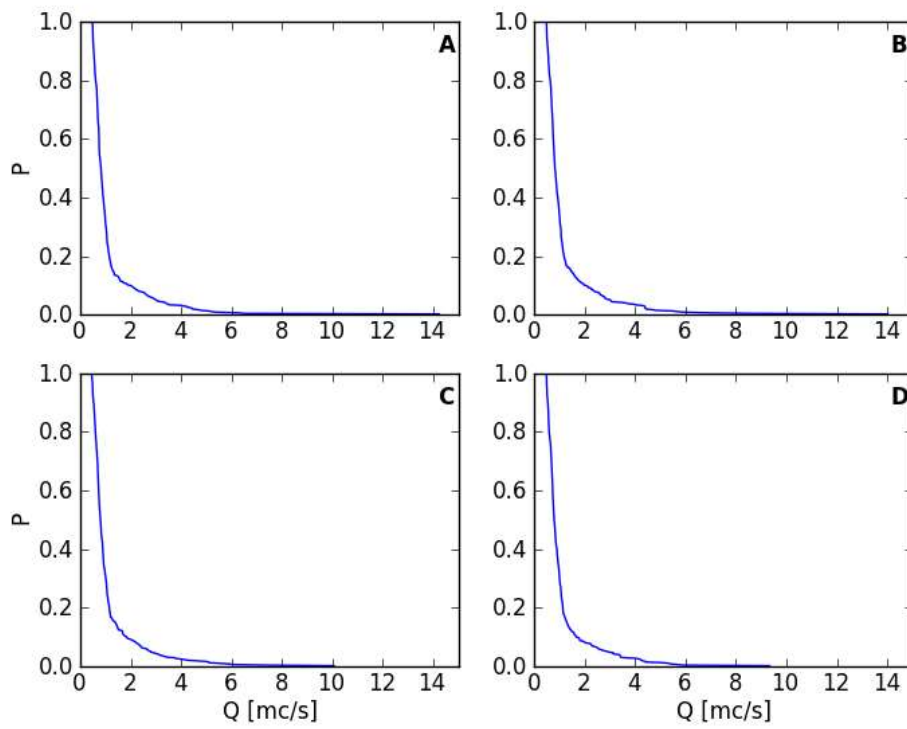


Figura 3-3 Curve di durata di Gennaio a Vermiglio per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

Vermiglio - Giugno

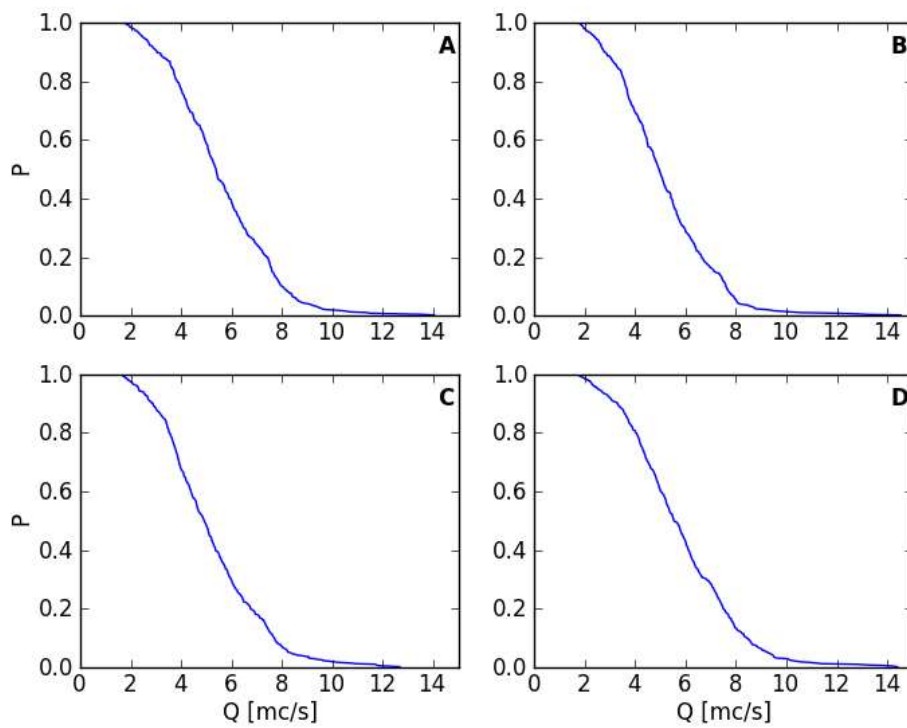


Figura 3-4 Curve di durata di Giugno a Vermiglio per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

Rabbies - Gennaio

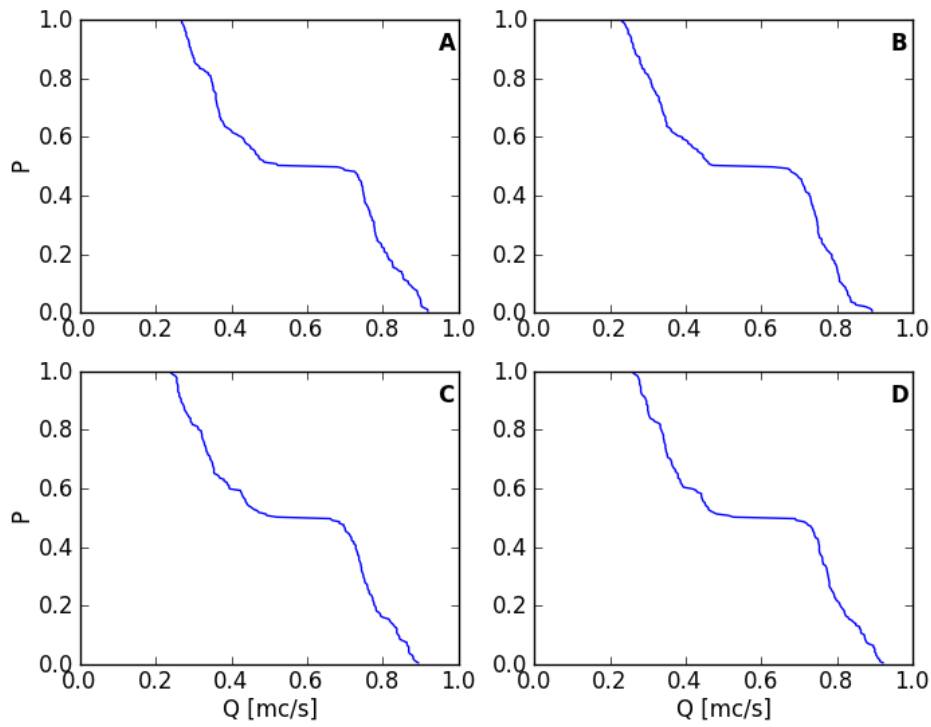


Figura 3-5 Curve di durata di Gennaio a Somrabbi per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

Rabbies - Giugno

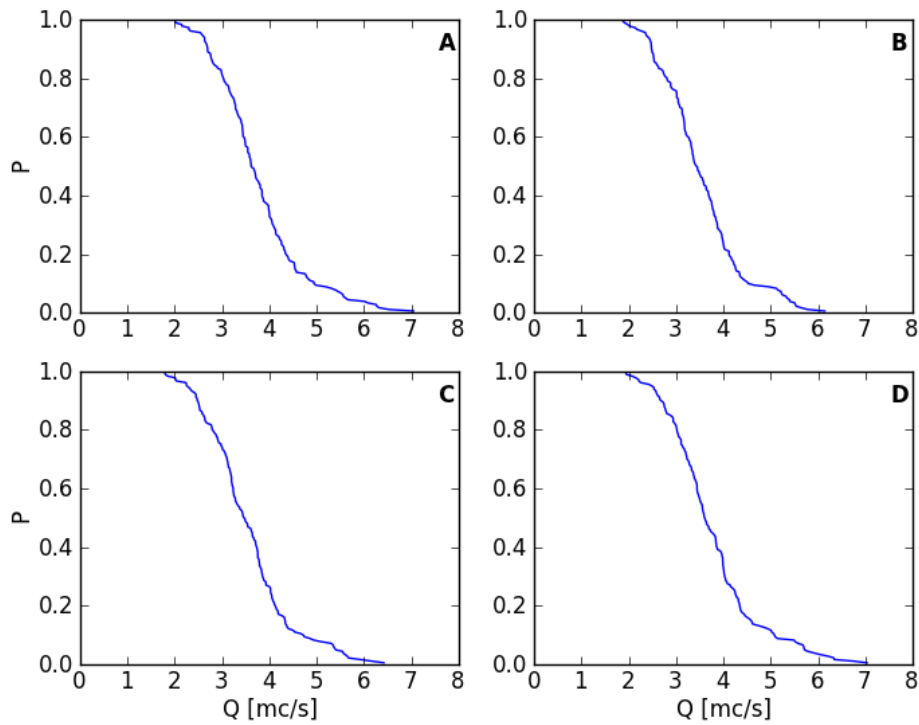


Figura 3-6 Curve di durata di Giugno a Somrabbi per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

Per consentire un utilizzo più preciso e puntuale delle informazioni insite nelle curve di durata sopra riportate, la presente relazione fa anche riferimento al CD allegato alla relazione già consegnata dall'Ing. Cainelli contenente le immagini relative ai risultati – per brevità non riportate nel presente documento – e anche gli strumenti software realizzati per ricavare questi risultati, i quali sono altresì utili per una loro consultazione più dettagliata (tali risultati richiedono la presenza del software Python e delle librerie Matplotlib installate sul PC, tali strumenti sono liberamente disponibili nel web).

Oltre alla realizzazione delle curve di durata sulle 4 fasce orarie, mese per mese, le serie di dati sono state analizzate tramite l'utilizzo di grafici di tipo Boxplot. In Figura 3-7 sono riportati i risultati di questa analisi per la stazione di Malè nei mesi di Gennaio e Giugno.

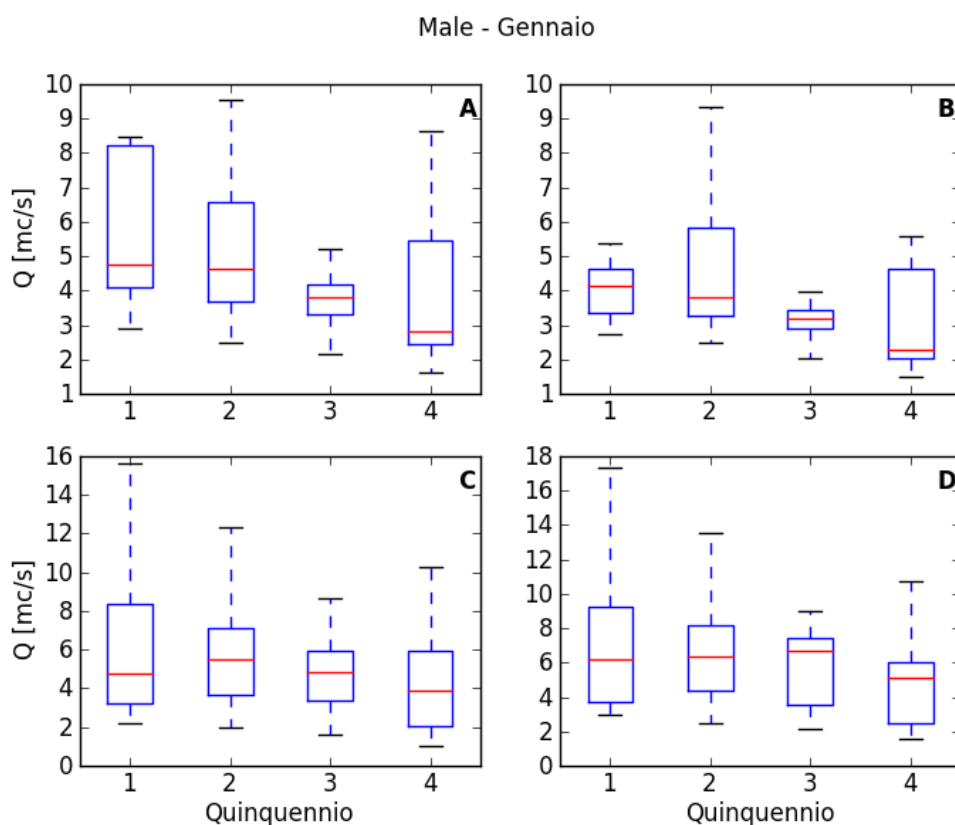


Figura 3-7 Boxplot delle portate di Gennaio a Malè per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

In ognuno di questi grafici sono riportati i risultati per le 4 fasce orarie, in ognuna delle quali la serie storica è stata separata in quinquenni per ognuno dei quali è stato tracciato il relativo Boxplot. Un Boxplot è un metodo di rappresentazione il cui scopo è quello di riassumere la distribuzione di una serie di dati attraverso la sua mediana (linea rossa nei grafici), racchiusa tra il primo ed il terzo quartile della distribuzione ( $q_{25}$  e  $q_{75}$ , rappresentati dal Box azzurro) e seguiti da segmenti che stabiliscono i limiti massimo e minimo della distribuzione (che solitamente non comprendono il massimo ed il minimo assoluto, ma escludono una percentuale  $\alpha$  di dati in testa ed in coda alla distribuzione, per evitare che la presenza di dati anomali possa portare a rappresentazioni fuorvianti).

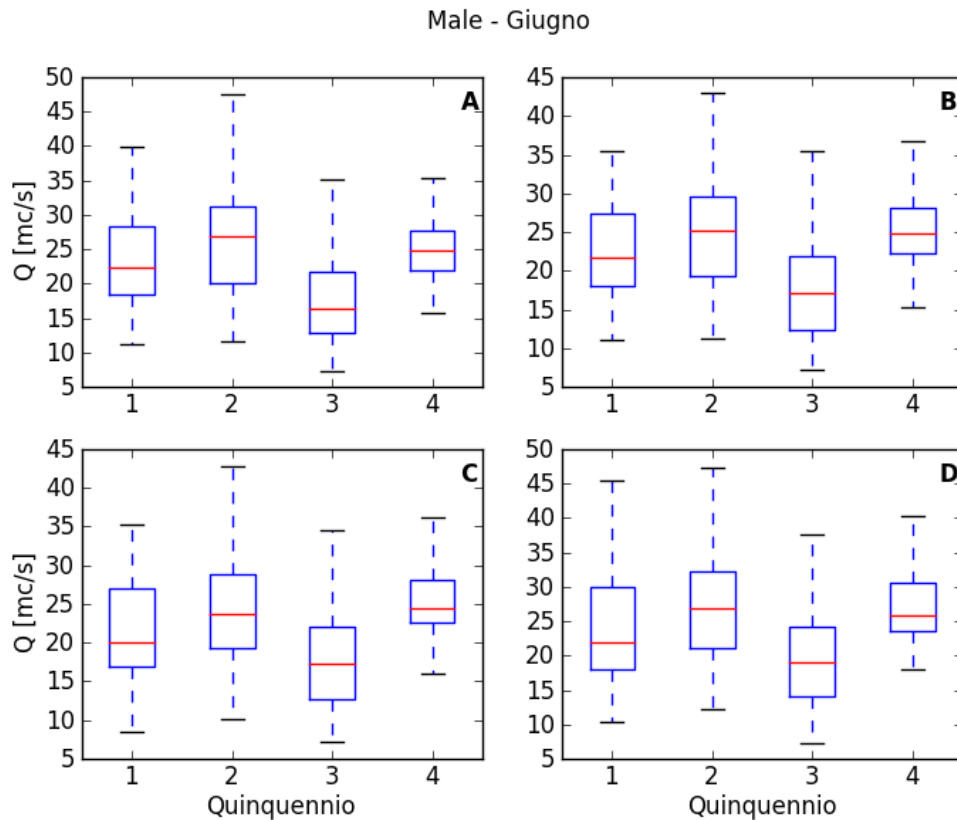


Figura 3-8 Boxplot delle portate di Giugno a Malè per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

Dall'analisi delle Figura 3-7 e Figura 3-8 si evince come la distribuzione delle portate negli anni sia andata assottigliandosi, con una mediana (la portata con frequenza di superamento pari al 50%) che nel mese di Gennaio mostra una tendenza a diminuire, mentre nel mese di Giugno questa tendenza non è evidente. Non si notano particolari differenze nelle diverse fasce orarie considerate. Nei risultati per gli altri mesi dell'anno la tendenza a decrescere della mediana è piuttosto evidente (si veda materiale nel CD allegato, non riportato in relazione per brevità). In seguito, si noterà che questa particolarità è confermata dai risultati ottenuti con i test statistici utilizzati per la ricerca di trend di breve periodo.

Per quanto riguarda la stazione di Vermiglio, nelle Figura 3-9 e Figura 3-10 si riportano i risultati di Gennaio e di Giugno. Anche in questo caso, soprattutto per Gennaio, dai grafici di Figura 3-9 si evince un assottigliamento delle distribuzioni dei dati, mentre non è evidente una chiara tendenza per la mediana. Analoghi risultati sono osservabili nella maggior parte dei rimanenti mesi dell'anno, come peraltro evidente in Figura 3-10 per Giugno. Anche in questo caso non si notano differenze evidenti nel comportamento delle portate nelle diverse fasce orarie.



Vermiglio - Gennaio

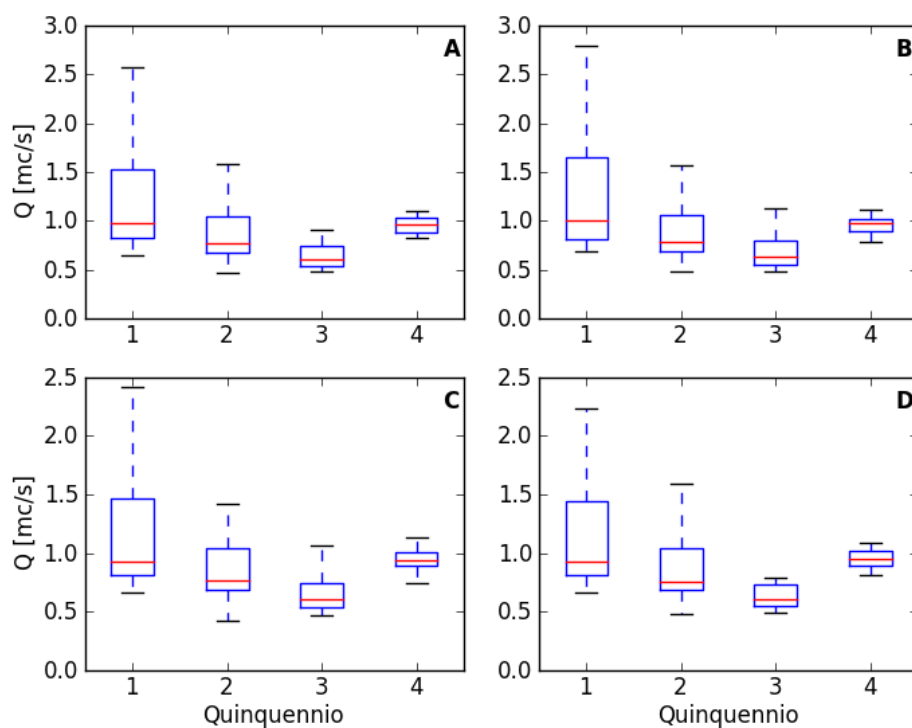


Figura 3-9 Boxplot delle portate di Gennaio a Vermiglio per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

Vermiglio - Giugno

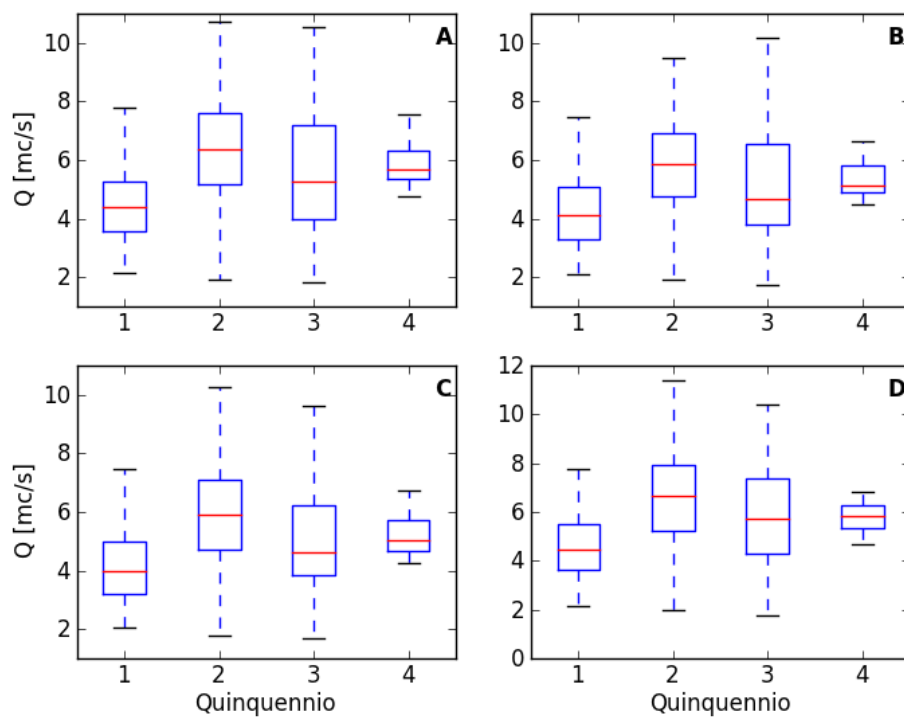


Figura 3-10 Boxplot delle portate di Giugno a Vermiglio per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24.

Infine, per quanto riguarda la sezione di Somrabbi, essendo caratterizzata da una serie storica molto più breve rispetto alle precedenti due stazioni, si è deciso di rappresentare tutti i dati della serie in un unico Boxplot per ogni fascia oraria. L'utilità di questi grafici è unicamente quella di confrontare le diverse fasce orarie alla ricerca di differenze evidenti, e di ottenere un quadro riassuntivo che descriva in maniera comunque esaustiva il comportamento della serie storica di portate, ovvero a descrivere in maniera compatta le disponibilità idriche in questa sezione.

A titolo di esempio si riportano i risultati per il mese di Giugno (Figura 3-11), dove risulta evidente una sostanziale omogeneità di comportamento nelle 4 fasce orarie.

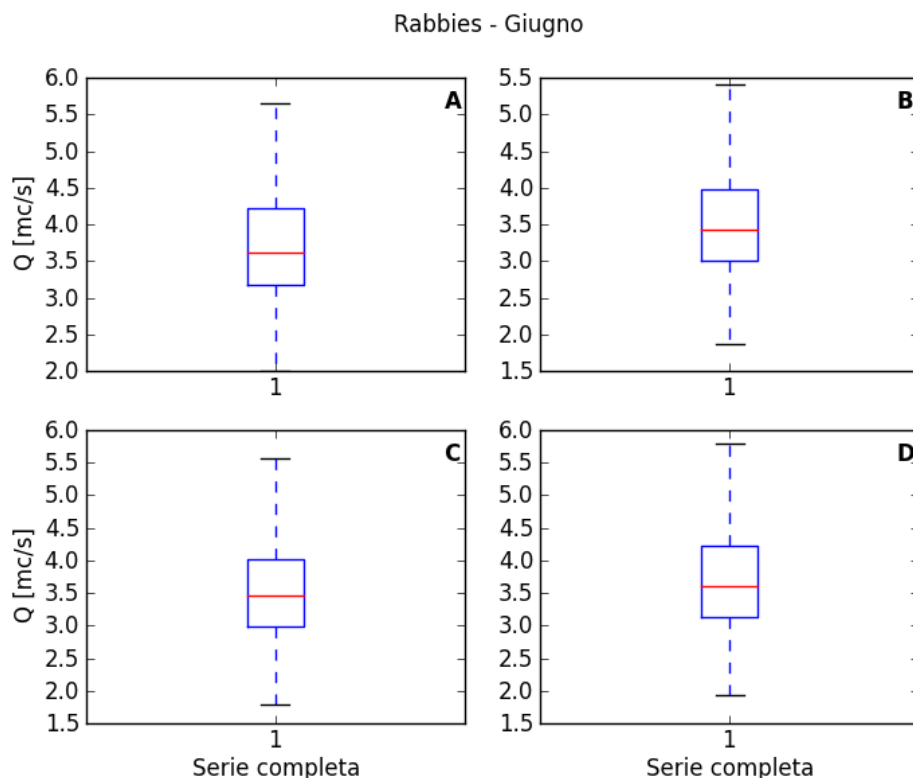


Figura 3-11 Boxplot delle portate di Giugno a Somrabbi per le fasce orarie A)0-6, B)6-12, C)12-18 e D)18-24

I risultati descritti in questo capitolo consentono di comprendere lo stato attuale delle risorse idriche nel bacino del Noce compreso nella Valle di Sole. Nel capitolo 6 vengono descritte le analisi eseguite per la ricerca di trend di variazione nel breve periodo presenti nei dati di portata delle sezioni di Vermiglio e di Malè. Oltre ai dati di portata vengono analizzati i dati di precipitazione e di temperatura.

## 4 Risultati: funzionalità ambientali

I risultati delle analisi delle funzionalità ambientali sono stati raggruppati secondo quattro differenti componenti: qualità dell'habitat per la fauna ittica, qualità ecologica, qualità fisico-chimica, qualità idromorfologica.

### 4.1 Qualità dell'habitat per la fauna ittica

La modellazione matematica dell'habitat fluviale indica come nel Noce in area prioritaria di studio si verificano condizioni di habitat idraulico abbastanza idonee per la specie target (trota marmorata) soprattutto al di fuori dei mesi estivi, in cui la portata defluente spesso supera il limite superiore di habitat accettabilmente idoneo (v. Figura 2-16).

L'habitat risulta mediamente più idoneo in alcuni tratti di estensione limitata in cui è presente una maggiore diversità morfologica, costituita da isole, canali secondari, barre laterali o centrali; in questi tratti, inoltre, la variazione delle condizioni di habitat con la portata è più marcata rispetto ai tratti a morfologia più omogenea, che occupano la maggioranza dell'asta fluviale in esame. Le aree con maggiore diversità morfologica sono inoltre le uniche in cui, durante i rilievi effettuati sul terreno, si sono osservati segnali di luoghi utilizzati dalla fauna ittica per la deposizione delle uova (frega), rafforzando il valore ambientale di questa tipologia di tratti fluviali.

Prima di passare alla descrizione analitica dei risultati ottenuti, è opportuno ricordare come la modellazione matematica dell'idoneità di habitat (capitoli 2.3.1 e 4.1.1) non corrisponda, in metodi e risultati, alla modellazione delle serie temporali di habitat effettuate con la metodologia mesohabsim (capitoli 2.3.2 e 4.1.2), benché i due approcci forniscano indicazioni su aspetti fundamentalmente simili. In particolare la modellazione matematica dell'habitat impiegata si basa su curve di preferenza univariate per i parametri di velocità e profondità locali della corrente, mentre l'approccio a meso-scala si basa su modelli statistici di preferenza multivariati più sofisticati. I risultati dei due approcci forniscono comunque un quadro complessivamente omogeneo da un punto di vista qualitativo, fatta eccezione per la tendenza del modello matematico a sovrastimare leggermente l'idoneità dell'habitat per la trota marmorata – stadio vitale giovane – nei mesi invernali.

#### 4.1.1 Modellazione matematica della qualità dell'habitat sull'intero tratto

Come spiegato nel capitolo 2.3.1 è possibile calcolare la percentuale di tempo per cui il tratto analizzato fornisce un habitat accettabile per la trota marmorata, diviso per scenario e per mese.

*Tratto 1: tra il torrente Vermigliana e l'abitato di Mezzana*

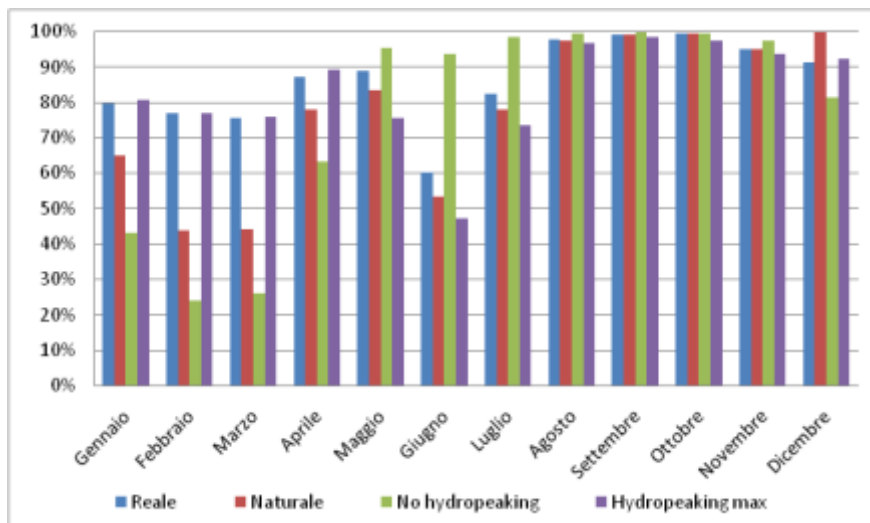


Figura 4-1 Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo per la trota stadio adulto (tratto Vermigliana – Mezzana)

Guardando il grafico in Figura 4-1 si vede che per i mesi invernali lo scenario migliore è quello di max hydropeaking. La situazione è contraria nei mesi estivi, infatti lo scenario che fornisce la probabilità più alta di avere condizioni ideali alla vita della trota adulta è quello di no hydropeaking. Per i restanti mesi si hanno alte probabilità per tutti gli scenari.

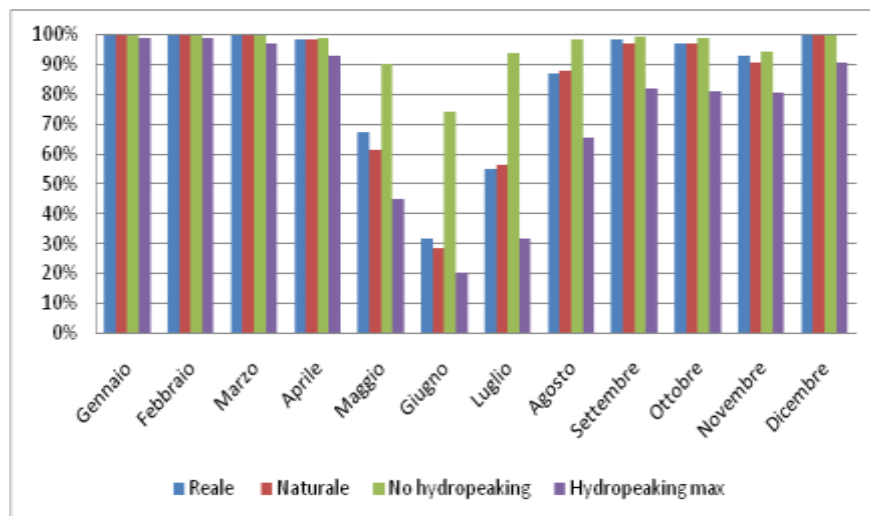


Figura 4-2 Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo per la trota stadio giovane (tratto Vermigliana – Mezzana)

Per la trota giovane (Figura 4-2) la situazione è migliore che per la trota adulta. Nei mesi invernali e autunnali tutti gli scenari forniscono una probabilità molto alta che l'habitat sia favorevole alla vita della trota. Per i mesi estivi la situazione si presenta favorevole per almeno il 70% del tempo in condizioni di "no hydropeaking". Tuttavia anche per lo scenario "naturale" e "reale" le percentuali restano maggiori del 30%. La condizione più sfavorevole è quella di massimo hydropeaking.

*Tratto 2: tra l'abitato di Mezzana e il torrente Meledrio*

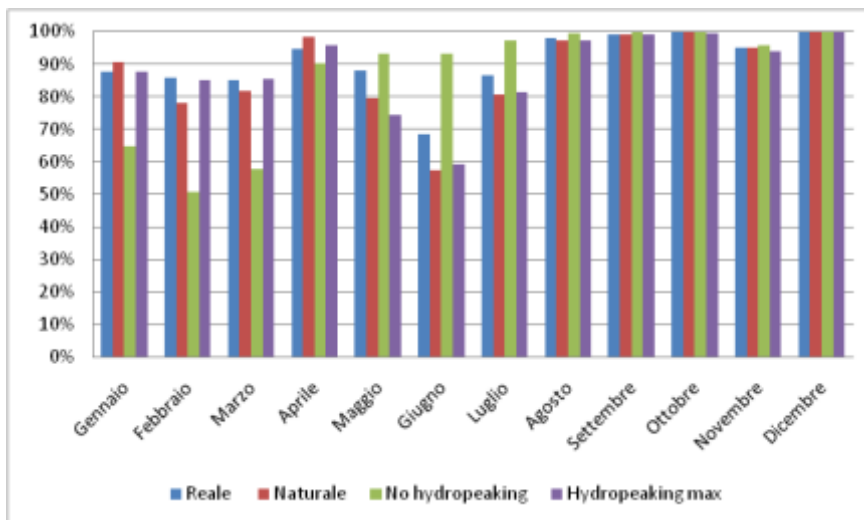


Figura 4-3 Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo per la trota stadio adulto (tratto Mezzana - Meledrio)

Dal grafico in Figura 4-3 emergono le stesse considerazioni. Si vede che per i mesi invernali lo scenario migliore è quello di max hydropeaking. La situazione è contraria nei mesi estivi, infatti lo scenario che fornisce la probabilità più alta di avere condizioni ideali alla vita della trota adulta è quello di no hydropeaking. Per i restanti mesi si hanno alte probabilità per tutti gli scenari. Le percentuali rimangono comunque sempre al di sopra del 50 % per tutti gli scenari.

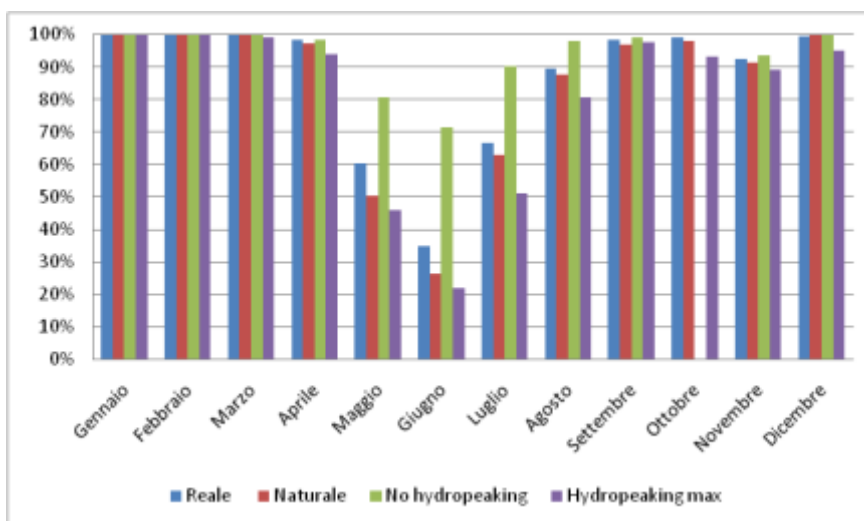


Figura 4-4 Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo per la trota stadio giovane (tratto Mezzana - Meledrio)

La situazione per la trota giovane (Figura 4-4) è, per il tratto tra l'abitato di Mezzana e il torrente Meledrio, peggiore rispetto alla trota adulta nei mesi estivi. Nei mesi invernali e autunnali le percentuali sono molto alte per tutti gli scenari. Nei mesi estivi le percentuali sono minori ma in condizioni di "no hydropeaking" restano comunque almeno del 70%.

*Tratto 3: tra il torrente Meledrio e il rio Rabbies.*

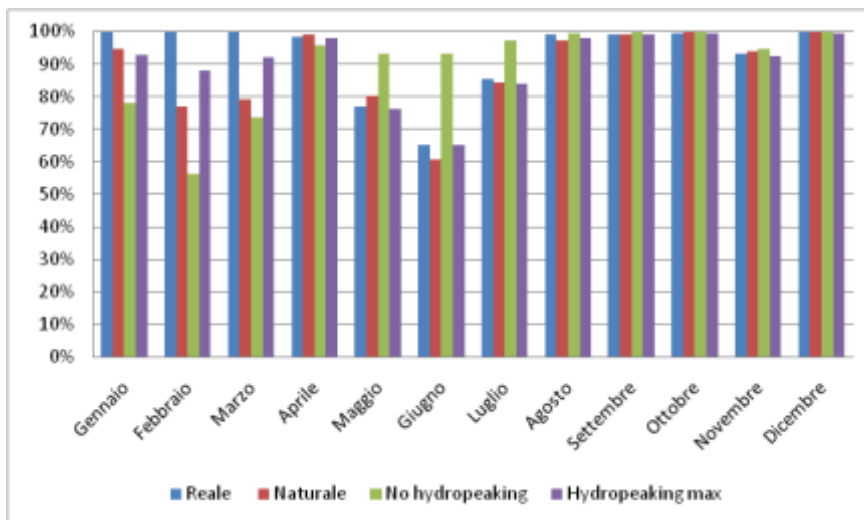


Figura 4-5 Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo per la trota stadio adulto (tratto Meledrio - Rabbies)

Per la trota adulta si hanno anche per questo tratto quasi sempre percentuali molto alte. Come per gli altri tratti abbiamo comunque che in inverno lo scenario migliore è quello di max hydropeaking, invece in estate quello migliore risulta lo scenario di no hydropeaking.

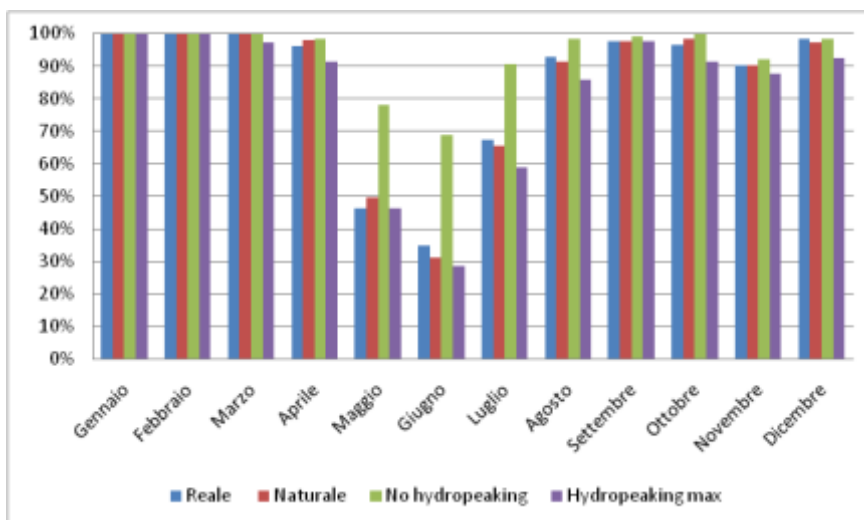


Figura 4-6 Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo per la trota stadio giovane (tratto Meledrio - Rabbies)

Il tratto è favorevole per la maggior parte del tempo, tranne che nei mesi di maggio, giugno e luglio (Figura 4-6). In tali mesi comunque le percentuali restano maggiori del 60% senza hydropeaking. Per gli altri mesi le differenze tra i diversi scenari sono minime.

#### Tratto 4: a valle del rio Rabbies

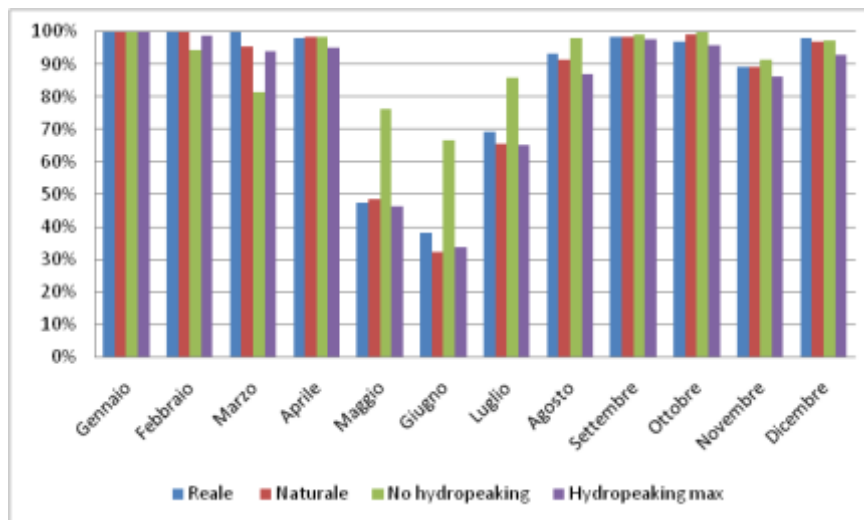


Figura 4-7 Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo per la trota stadio adulto (tratto a valle della confluenza Rabbies)

In questo tratto le condizioni per la trota adulta sono leggermente peggiori. Infatti guardando il grafico delle percentuali d'idoneità in Figura 4-7 si vede che i mesi di maggio, giugno si ha un'alta probabilità solo per lo scenario di no hydropeaking. Nella restante parte dell'anno le percentuali sono comunque molto alte.

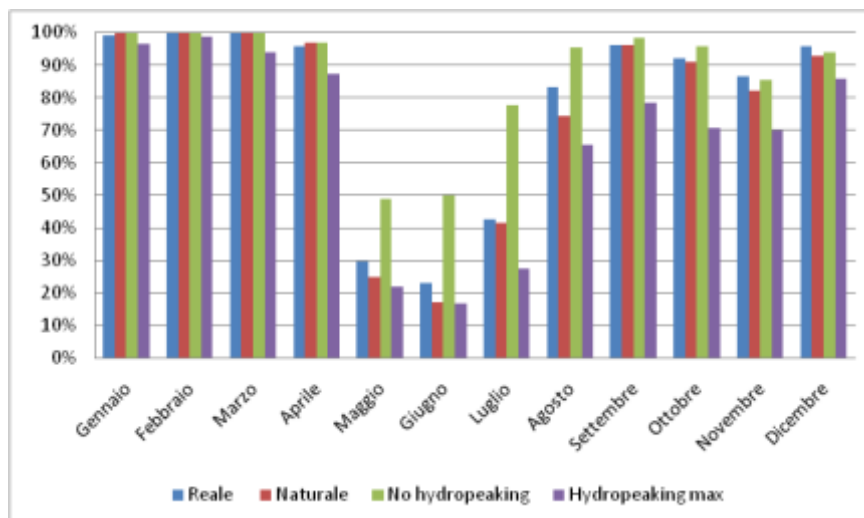


Figura 4-8 Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo per la trota stadio giovane (tratto a valle della confluenza Rabbies)

Per i mesi invernali le condizioni sono quasi sempre favorevoli alla presenza della trota giovane per tutti gli scenari. Anche nei mesi autunnali si ha un'alta probabilità che ciò avvenga, la percentuale, infatti, rimane sempre maggiore del 50% anche con lo scenario peggiore. Nei mesi di maggio, giugno e luglio invece le probabilità calano notevolmente. In assenza di hydropeaking tuttavia le probabilità restano sempre maggiori del 40%.

#### 4.1.2 Approccio a mesoscala e analisi delle serie storiche di habitat

##### *Descrizione dell'habitat fluviale*

La descrizione dell'habitat fluviale è stata effettuata per il tratto 2 (Figura 4-9), scelto al fine di rappresentare le differenti condizioni morfologiche del tratto centrale del Fiume Noce. Il tratto di Dimaro (pendenza media 1.1%) è infatti caratterizzato da substrato di dimensioni medie e fini, isole all'interno dell'alveo inciso e rami laterali che si attivano solamente al di sopra di una determinata soglia di portata defluente, mentre il tratto di Marilleva (pendenza media 2.3%) è un tratto monocursale con substrato grossolano e presenza di massi in alveo (Figura 4-9).



Figura 4-9 A sinistra: immagine relativa al tratto fluviale di Dimaro con isole e substrato medio e fine. A destra: tratto fluviale di Marilleva caratterizzato da pendenza maggiore rispetto al precedente e presenza di massi in alveo

Sono stati effettuati quattro rilievi dei due tratti fluviali considerati, per differenti portate in alveo. Non essendoci affluenti o derivazioni di rilievo fra i due tratti di Marilleva e Dimaro, è possibile assumere lo stesso valore di portata defluente. È stata altresì posta attenzione che le misure fossero svolte nelle stesse condizioni di deflusso (base o picco) in relazione all'andamento dell'hydropeaking durante il rilievo. In particolare i rilievi si sono svolti in data 29 dicembre 2011 ( $6.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), 16 luglio 2012 ( $17.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), 18 luglio 2012 ( $10.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e 23 gennaio 2013 ( $2.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) al fine di descrivere le condizioni di deflusso in un intervallo di portate rappresentativo dei regimi di magra, media e morbida (VEZZA et al., 2013b).

##### *Modellazione biologica*

L'indicatore biologico generalmente utilizzato per i corsi d'acqua alpini all'interno della metodologia MesoHabsim è definito in base alla comunità ittica di riferimento (VEZZA et al., 2013b). Nello presente studio effettuato per il Fiume Noce l'attenzione è stata rivolta alla specie trota marmorata (*Salmo marmoratus*), caratteristica della zona di interesse e presente in allegato II della Direttiva Habitat 92/43/EEC (specie animali e vegetali d'interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di zone speciali di conservazione). I dati biologici raccolti a scala di unità idromorfologica (Hydro-morphological Unit, HMU) attraverso elettropesca riportati in Vezza et al (2012) hanno costituito la base per la costruzione di modelli statistici multivariati che stabiliscono i criteri di idoneità d'habitat per la specie target considerata. Nel presente studio, la tecnica statistica denominata Random Forests, seguendo la



metodologia riportata in Vezza et al. (2013a), è stata impiegata per l'identificazione delle variabili ambientali che maggiormente influenzano la distribuzione di *S. marmoratus* (stadio vitale adulto e giovane). Si riportano in Figura 4-12e Figura 4-13i grafici relativi ai descrittori d'habitat identificati come maggiormente significativi, uniti alla loro relazione con le probabilità di presenza o abbondanza della specie oggetto di studio. La relazione tra le variabili e la probabilità è espressa tramite i diagrammi di dipendenza parziale al fine di studiare l'effetto marginale della variabile selezionata sulla probabilità di presenza o di abbondanza della specie. Per i dettagli sulla metodologia utilizzata riferirsi a VEZZA et al. (2013a).

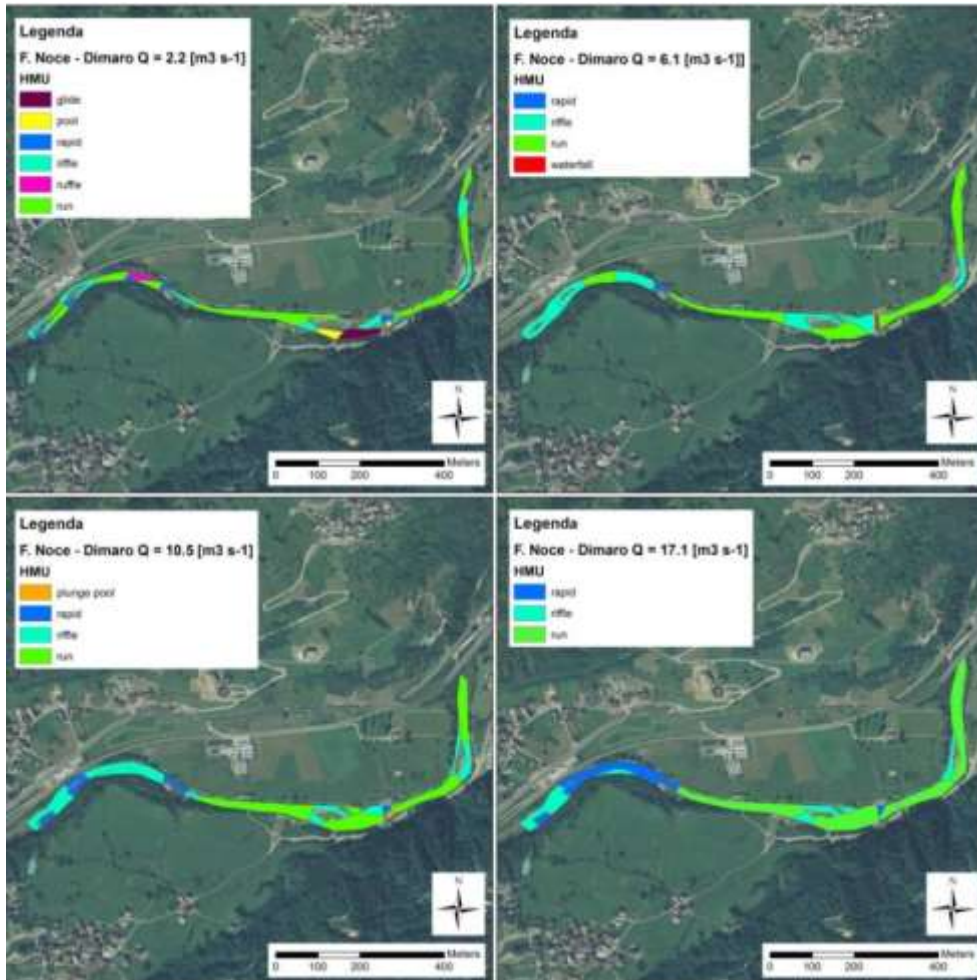


Figura 4-10 Distribuzione spaziale dei meso-habitat per 4 condizioni di portata (2.2; 6.1; 10.5; 17.1 m³s⁻¹) per il Fiume Noce - tratto fluviale di Dimaro

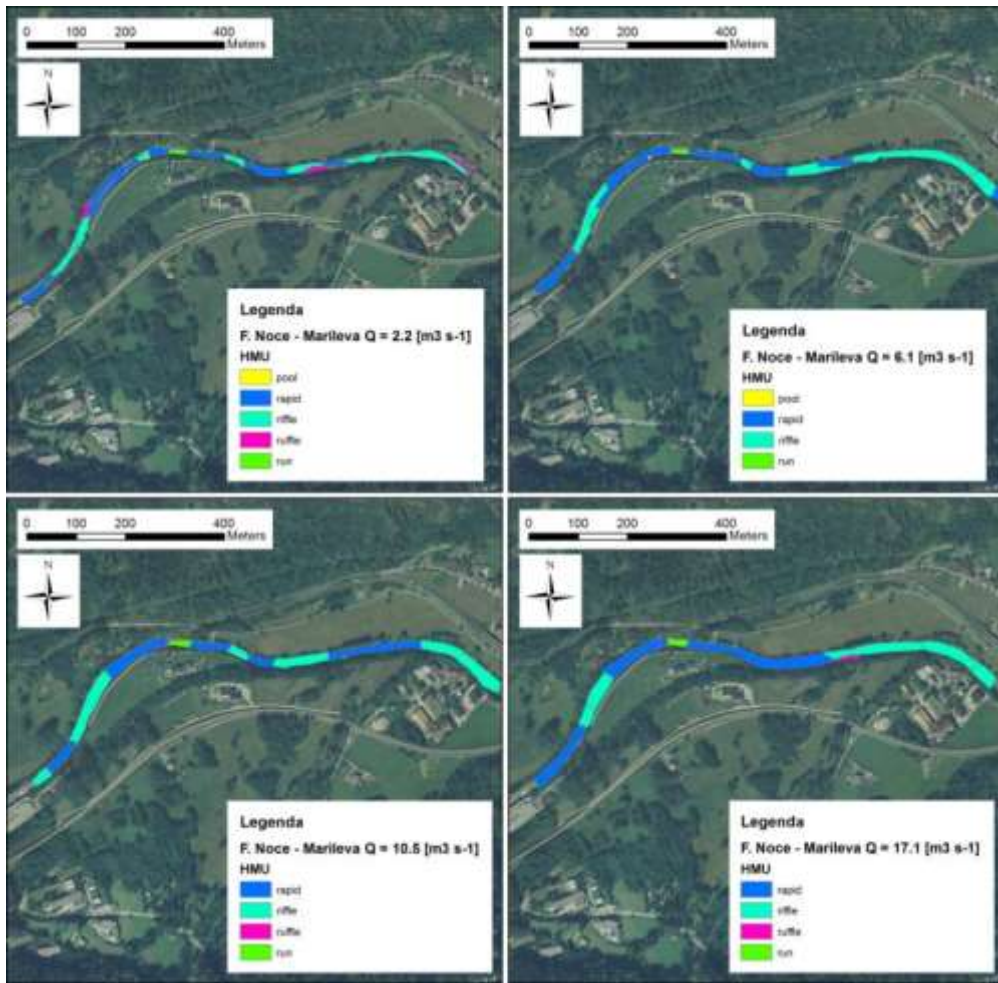


Figura 4-11 Distribuzione spaziale dei meso-habitat per 4 condizioni di portata (2.2; 6.1; 10.5; 17.1 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>) per il Fiume Noce - tratto fluviale di Marileva

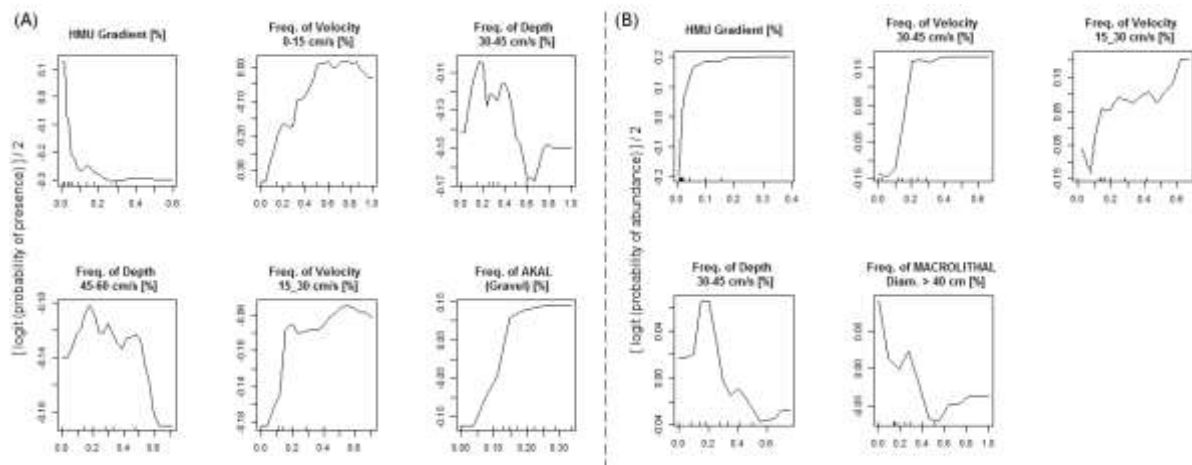


Figura 4-12 Modelli biologici per la trota marmorata (stadio adulto) realizzati con la tecnica Random Forests. Le variabili selezionate sono suddivise per modello previsionale: (A) assenza/presenza e (B) presenza/abbondanza

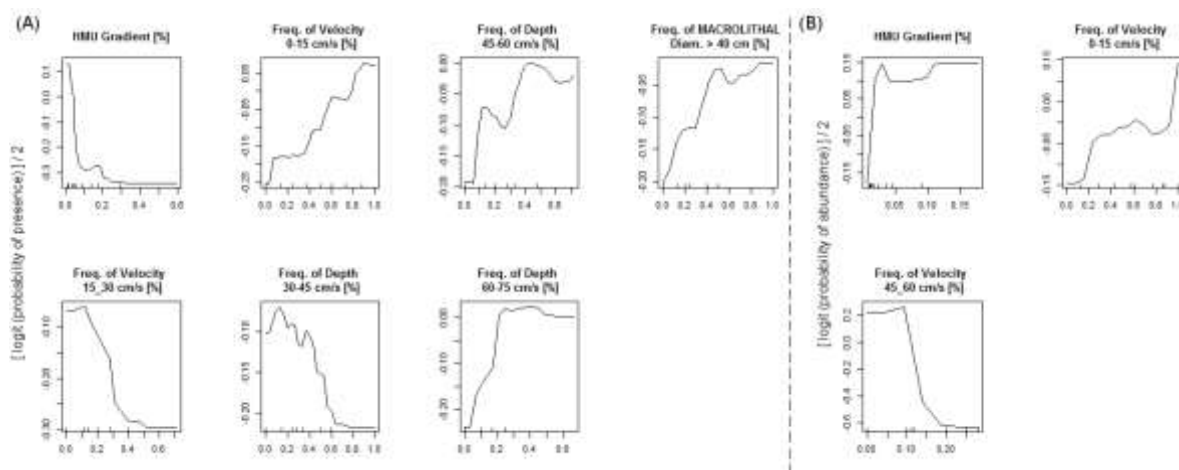


Figura 4-13 Modelli biologici per la trota marmorata (stadio giovane) realizzati con la tecnica Random Forests. Le variabili selezionate sono suddivise per modello previsionale: (A) assenza/presenza e (B) presenza/abbondanza

I modelli biologici riportati in Figura 4-12 e Figura 4-13 sono stati validati per il bacino del Noce nel Torrente Rabbies. In particolare le previsioni della distribuzione spaziale della trota marmorata, date dai due modelli binari di assenza/presenza e presenza/abbondanza, sono state confrontate con l'effettiva osservazione degli animali all'interno di 30 meso-habitat campionati in due differenti tratti del torrente Rabbies nel dicembre 2011. La scelta del periodo di campionamento è stata effettuata al fine di utilizzare i modelli validati per la simulazione della disponibilità d'habitat nel periodo autunnale/invernale (mesi di Ottobre-Marzo). La Tabella 4-1 riporta il risultato della validazione in termini di accuratezza (percentuale globale delle osservazioni correttamente classificate), sensibilità e specificità (percentuali di veri positivi e veri negativi correttamente classificate dal modello).

<b>Assenza/Presenza</b>	<b>Trota marmorata - Adulto</b>	<b>Trota marmorata - Giovane</b>
<b>Accuratezza</b>	0.77	0.75
<b>Sensibilità</b>	0.89	0.83
<b>Specificità</b>	0.65	0.67
<b>Presenza/Abbondanza</b>	<b>Trota marmorata - Adulto</b>	<b>Trota marmorata - Giovane</b>
<b>Accuratezza</b>	0.78	0.63
<b>Sensibilità</b>	0.88	0.65
<b>Specificità</b>	0.67	0.61

Tabella 4-1 Risultati della validazione dei modelli biologici per il Torrente Rabbies

L'applicazione dei modelli biologici così validati ai tratti fluviali analizzati per il Fiume Noce (Marilleva e Dimaro) ha consentito di prevedere la distribuzione spaziale della trota marmorata in termini di assenza, presenza e abbondanza e di classificare, di conseguenza, ciascun meso-habitat in tre diverse categorie di idoneità: non idoneo, idoneo, ottimale (VEZZA et al., 2013b). La Figura 4-14 e la Figura 4-15 mostrano la classificazione degli habitat in termini di idoneità per la trota marmorata (stadio vitale giovane) per i due tratti considerati.

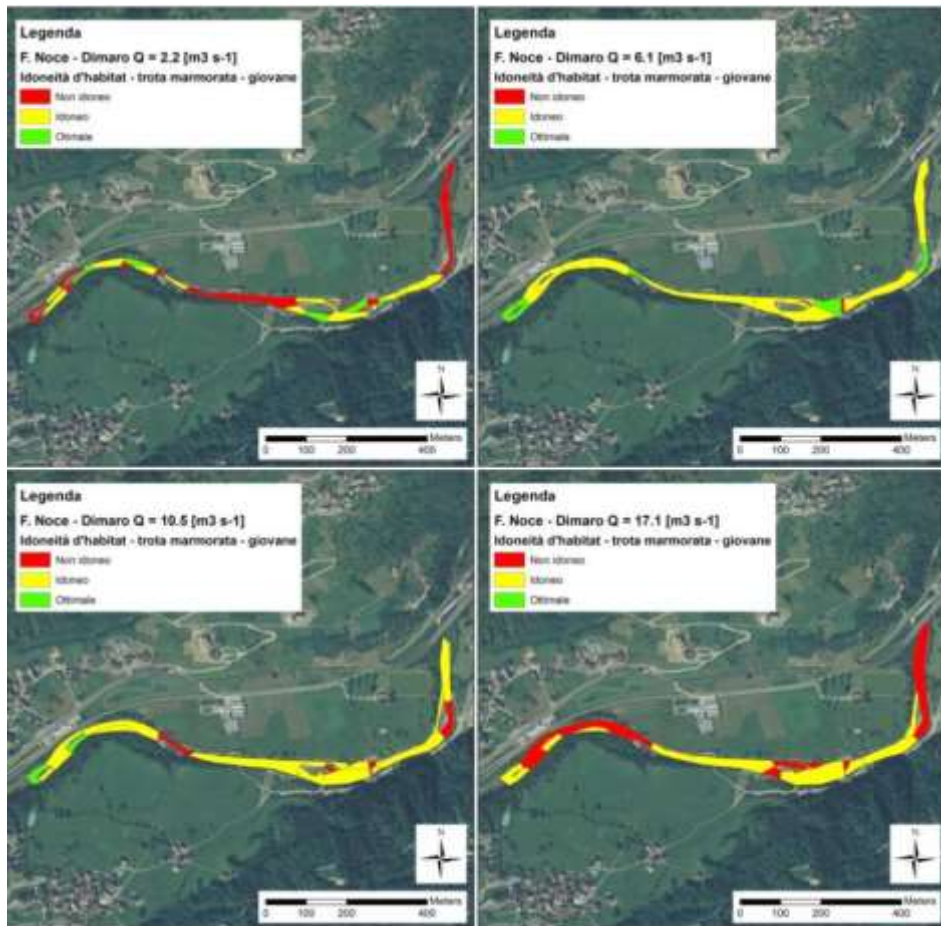


Figura 4-14 Idoneità d'habitat per la trota marmorata (stadio vitale giovanile) per 4 condizioni di portata (2.2; 6.1; 10.5; 17.1 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>) per il Fiume Noce - tratto fluviale di Dimaro

### *Relazione habitat-portata*

La relazione che lega l'habitat disponibile alla portata defluente (ovvero le curve di relazione habitat-portata) sono riportate in Figura 4-16 per i tratti fluviali di Dimaro e Marilleva e in riferimento alla trota marmorata (stadio vitale adulto e giovane).

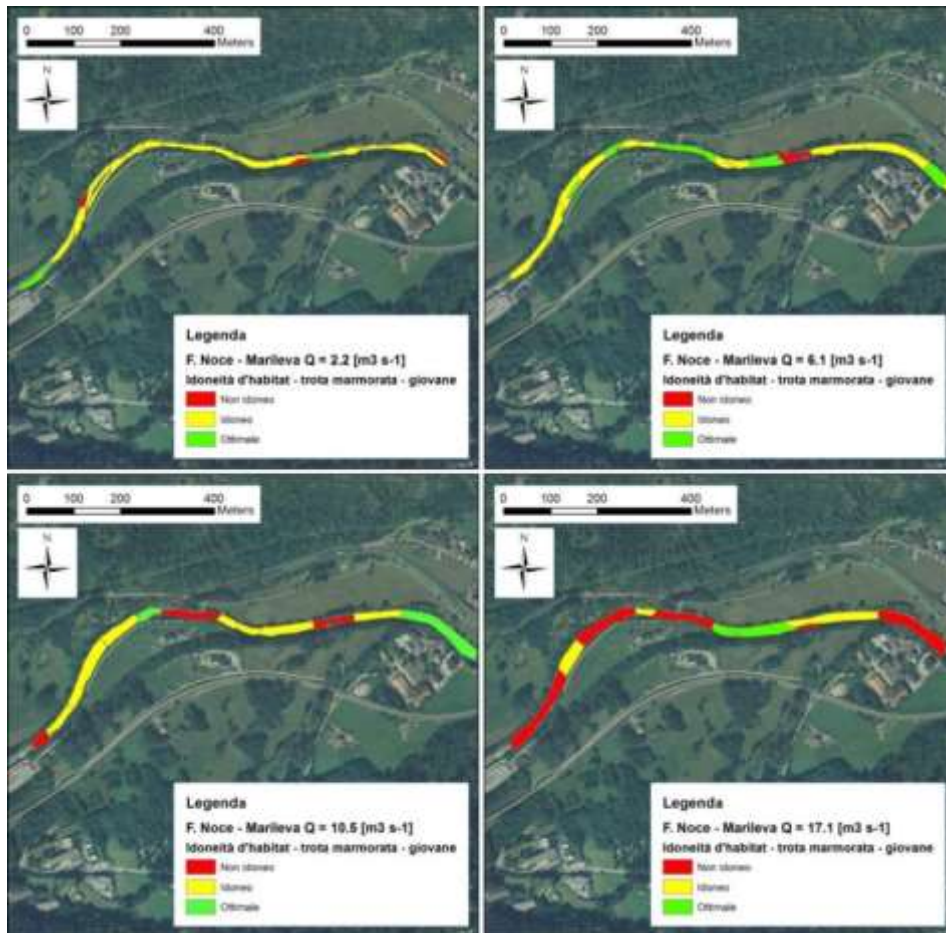


Figura 4-15 Idoneità d’habitat per la trota marmorata (stadio vitale giovane) per 4 condizioni di portata (2.2; 6.1; 10.5; 17.1 m³ s⁻¹) per il Fiume Noce - tratto fluviale di Marilleva

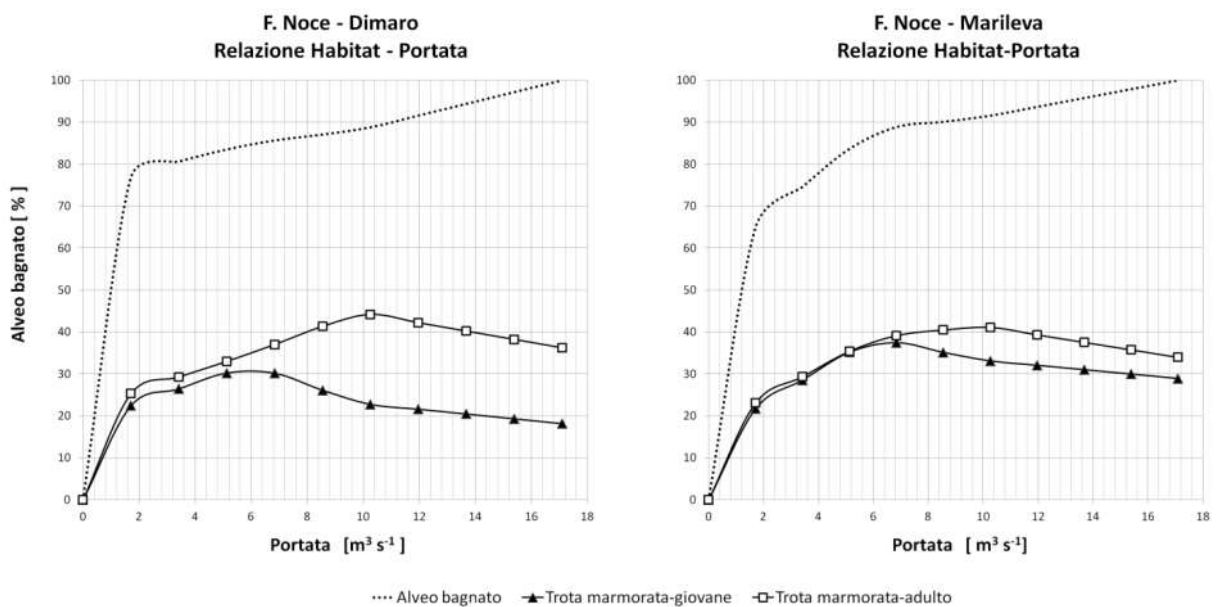


Figura 4-16 Relazione habitat disponibile – portata defluente per i tratti fluviali di Dimaro e Marilleva ottenuta con il metodo MesoHabsim.

### Analisi temporale delle serie storiche di habitat

Le serie di portata in alveo (misurate o simulate) sono state tradotte in serie temporali di habitat; la Figura 4-17 riporta la trasformazione della serie storica di portate in serie storica di habitat disponibile per la trota marmorata (stadio vitale giovane) nel tratto fluviale di Dimaro per il periodo Gennaio-Marzo 2001.

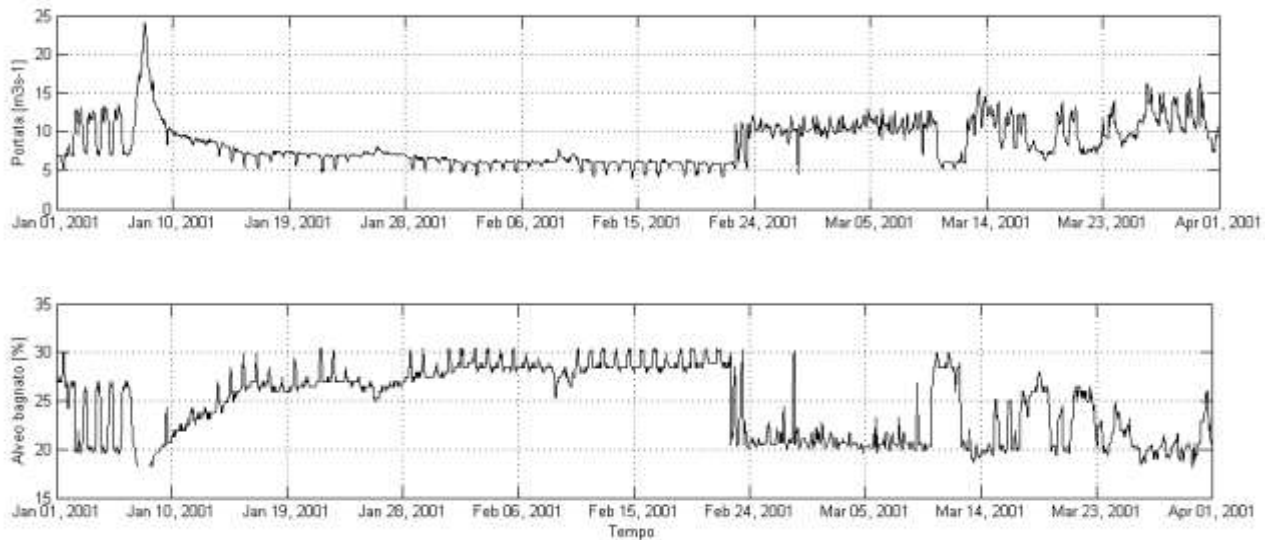


Figura 4-17 Serie di portate orarie (sopra) e di habitat disponibile (sotto) per il periodo 1 Gennaio – 31 Marzo 2001 per il tratto fluviale di Dimaro e in riferimento alla specie trota marmorata - stadio vitale giovane

I valori superiori a  $17.1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  vengono esclusi dalle analisi essendo al di fuori dell'intervallo utilizzato per la costruzione della curva habitat-portata (Figura 4-16).

Le serie storiche di habitat sono state analizzate statisticamente al fine di stabilire le soglie temporali, in termini di durata e frequenza di accadimento, di condizioni di habitat che risultano stressanti per l'ecosistema (curve UCUT), ossia curve di durata continua dell'habitat disponibile al di sotto una data soglia. Ogni singolo evento di stress per la fauna risulta caratterizzato dal numero di ore in cui un valore di habitat disponibile rimane al di sotto della soglia di riferimento (Parasiewicz 2007b).

Gli effetti sull'ambiente acquatico di un' ipotetica riduzione della intensità e dell'ampiezza dei picchi di portata dovuti alla produzione di energia idroelettrica essere sono stati valutati attraverso le serie storiche di habitat e le curve UCUT. Facendo riferimento per il presente studio alla specie trota marmorata (stadio vitale giovane) e modificando artificialmente il segnale orario dato dalla serie storica di portata registrate a Malè (periodo 2001- 2006), è stato possibile ricreare ipotetici scenari di rilascio nel periodo Ottobre-Marzo ed osservare la riduzione della frequenza di accadimento di eventi di habitat sotto-soglia osservando lo spostamento verso sinistra delle due curve di riferimento (21% e 29% di habitat disponibile, fatto 100 l'area totale dell'alveo bagnato, (Figura 4-18) rappresentative di eventi di habitat sotto-soglia che raramente e comunemente si verificano nel periodo analizzato.

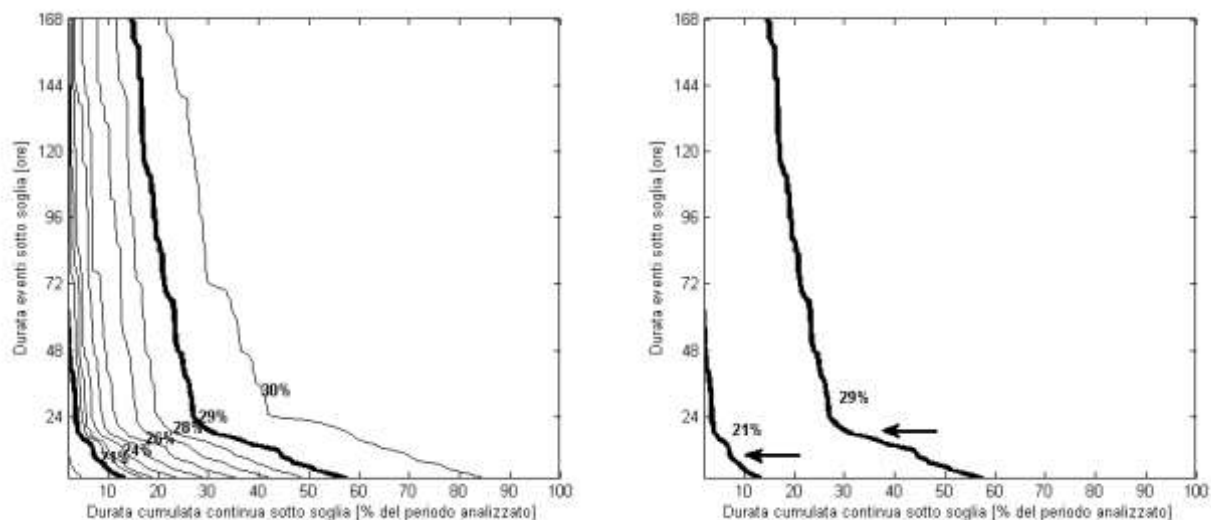


Figura 4-18 Sinistra: curve UCUT costruite per l'intero intervallo di soglie di habitat disponibile (espresso in % dell'alveo bagnato) in riferimento al tratto fluviale di Dimaro e alla specie trota marmorata – stadio giovane. Destra: curve 21% e 29% considerate rappresentative rispettivamente delle condizioni rare e comuni di habitat sotto-soglia

### Costruzione e confronto di possibili scenari di rilascio

Ipotetici scenari di rilascio sono stati costruiti andando a ridurre la portata oraria dovuta all'hydropeaking del 10, 30, 50, 70, 90 e 100 % per il periodo di magra (mesi Ottobre-Marzo, anni 2001-2006). Il periodo scelto è considerato critico per la ridotta disponibilità di portata in alveo, e la scelta degli stadi giovanili di trota marmorata come organismo target è avvenuta al fine di considerarlo stadio vitale maggiormente sottoposto a stress derivanti dall'oscillazione giornaliera delle portate.



Figura 4-19 Esempi rappresentativi della morfologia dell'alveo nei due tratti in cui è stata applicata la metodologia mesohabsim: (A) Marilleva; (B) Dimaro.

Utilizzando quindi come riferimento le curve di durata dell'habitat disponibile sotto-soglia relative al 21% e 29% dell'alveo bagnato, e ripetendo la costruzione di tali curve per ciascuno degli scenari di riduzione dell'hydropeaking, è stato possibile osservare uno spostamento progressivo delle curve UCUT verso sinistra (riduzione della frequenza di accadimento degli eventi di habitat sotto-soglia).

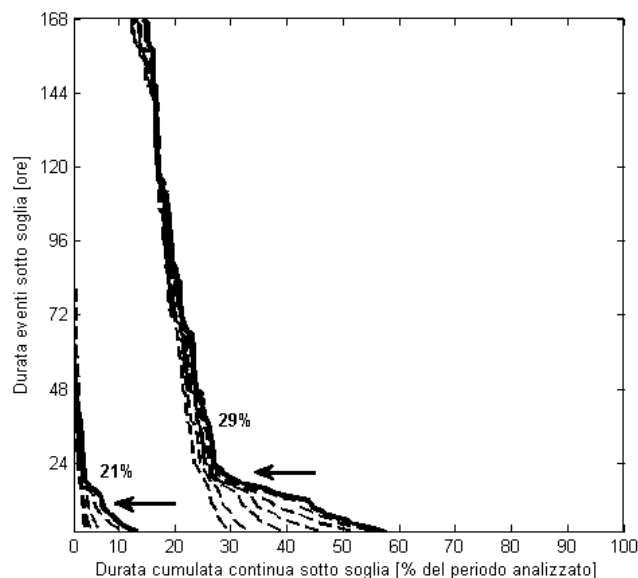


Figura 4-20 Spostamento verso sinistra delle curve UCUT per i diversi scenari analizzati, indice di una riduzione della frequenza degli eventi di habitat sotto-soglia

Lo spostamento delle curve UCUT è quantificato come differenza percentuale delle durate cumulate continue riportate sull'asse delle ascisse; nel presente studio, l'intervallo di durate di eventi di habitat sotto-soglia è stato definito tra 1 e 168 ore (7 giorni) in modo da confrontare la riduzione degli eventi sotto-soglia sia a scala giornaliera (intervalli compresi tra 1 e 48 ore) e sia a scala settimanale (intervalli compresi tra 1 e 168 ore). I valori di riduzione degli eventi sotto-soglia per ciascun ipotetico scenario e per i due tratti fluviali considerati sono riportati in Figura 4-21 e in Figura 4-22.

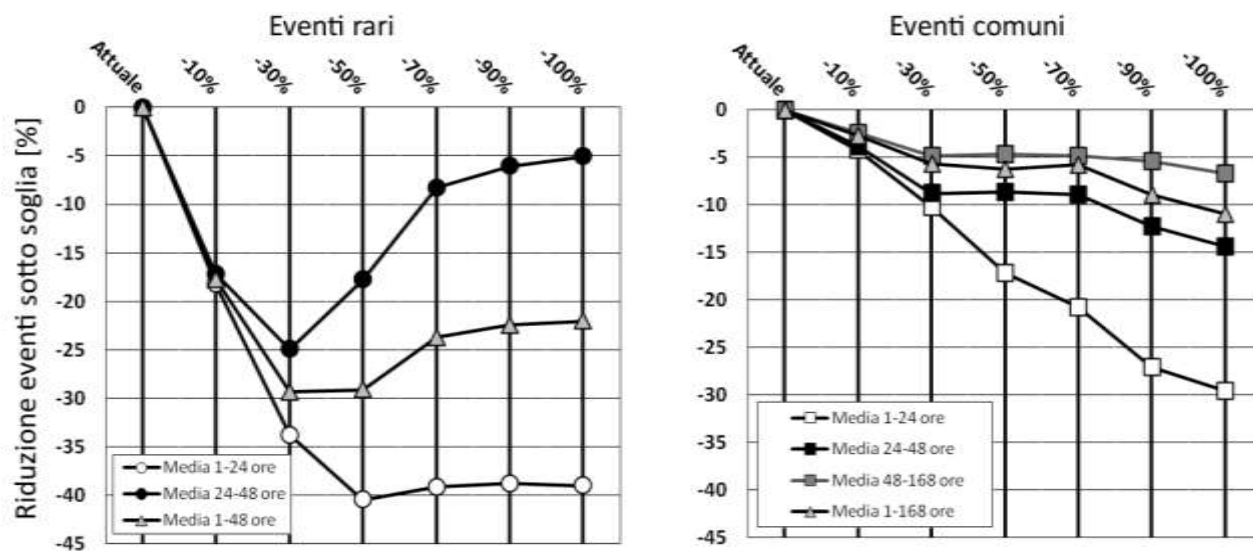


Figura 4-21 Tratto fluviale di Dimaro: riduzione percentuale degli eventi sotto soglia per ciascuno degli ipotetici scenari analizzati (-10%, -30%, -50%, -70%, -90% e -100% dell'hydropeaking). L'analisi è stata eseguita per eventi sotto-soglia rari e comuni e per d



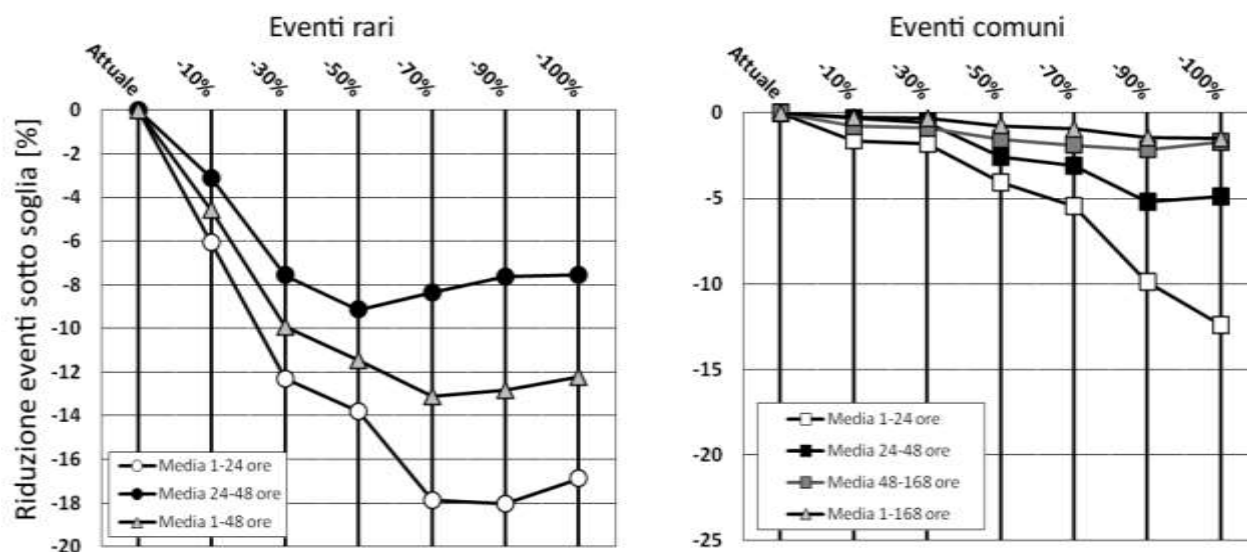


Figura 4-22 Tratto fluviale di Marilleva: riduzione percentuale degli eventi sotto soglia per ciascuno degli ipotetici scenari analizzati (-10%, -30%, -50%, -70%, -90% e -100% dell'hydropeaking). L'analisi è stata eseguita per eventi sotto-soglia rari e comuni

L'analisi temporale delle serie storiche di habitat, unita all'applicazione della metodologia MesoHABSIM, ha permesso il confronto di possibili scenari di rilascio durante il periodo di magra (mesi Ottobre-Marzo, anni 2001-2006) al fine di valutare gli effetti ambientali di una possibile riduzione dell'hydropeaking sugli stadi giovanili della trota marmorata. Secondo quanto riportato in Figura 4-20 per il tratto fluviale di Dimaro, una riduzione del 10% della intensità dei picchi di portata derivanti dalla produzione idroelettrica può portare ad una riduzione media giornaliera fino al 18% degli eventi rari di habitat sotto-soglia. Ulteriori riduzioni del 30% e del 50% dell'hydropeaking porterebbero invece ad una riduzione fino al 35-40% degli eventi di stress giornalieri considerati rari. Per riduzioni superiori (dal 70% al 100% dell'hydropeaking) i relativi benefici non sembrano essere così importanti e, in media, decrescere rispetto agli scenari precedentemente descritti. Questa tendenza può essere indicativa del fatto che, per lo stadio giovanile della trota marmorata, il mantenimento di una portata di base più o meno costante durante tutto il periodo invernale potrebbe portare a condizioni di habitat nel tempo relativamente peggiori se rapportate ai casi di parziale riduzione dell'hydropeaking, ma sicuramente migliori rispetto all'andamento reale della portata in alveo. Tale risultato è interessante sia in termini di gestione ambientale dei rilasci dovuti alla produzione idroelettrica, sia per supportare studi che valutino modulazioni stagionali del Deflusso Minimo Vitale in tratti sottesi.

Se si considerano invece gli eventi comuni di habitat sotto-soglia per il tratto fluviale di Dimaro (Figura 4-21), una riduzione nell'intensità dell'hydropeaking porterebbe benefici ambientali per lo stadio giovanile della trota marmorata principalmente a scala giornaliera (intervallo 1-24 ore) fino ad una riduzione massima del 12%. Per durate superiori (fino a 168 ore ossia 7 giorni consecutivi), i benefici di una riduzione dell'hydropeaking su eventi di habitat comunemente sotto-soglia possono essere considerati mediamente trascurabili. Questo sta a sottolineare come la scala temporale degli eventi di hydropeaking per il Fiume Noce interessi, nella maggior parte dei casi, periodi inferiori alle 24 ore. Una produzione di energia idroelettrica continua per più giorni consecutivi può essere quindi considerata un evento sporadico nel periodo storico analizzato.

Nel caso del tratto fluviale di Marilleva (Figura 4-22), gli effetti dell'hydropeaking sembrano essere meno influenti rispetto al tratto di Dimaro. Questa osservazione può anche essere derivata dalle relazioni habitat-portata per i due tratti analizzati riportate in Figura 4-16, in quanto a parità di portata defluente vi è una maggiore disponibilità di habitat nel tratto di Marilleva rispetto a quello di Dimaro. Secondo i modelli statistici biologici (Figura 4-13), la presenza di massi di diametro superiore ai 40 cm (anche denominati Macrolithal), e il conseguente aumento delle zone di rifugio caratterizzate da velocità ridotte, sembra infatti consentire un incremento della disponibilità di habitat per gli stadi giovanili. La riduzione degli eventi di stress di habitat sotto-soglia sia rari sia comuni è infatti inferiore per il tratto fluviale di Marilleva rispetto al tratto di Dimaro a parità di scenario considerato. Osservazioni simili possono essere fatte per i due tratti analizzati relativamente all'andamento delle curve riportate in Figura 4-21 e in Figura 4-22. Per il tratto di Marilleva, una riduzione tra il 30% e il 100% dell'hydropeaking porterebbe ad una riduzione tra il 12% e il 20% degli eventi di habitat raramente sotto-soglia e tra il 2 e il 12% per eventi di habitat comunemente sotto-soglia.

In conclusione è possibile confermare come la meso-scala possa essere una adeguata risoluzione spaziale per la descrizione delle esigenze ambientali della fauna ittica e come l'analisi temporale delle serie storiche di habitat possa essere utilizzata per descrivere eventuali benefici ambientali dovuti alla riduzione dei picchi di portata derivanti dalla produzione idroelettrica. Il confronto tra possibili scenari di rilascio per il fiume Noce durante il periodo 2001-2006 potrebbe suggerire che una riduzione tra il 10% e il 30% dell'intensità dell'hydropeaking aiuterebbe lo sviluppo e l'accrescimento gli stadi giovanili della trota marmorata durante il periodo invernale.

## 4.2 Qualità ambientale

L'analisi della qualità ambientale è stata suddivisa nelle seguenti componenti: qualità ecologica, qualità fisico-chimica, qualità idromorfologica, qualità per l'avifauna. Gli indici di qualità ecologica e idromorfologica sono stati confrontati per identificare zone di particolare pregio o di criticità

### 4.2.1 Qualità ecologica

#### *IBE*

Il monitoraggio della qualità del Noce in Val di Sole è stato svolto nell'ambito della rete di monitoraggio sistematico dei corsi d'acqua principali della Provincia di Trento, attiva sin dal 1990 e dal 1995 svolto dall'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente (APPA). Dal 1999, in ottemperanza al D. Lgs. 152/1999 (Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole), il fiume Noce è diventato uno dei 6 corsi d'acqua significativi del Trentino (insieme a Adige, Avisio, Brenta, Sarca e Chiese) sui quali effettuare il monitoraggio. La qualità biologica è stata dal 1990 classificata sulla base del valore di IBE (indice biotico esteso). In seguito, recependo la legislazione europea (Direttiva Quadro sulle acque, WFD 2000/60 EU), il D. lgs. n. 152/06 ha previsto la classificazione dello stato di qualità ecologico e dello stato chimico dei corpi idrici. Per la valutazione dello Stato Ecologico è previsto il monitoraggio delle componenti biologiche (per i corpi idrici fluviali alpini: macrobenthos, diatomee, fauna ittica, per i corpi idrici lacustri: fitoplancton, macrofite e fauna ittica) e dei parametri chimico- fisici a supporto.

Nella Provincia di Trento, il monitoraggio dei corsi d'acqua secondo i nuovi criteri è iniziato ad opera dell'APPA, nel 2009. Nel triennio 2009/2011 il monitoraggio chimico e biologico è stato condotto su 80 corpi idrici della rete fluviale trentina. Per l'alto corso del Noce, i monitoraggi della qualità della componente ecologica sono stati effettuati dal 1990 alla stazione del Ponte di Cavizzana (Figura 4-23) (una seconda stazione di monitoraggio è situata nel basso corso, al Ponte Rupe di Mezzolombardo).

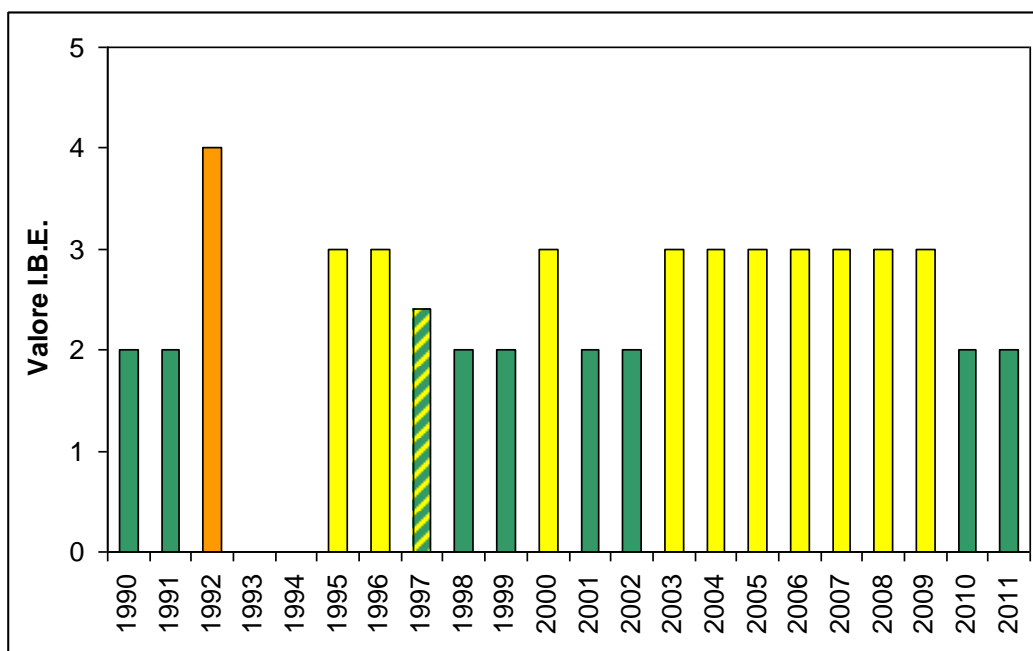


Figura 4-23 Valori di I.B.E. misurati alla stazione di Cavizzana (dati PAT 2004,, APPA 2008, 2012)

Si evidenzia un miglioramento della qualità negli ultimi anni di campionamento (2010-2011), nei quali la stazione indagata ricadeva in classe II ovvero caratterizzata da moderati sintomi di inquinamento o alterazione, mentre negli anni precedenti essa ricadeva spesso in classe III, ovvero ambienti inquinati. È probabile che il miglioramento nella qualità sia dovuto al progressivo aumento dell'allacciamento al sistema di depurazione, e alla corrispondente dismissione delle fosse Imhoff.

I dati IBE presentati a seguire si riferiscono a monitoraggi storici degli anni 2008-2010 forniti dall'APPA (l'IBE non è stato più utilizzato come indice di monitoraggio della componente biologica dal 2008, anno in cui è stato sostituito dall'indice MacrOper, in ottemperanza a quanto richiesto dai metodi di implementazione della WFD per la valutazione dello Stato Ecologico dei corpi idrici) e a quanto riportato nel Rapporto sullo stato dell'ambiente della Provincia di Trento 2003, 2008 e 2012 (Assessorato Urbanistica e Ambiente – Provincia Autonoma di Trento, 2004; Agenzia Provinciale per la protezione dell'ambiente – Provincia Autonoma di Trento 2008, 2012) e sulla seconda parte del piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche della provincia autonoma di Trento (Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche, 2006, <http://pguap.provincia.tn.it/>).

	Noce Pellizzano	Rabbies Malè	Vermigliana	Noce Cavizzana	Noce Bianco Cusiano	Rabbies Rabbi
1 ottobre 2008	1	1	1	1		
23 luglio 2009				2		
12 ottobre 2010				1		
21 ottobre 2010					2	
1 luglio 2008						1
25 agosto 2010						1
9 aprile 2009				2		

Tabella 4-2 I.B.E., stazioni bacino del Noce, dati APPA.

Tutti le stazioni indagate risultano di classi di qualità 1 o 2, che corrispondono a un giudizio di qualità rispettivamente di ambiente non inquinato o comunque non alterato in modo sensibile (codice colore: blu), e ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione (codice colore: verde).

#### IFF

I dati IFF sono stati forniti dall'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente (APPA) della Provincia Autonoma di Trento, e si riferiscono all'applicazione del metodo IFF su tutti i corsi d'acqua tipizzati (vedi <http://www.appa.provincia.tn.it/appa/pubblicazioni/-Acqua/pagina96.html>).

IFF. Poiché i rilievi IFF su tutto il corso del Noce e degli affluenti sono stati effettuati da parte dell'APPA nel 2010, quindi in tempi recenti, e i risultati sono scaricabili online (<http://www.appa.provincia.tn.it/appa/pubblicazioni/-Acqua/pagina104.html>), i rilievi non sono stati ripetuti nel corso del presente studio. Presenteremo a seguire un riassunto dei dati consultati per l'asta e gli affluente principali del fiume Noce in Val di Sole, incluso un riassunto dei giudizi di qualità.

La tabella a seguire riassume la lunghezza e la percentuale di tratti di ogni corso d'acqua (asta principale del Noce in Val di Sole, e suoi affluenti) per ogni classe di funzionalità reale e relativa.

Funzionalità reale	Lungh. Tot Dx (m)	% Dx	Lungh. Tot Sx (m)	% Sx	Funzionalità relativa	Lungh. Tot Dx (m)	% Dx	Lungh. Tot Sx (m)	% Sx
<b>ASTA NOCE VAL DI SOLE</b>					<b>ASTA NOCE VAL DI SOLE</b>				
ottimo	0	0%	0	0%	ottimo	747	2%	561	1%
ottimo-buono	0	0%	0	0%	ottimo-buono	2886	7%	918	2%
buono	10690	27%	4939	13%	buono	12949	33%	6976	18%
buono-mediocre	7900	20%	9009	23%	buono-mediocre	5394	14%	9072	23%
mediocre	15777	40%	19466	49%	mediocre	13185	33%	16587	42%
mediocre-scadente	2541	6%	3494	9%	mediocre-scadente	3752	10%	3195	8%
scadente	2569	7%	2569	7%	scadente	564	1%	2168	5%
scadente-pessimo	0	0%	0	0%	scadente-pessimo	0	0%	0	0%
pessimo	0	0%	0	0%	pessimo	0	0%	0	0%
<b>TORRENTE RABBIES</b>					<b>TORRENTE RABBIES</b>				
ottimo	0	0%	0	0%	ottimo	1425	8%	0	0%
ottimo-buono	786	5%	0	0%	ottimo-buono	1911	11%	180	1%
buono	6382	38%	4232	25%	buono	6283	37%	8225	49%
buono-mediocre	2451	14%	3140	19%	buono-mediocre	4567	27%	4332	26%
mediocre	5979	35%	8073	48%	mediocre	2609	15%	4058	24%
mediocre-scadente	1338	8%	1491	9%	mediocre-scadente	141	1%	141	1%
scadente	0	0%	0	0%	scadente	0	0%	0	0%
scadente-pessimo	0	0%	0	0%	scadente-pessimo	0	0%	0	0%
pessimo	0	0%	0	0%	pessimo	0	0%	0	0%
<b>TORRENTE VERMIGLIANA</b>					<b>TORRENTE VERMIGLIANA</b>				
ottimo	0	0%	0	0%	ottimo	3254	24%	3254	24%
ottimo-buono	0	0%	0	0%	ottimo-buono	2557	19%	1756	13%
buono	5287	39%	6762	50%	buono	3792	28%	4293	31%
buono-mediocre	1328	10%	2016	15%	buono-mediocre	0	0%	0	0%
mediocre	5013	37%	1665	12%	mediocre	2851	21%	1977	14%
mediocre-scadente	1235	9%	1320	10%	mediocre-scadente	408	3%	1583	12%
scadente	786	6%	1887	14%	scadente	786	6%	786	6%
scadente-pessimo	0	0%	0	0%	scadente-pessimo	0	0%	0	0%
pessimo	0	0%	0	0%	pessimo	0	0%	0	0%
<b>TORRENTE MELEDRIO</b>					<b>TORRENTE MELEDRIO</b>				
ottimo	0	0%	0	0%	ottimo	10277	86%	9551	80%

<b>ottimo-buono</b>	0	0%	0	0%	ottimo-buono	0	0%	607	5%
<b>buono</b>	10277	86%	10158	85%	buono	137	1%	256	2%
<b>buono-mediocre</b>	137	1%	256	2%	buono-mediocre	0	0%	0	0%
<b>mediocre</b>	1119	9%	1119	9%	mediocre	1119	9%	1119	9%
<b>mediocre-scadente</b>	281	2%	281	2%	mediocre-scadente	383	3%	281	2%
<b>scadente</b>	102	1%	102	1%	scadente	0	0%	102	1%
<b>scadente-pessimo</b>	0	0%	0	0%	scadente-pessimo	0	0%	0	0%
<b>pessimo</b>	0	0%	0	0%	pessimo	0	0%	0	0%
<b>TORRENTE NOCE BIANCO</b>					<b>TORRENTE NOCE BIANCO</b>				
<b>ottimo</b>	0	0%	0	0%	ottimo	206	3%	0	0%
<b>ottimo-buono</b>	0	0%	0	0%	ottimo-buono	1812	23%	1420	18%
<b>buono</b>	3845	49%	3038	38%	buono	3532	45%	4894	62%
<b>buono-mediocre</b>	1469	19%	1599	20%	buono-mediocre	1571	20%	235	3%
<b>mediocre</b>	1926	24%	2603	33%	mediocre	461	6%	691	9%
<b>mediocre-scadente</b>	466	6%	0	0%	mediocre-scadente	124	2%	0	0%
<b>scadente</b>	208	3%	674	9%	scadente	208	3%	674	9%
<b>scadente-pessimo</b>	0	0%	0	0%	scadente-pessimo	0	0%	0	0%
<b>pessimo</b>	0	0%	0	0%	pessimo	0	0%	0	0%
<b>TORRENTE PRESANELLA</b>					<b>TORRENTE PRESANELLA</b>				
<b>ottimo</b>	0	0%	0	0%	ottimo	158	5%	1445	48%
<b>ottimo-buono</b>	0	0%	0	0%	ottimo-buono	0	0%	0	0%
<b>buono</b>	1253	42%	2152	72%	buono	2654	89%	1253	42%
<b>buono-mediocre</b>	1445	48%	546	18%	buono-mediocre	0	6%	0	0%
<b>mediocre</b>	298	10%	298	10%	mediocre	184	0%	298	10%
<b>mediocre-scadente</b>	0	0%	0	0%	mediocre-scadente	0	0%	0	0%
<b>scadente</b>	0	0%	0	0%	scadente	0	0%	0	0%
<b>scadente-pessimo</b>	0	0%	0	0%	scadente-pessimo	0	0%	0	0%
<b>pessimo</b>	0	0%	0	0%	pessimo	0	0%	0	0%
<b>TORRENTE PRESENA</b>					<b>TORRENTE PRESENA</b>				
<b>ottimo</b>	0	0%	0	0%	ottimo	1918	92%	1918	92%
<b>ottimo-buono</b>	0	0%	0	0%	ottimo-buono	174	8%	174	8%
<b>buono</b>	2092	100%	2092	100%	buono	0	0%	0	0%
<b>buono-mediocre</b>	0	0%	0	0%	buono-mediocre	0	0%	0	0%
<b>mediocre</b>	0	0%	0	0%	mediocre	0	0%	0	0%

<b>mediocre-scadente</b>	0	0%	0	0%	<b>mediocre-scadente</b>	0	0%	0	0%
<b>scadente</b>	0	0%	0	0%	<b>scadente</b>	0	0%	0	0%
<b>scadente-pessimo</b>	0	0%	0	0%	<b>scadente-pessimo</b>	0	0%	0	0%
<b>pessimo</b>	0	0%	0	0%	<b>pessimo</b>	0	0%	0	0%

Tabella 4-3 Tabella riassuntiva IFF

#### 4.2.1...1 Asta Noce

La somma delle lunghezze dei tratti rilevati, dall'inizio della ciclabile a Mostizzolo fino al rilascio sotto Pian Palù, è di 39477 m. Da un punto di vista eco-funzionale i tratti dell'asta del Noce ottengono un giudizio buono nel 27% della lunghezza della sponda destra e per il 13% della sponda sinistra, e mediocre nel 40% e 49%, rispettivamente. Risultano con giudizio di funzionalità mediocre o scadente quei tratti caratterizzati dalla presenza di opere antropiche realizzate in alveo, in particolare dagli argini, che limitano la funzionalità fluviale. La presenza di muri su una o entrambe le rive e il risultante non corretto svolgimento del processo erosivo, che risulta ridotto o assente, la presenza di vegetazione secondaria (bordura arbustiva a salici), di una fascia perifluviale ridotta e spesso interrotta, ed infine gli elementi idromorfologici indistinti, riducono la funzionalità di questi tratti.

Le zone di maggiore funzionalità reale e potenziale sono quelle dell'alto corso, in Val di Pejo, dove la presenza di vegetazione perifluviale costituita da formazione di specie riparie a portamento arboreo che si estende spesso per fasce di ampiezza > di 30 m e senza interruzioni; la presenza di elementi idromorfologici ben distinti con successione irregolare, il substrato dell'alveo stabile, e l'erosione ridotta o assente, danno come risultato una buona idoneità ittica e nessuna alterazione della componente biologica.

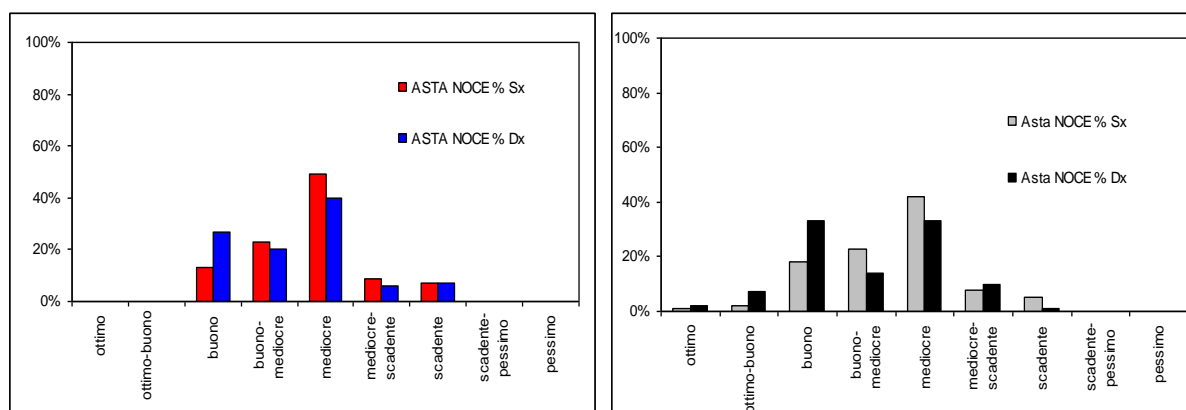


Figura 4-24 Grafici della distribuzione percentuale della funzionalità reale (sinistra) e relativa (destra) per le due sponde dell'Asta Principale del Noce in Val di Sole.

#### 4.2.1...2 Rabbies

La somma delle lunghezze dei tratti rilevati è di 16936 m. Da un punto di vista eco-funzionale i tratti del torrente Rabbies ottengono un giudizio buono per il 38% della lunghezza della sponda destra e per il 25% della sponda sinistra; l'assenza di particolari pressioni antropiche insistenti sul corso d'acqua e la presenza di una buona morfologia permettono, tra i diversi aspetti positivi, l'insediamento di una comunità macrobentonica ben strutturata, adeguata alla tipologia fluviale. Risulta con giudizio di funzionalità mediocre in destra il 35% ed in sinistra il 48% della lunghezza rilevata. Il giudizio di funzionalità mediocre-scadente è attribuito ai tratti caratterizzati dalla presenza di opere antropiche realizzate in alveo che



limitano la funzionalità fluviale; questo ha ripercussioni soprattutto sulle domande relative all'efficienza di esondazione, all'erosione, alla sezione trasversale, all'idoneità ittica e all'idromorfologia, nonché al mancato sviluppo di una formazione riparia di ampiezza sufficiente e garantire un corretto svolgimento dei processi ecosistemici.

I tratti del Torrente Rabbies rientrano in 4 categorie tipologiche fluviali: pedemontano (PD), fondovalle stretto (FS), montano (MT) e montano con valle ampia (MTva).

Con il calcolo della funzionalità relativa c'è generale aumento dei tratti che ottengono un giudizio migliore, con l'8% di lunghezza con giudizio ottimo in sponda destra; l'11% della lunghezza in destra e l'1% in sinistra ottiene un giudizio ottimo-buono.

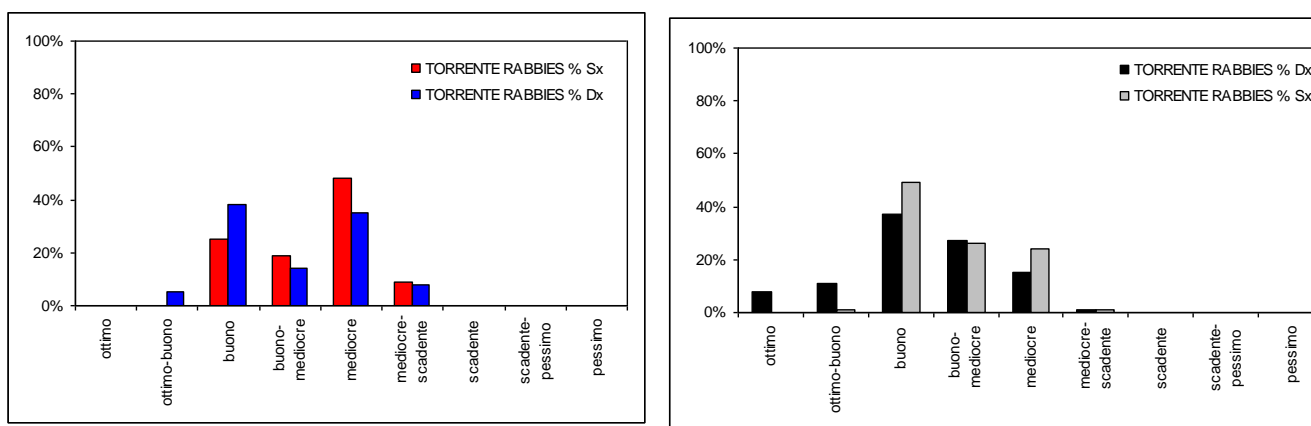


Figura 4-25 Grafici della distribuzione percentuale della funzionalità reale (sinistra) e relativa (destra) per le due sponde del Torrente Rabbies.

#### 4.2.1...3 Vermigliana

La somma delle lunghezze dei tratti rilevati è di 13646 m. Da un punto di vista eco-funzionale i tratti del torrente Vermigliana ottengono un giudizio buono per il 56% della lunghezza complessiva del torrente per la sponda destra e il 50% per quella sinistra. Risultano con giudizio di funzionalità mediocre o scadente quei tratti caratterizzati dalla presenza di opere antropiche realizzate in alveo, in particolare dagli argini, che limitano la funzionalità fluviale. Ciò si manifesta soprattutto per le domande relative all'efficienza di esondazione, all'erosione, alla sezione trasversale, all'idoneità ittica e all'idromorfologia, nonché al mancato sviluppo di una formazione riparia di ampiezza sufficiente a garantire un corretto svolgimento dei processi ecosistemici. Nei tratti posti più a monte, si assiste ad un miglioramento; infatti il giudizio di funzionalità diventa buono grazie all'assenza di particolari pressioni insistenti sul corso d'acqua e ad una buona morfologia permette l'insediamento di una comunità macrobentonica ben strutturata, adeguata alla tipologia fluviale.

La funzionalità relativa mostra un aumento dei tratti che ottengono i giudizi di funzionalità più elevati (giudizi ottimo e ottimo-buono), ciò è vero soprattutto per quei tratti che scorrono in un territorio montano. I tratti della sponda destra ottengono tali giudizi per il 43% della lunghezza complessiva del corso d'acqua, quelli della sponda sinistra per il 37%. Pertanto la limitazione della funzionalità ecosistemica non è dovuta solamente da fattori antropici ma anche dalle caratteristiche ambientali in cui è inserito il corso d'acqua. Al contrario, i tratti in cui il giudizio di funzionalità reale è mediocre o scadente non denotano un miglioramento nel momento in cui si calcola la funzionalità relativa. Per tali tratti la bassa funzionalità è

legata, più che a cause naturali, alla presenza di pressioni antropiche e di opere di artificializzazione dell'alveo.

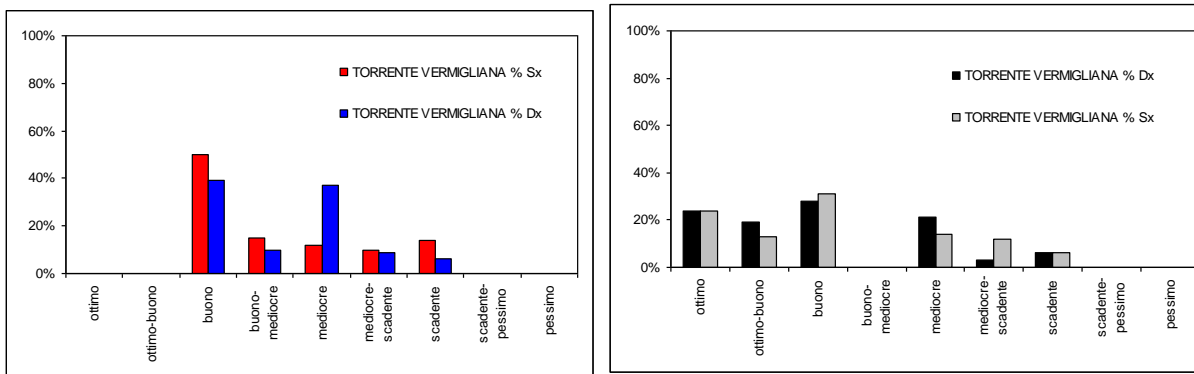


Figura 4-26 Grafici della distribuzione percentuale della funzionalità reale (sinistra) e relativa (destra) per le due sponde del Torrente Vermigliana

#### 4.2.1...4 Meledrio

La somma delle lunghezze dei tratti rilevati è di 11916 m. I tratti della sponda destra ottengono un giudizio buono per l'86% della lunghezza complessiva del corso d'acqua analizzato, quelli della sponda sinistra per l'85%. I primi tratti risultano con giudizi di funzionalità compresi tra il mediocre e il mediocre-scadente poiché scorrono in un territorio con una forte presenza antropica e poiché presentano opere di artificializzazione dell'alveo. Un solo tratto ha giudizio di funzionalità scadente, dovuto alla presenza su entrambe le sponde di argini in massi non vegetati e quindi i naturali processi di autodepurazione sono compromessi.

I tratti del Meledrio rientrano in tre categorie tipologiche fluviali: fondovalle stretto (FS), fondovalle ampio (FA) e montano (MT).

I tratti che con l'IFF reale hanno ottenuto un giudizio buono, con il calcolo dell'IFF relativo ottengono un giudizio ottimo. Tale comportamento indica che la limitazione della funzionalità ecosistemica, per una buona parte del torrente (86% in destra, 80% in sinistra), non è da imputare solamente alla presenza di pressioni antropiche e di opere di artificializzazione, ma si lega soprattutto alle peculiarità territoriali ed ambientali in cui scorre il corso d'acqua.

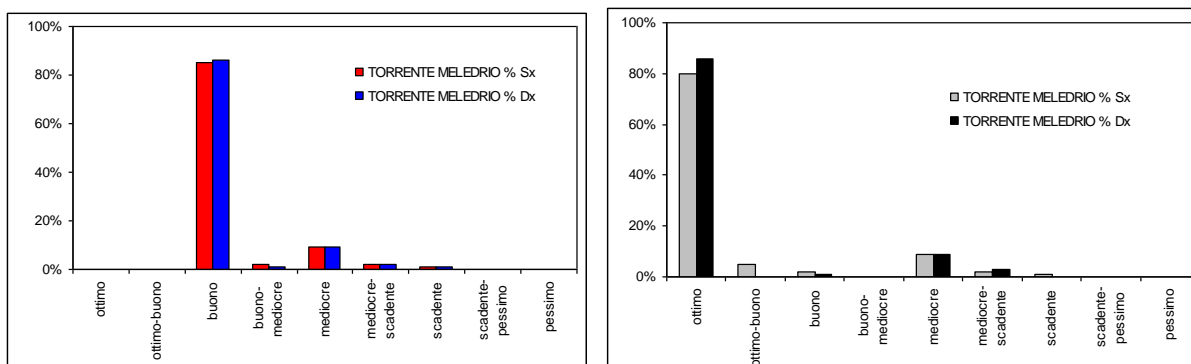


Figura 4-27 Grafici della distribuzione percentuale della funzionalità reale (sinistra) e relativa (destra) per le due sponde del Torrente Meledrio

#### 4.2.1...5 *Noce Bianco*

La somma delle lunghezze dei tratti rilevati è di 7914 m. I primi cinque tratti risentono molto della presenza di opere di difesa spondale in cemento e/o massi presenti e della antropizzazione del territorio circostante. Ciò si manifesta soprattutto per le domande relative all'efficienza di esondazione, all'erosione, alla sezione trasversale, all'idoneità ittica e all'idromorfologia, nonché al mancato sviluppo di una formazione riparia di ampiezza sufficiente a garantire un corretto svolgimento dei processi ecosistemici. Per tali tratti il giudizio di funzionalità ottenuto va dallo scadente, al mediocre. Dal tratto BIAN005 al BIAN011 ciò che maggiormente influenza la funzionalità è la presenza di colture stagionali e di pascoli antropici che limitano lo sviluppo di formazioni riparie ampie e continue nella fascia perifluviale. Dal BIAN012 si assiste ad un miglioramento, i tratti della sponda destra ottengono un giudizio buono per il 49% della lunghezza complessiva del corso d'acqua analizzato, quelli della sponda sinistra per l'38%. I tratti del Noce Bianco rientrano in una categoria tipologica fluviale, il montano (MT); per i primi tre tratti il torrente scorre in una valle più ampia, e tale caratteristica è stata ovviamente presa in considerazione per la definizione della funzionalità potenziale. Per la funzionalità relativa si osserva un aumento dei tratti appartenenti a livelli di funzionalità più elevati, quelli con giudizio da buono in su. L'insieme delle lunghezze con tali giudizi per la sponda destra ammontano al 71%, quelli della sponda sinistra per il 80%. Ciò denota che la limitazione della funzionalità ecosistemica non è dovuta solamente a fattori antropici ma anche alle caratteristiche ambientali in cui è inserito il corso d'acqua. Al contrario le percentuali delle lunghezze dei tratti con giudizio di funzionalità scadente non variano rispetto alle percentuali della funzionalità reale; tale giudizio è quindi un'evidenza degli effetti esercitati dagli impatti antropici più che a condizioni naturali.

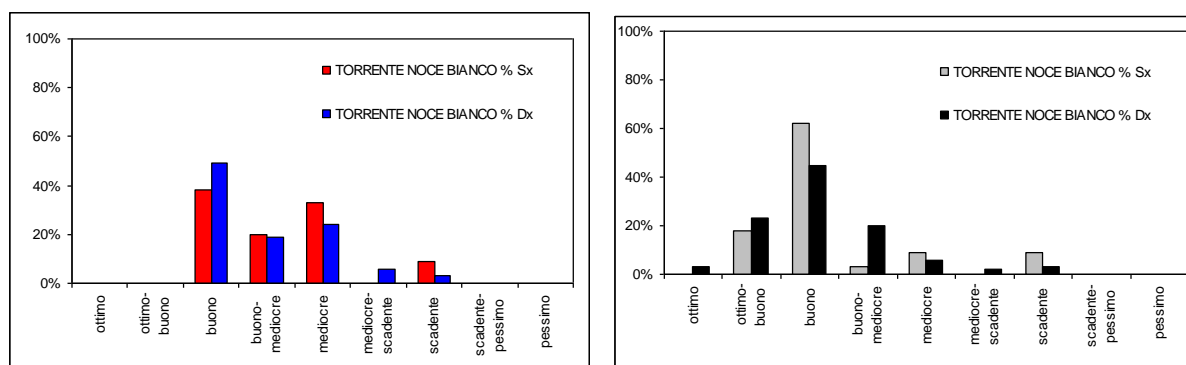


Figura 4-28 Grafici della distribuzione percentuale della funzionalità reale (sinistra) e relativa (destra) per le due sponde del Torrente Noce Bianco

#### 4.2.1...6 *Rio Presanella*

La somma delle lunghezze dei tratti rilevati è di 2996 m. Da un punto di vista eco-funzionale i tratti del rio Presanella ottengono un giudizio buono e buono-mediocre per il 90% della lunghezza complessiva del torrente, sia per la sponda destra che per quella sinistra, mettendo in luce come il corretto svolgimento dei processi ecologico-funzionali sono garantiti per quasi la totalità del torrente. Il restante 10% risulta con giudizio di funzionalità mediocre, in tratti caratterizzati dalla presenza di opere antropiche realizzate in alveo, in particolare opere di difesa che limitano la funzionalità fluviale. I tratti del rio Presanella rientrano in una sola categoria tipologica fluviale, il montano (MT). Con il calcolo della funzionalità relativa aumentano i tratti con giudizio di funzionalità più alti. Resta invariato il giudizio (mediocre) per quei tratti che presentano interventi di artificializzazione.

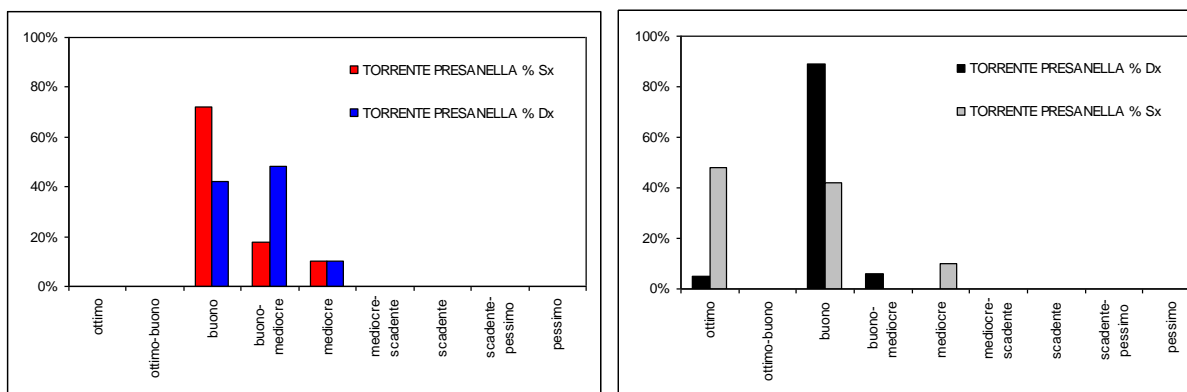


Figura 4-29 Grafici della distribuzione percentuale della funzionalità reale (sinistra) e relativa (destra) per le due sponde del Rio Presanella.

#### 4.2.1...7 Rio Presena

La somma delle lunghezze dei tratti rilevati è di 2092 m. Per tutta la lunghezza del corso d'acqua su entrambe le sponde è stato ottenuto un giudizio di funzionalità buono. I tratti del rio Presena rientrano in una sola categoria tipologica fluviale, il montano (MT). Con il calcolo della funzionalità relativa aumentano i tratti con giudizio di funzionalità ottimo e ottimo-buono. Per tale corso d'acqua la limitazione della funzionalità ecosistemica non è dovuta da fattori antropici ma sono generate dalle peculiarità naturalistico-ambientali in cui è inserito tale torrente.

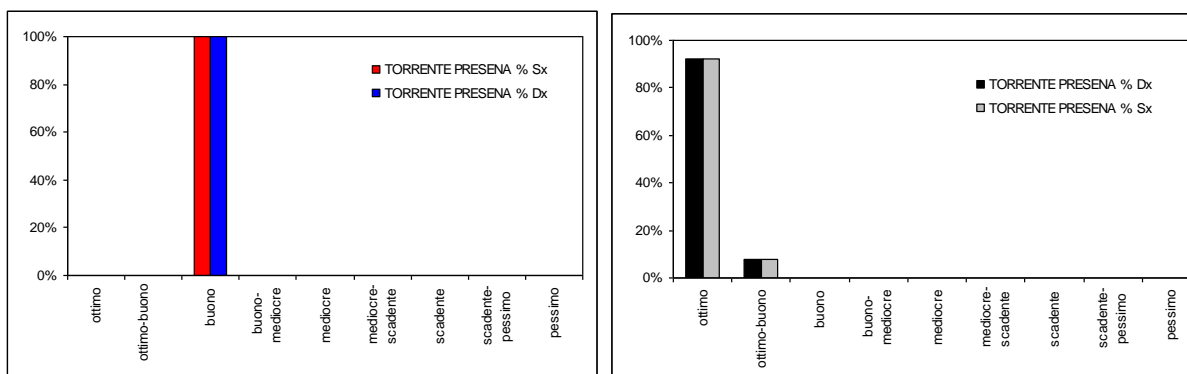


Figura 4-30 Grafici della distribuzione percentuale della funzionalità reale (sinistra) e relativa (destra) per le due sponde del Rio Presena.

#### MacrOper

L'analisi MacrOper, effettuate nel 2012 dal nostro gruppo di ricerca, indica uno stato ecologico elevato solo per la stazione situata all'interno del SIC Ontaneta di Croviana (Figura 4-31), caratterizzato da una fascia quasi completamente boscata allungata intorno al corso d'acqua, con tipica seriazione di salici, pioppo nero, ontano bianco e specie a "legno duro" (tiglio, frassino ecc.). Alla base della pendice in sponda destra una serie di risorgive alimenta con acqua limpida e "tranquilla" un canale che scorre parallelo al torrente, ospitando vegetazione sommersa e originando un interessante sottobosco paludoso. Queste caratteristiche di diversità di habitat e di buona produttività vegetale ovviamente sostengono comunità bentoniche più diverse e abbondanti.

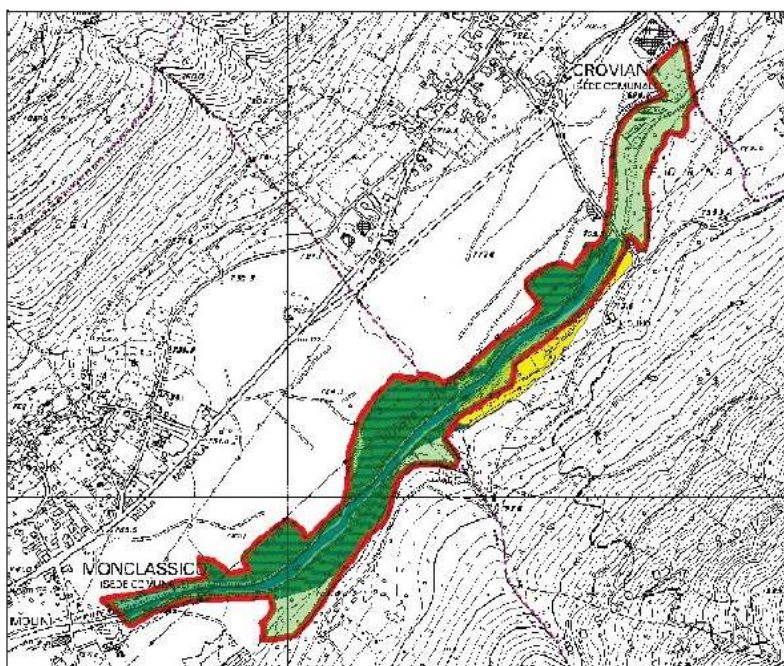


Figura 4-31 Mappa ontaneta di Croviana (fonte: [www.gis.provincia.tn.it/habitat](http://www.gis.provincia.tn.it/habitat))

Nelle rimanenti stazioni la qualità è buona, ad eccezione delle stazioni Noce Bianco a monte della scentrale idroelettrica di Cogolo-Pont, tratto sottoposto a un regime di Deflusso Minimo Vitale di rilascio dalla diga di Malga Mare, dalla quale, soprattutto nel periodo estivo, vengono periodicamente rilasciati sedimenti; i due fattori hanno quindi un effetto negativo sulla fauna bentonica.

	STAR_ICMi	Stato Ecologico	Classe
<b>Noce (SIC Ontaneta di Croviana)</b>	1.06	ELEVATO	1
<b>Noce monte Dimaro</b>	0.875	BUONO	2
<b>Noce Bianco Cogolo monte rilascio centrale</b>	0.637	SUFFICIENTE	3
<b>Noce Bianco Cogolo valle rilascio centrale</b>	0.733	BUONO	2
<b>Vermigliana valle Vermiglio</b>	0.786	BUONO	2
<b>Rabbies valle Pracorno</b>	0.79	BUONO	2
<b>Noce Bozzana Ponte Stori</b>	0.666	BUONO	2

Tabella 4-4 Classi dell'indice MacrOpe nelle stazioni analizzate

Le stazioni campionate dal 2008 al 2010 dall'APPA mostrano anch'esse un valore generalmente buono; valori sufficienti sono stati rilevati in pochi casi, e generalmente prima del 2010 (Figura 4-32). Anche la stazione di Malè, che dal luglio 2009 al marzo 2010 ricadeva in classe sufficiente, ma che successivamente è passata a stato buono. A Cusiano, permane anche alla fine del 2010 uno stato moderato, come possibile effetto dei rilasci di hydropeaking dalla centrale di Cogolo-Pont che si propagano a valle, e i cui effetti sull'induzione al drift catastrofico sono stati rilevati da Bruno et al. (2009) fino a una stazione circa 500 m a monte di Cusiano.

Stazione	STAR_ICMi	Stato Ecologico	Classe
Noce Pellizzano apr 2008	0.65	SUFFICIENTE	3
Noce Pellizzano mar 2010	0.79	BUONO	2
Noce Pellizzano mag 2010	0.862	BUONO	2
Noce Pellizzano dic 2010	0.761	BUONO	2
Rabbies Malè apr 2009	0.796	BUONO	2
Rabbies Malè lug 2009	0.643	SUFFICIENTE	3
Rabbies Malè nov 2009	0.693	SUFFICIENTE	3
Rabbies Malè mar 2010	0.713	SUFFICIENTE	3
Rabbies Malè mag 2010	0.769	BUONO	2
Rabbies Malè dic 2010	0.798	BUONO	2
Vermigliana Ossana apr 2008	0.75	BUONO	2
Vermigliana Ossana mar 2008	0.805	BUONO	2
Vermigliana Ossana mag 2010	0.755	BUONO	2
Vermigliana Ossana dic 2010	0.739	BUONO	2
Noce, Valle Del Monte giu 2010	0.704	SUFFICIENTE	3
Noce, Valle Del Monte ott 2010	0.88	BUONO	2
Noce, Valle Del Monte dic 2010	0.741	BUONO	2
Noce Bianco a Cusiano ago 2010	0.575	SUFFICIENTE	3
Noce Bianco a Cusiano ott 2010	0.732	BUONO	2
Noce Bianco a Cusiano	0.716	SUFFICIENTE	3
Rabbies Rabbi ago 2010	0.821	BUONO	2
Rabbies Rabbi ott 2010	0.848	BUONO	2
Rabbies Rabbi dic 2010	0.881	BUONO	2
Rabbies Rabbi apr 2009	0.848	BUONO	2
Rabbies Rabbi lug 2009	0.7	SUFFICIENTE	3
Rabbies Rabbi nov 2009	0.761	BUONO	2
Rabbies Rabbi giu 2010	0.819	BUONO	2
Rabbies Rabbi ott 2010	0.881	BUONO	2
Rabbies Rabbi dic 2010	0.857	BUONO	2

Tabella 4-5 Valori MacrOper da monitoraggio APPA.

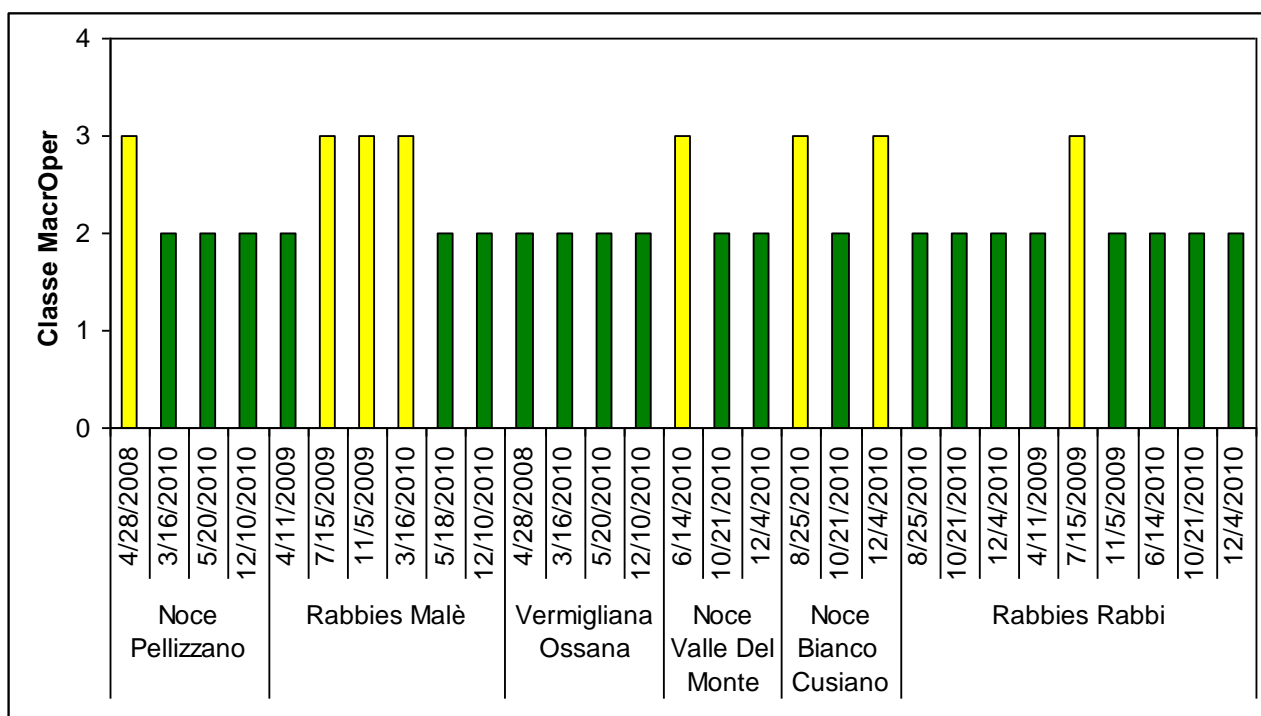


Figura 4-32 Classi MacroOper da monitoraggio APPA.

#### 4.2.2 Fauna zoobentonica e iporreica

##### Fauna bentonica

Da precedenti progetti di ricerca svolti sul tratto di Noce in esame (capitolo 2.4.2) emergono due principali informazioni di rilievo per il presente studio.

##### Bacino superiore del Noce Bianco

In estrema sintesi l'alto Noce Bianco comprende un mosaico di tipologie fluviali con corsi d'acqua alimentati da ghiacciai, da sorgenti, da nevai ed emissari di laghi. Ciascuna tipologia ospita comunità bentoniche peculiari che nel loro insieme rappresentano una ricca biodiversità acquatica alpina. Si tratta di un patrimonio genetico di grande valore perché difficilmente una tale varietà di tipologie fluviali si trova nello stesso bacino con caratteristiche di naturalità. In particolare i torrenti di origine glaciale comprendono tratti dalle caratteristiche ambientali più estreme come il torrente generato dalla Vedretta Rossa e altri più favorevoli all'insediamento della fauna bentonica tipica di questi ambienti, come il tratto generato dalla vedretta de La Mare. Condizioni intermedie caratterizzano il torrente alimentato dalle vedrette del Careser. Corsi d'acqua con origine non glaciale e quindi con condizioni chimico-fisiche più "dolci" sono il rio Larcher, che nasce da falde e nevai nei pressi dell'omonimo rifugio, gli emissari dei laghi Marmotte e Lungo, e infine il rio Careser che "rinasce" a valle della diga, con caratteristiche del tutto diverse del tratto a monte della stessa. In Pian Venezia sono inoltre presenti alcuni rii di minori dimensioni generati da sorgenti. Questi piccoli habitat sono di notevole importanza per la loro stabilità fisico-chimica e per loro persistenza, condizioni che permettono lo sviluppo di comunità biologiche peculiari e che contribuiscono in modo

significativo alla biodiversità dell'intero bacino. Inoltre rappresentano importanti aree rifugio per gli altri invertebrati acquatici sia in inverno, grazie alla temperatura dell'acqua costante, che in estate perché non subiscono le ampie fluttuazioni di portata tipiche dei corsi d'acqua d'alta quota.

L'emissario del lago Lungo confluisce nel rio Careser poco a monte di Malga Mare, dando vita ad un tratto particolarmente ricco di fauna acquatica, sia per abbondanza che per diversità. Studi eseguiti precedentemente al presente progetto, dai ricercatori del Museo Tridentino di Scienze Naturali nel periodo 1999 – 2004 nell'ambito di diversi progetti europei indicano come questa ricchezza biologica viene persa con la derivazione del torrente nel bacino di Malga Mare.

La ricchezza in biodiversità dell'alto bacino del Noce Bianco è anche testimoniata dalla scoperta, nel corso di queste indagini, di tre specie nuove alla scienza, l'oligochete *Cernosvitoviella tridentina*, il crostaceo arpacticoide *Hypocamptus ruffoi* e il dittero chironomide *Macropelopia rossaroi* (e.g. Dumnicka., 2010, Lencioni e Marziali, 2005 ).

### **Effetti dell'hydropeaking sulla fauna bentonica**

Il progetto REPORT (Capitolo 2.4.1) ha evidenziato i seguenti principali effetti ecologici dei rilasci intermittenti dalla centrale di Cogolo-Pont soprattutto nel Noce a monte della con la Vermigliana.

Lo studio di un singolo evento di *hydropeaking* ha evidenziato un forte impatto sulla comunità bentonica che risponde all'arrivo dell'onda con un immediato aumento del *drift* catastrofico. I risultati si propagano a lunga distanza a valle dei punti di rilascio (fino a 8 km nel caso studio). Quindi, ripetuti eventi di *hydropeaking* della stessa entità possono portare a una considerevole perdita di individui e influire negativamente su fasi del ciclo vitale quali l'emergenza di insetti adulti. Poiché lo zoobenthos rappresenta la risorsa trofica per numerosi vertebrati e invertebrati, le alterazioni della sua biomassa e diversità si ripercuotono ovviamente su tutta la catena trofica, e quindi globalmente sull'ecosistema acquatico interessato.

2) Lo studio dell'ambiente iporreico a monte e valle dell'impianto di Cogolo-Pont per un periodo di due anni ha permesso di rilevare una forte diminuzione della componente iporreica fino a 6 km dalla centrale, dovuta probabilmente al deposito del materiale organico fine trasportato dalle acque turbinate che, intasando gli interstizi, riduce l'habitat disponibile per gli organismi interstiziali, ovvero strettamente iporreici. In parallelo aumenta dell'utilizzo dell'ambiente iporreico da parte degli organismi di superficie, probabilmente come rifugio dalla forza trattiva della corrente. Considerando l'importanza degli stigobi nelle reti trofiche di acque sotterranee, e del loro ruolo di trasformazione della materia organica, le alterazioni delle biocenosi di acque sotterranee causate dall'hydropeaking possono a lungo termine alterare lo status della comunità, riducendone la resilienza e la funzionalità.

Il termine *thermopeaking* è stato definito in analogia con *hydropeaking* ovvero come le rapide alterazioni termiche di un corso d'acqua impattato da tributari naturali e/o artificiali con differenti proprietà termiche e di portata. Il *thermopeaking* può essere "caldo" o "freddo". In autunno e inverno si verifica il *thermopeaking* caldo, e l'acqua del fiume viene riscaldata da quella rilasciata dall'impianto poiché in questo periodo dell'anno la temperatura dei torrenti alpini è particolarmente bassa perché il letto fluviale è situato in fondovalle poco soleggiati, mentre la stratificazione invernale dei bacini artificiali fa sì che le acque ipocinetiche rilasciate siano più calde, anche se i bacini sono a maggiori altitudini rispetto all'impianto



idroelettrico. Una situazione opposta si verifica in primavera e estate, ovvero il thermopeaking freddo dovuto alle forti differenze nel riscaldamento tra i bacini e i punti di reimmissione, dovute alle differenze in altitudine, che fanno sì che le acque turbinate siano più fredde del torrente ricevente. Gli effetti del thermopeaking sulla fauna bentonica sono stati studiati tramite una serie di simulazioni in un impianto di canalette alimentate dal torrente Fersina in Valsugana (CAROLLI et al., 2012; BRUNO et al., 2013) e hanno dimostrato una forte risposta da parte dei macroinvertebrati, che rispondono alle improvvise alterazioni di temperatura con un aumento del drift comportamentale: gli organismi volontariamente si staccano dal substrato ed entrano nella corrente per essere trasportati più a valle dove le condizioni di temperatura possono essere più favorevoli.

Pertanto la fauna bentonica in corsi d'acqua impattati da rilasci da impianti con bacini di accumulo ad alta quota (come è il caso del Noce), è sottoposta agli effetti di hydropeaking e thermopeaking e la sinergia negativa di questi sul lungo termine può alterare la distribuzione longitudinale delle comunità bentoniche. In sintesi, se la maggior parte degli invertebrati bentonici che sono rispondono con il drift catastrofico agli improvvisi aumenti di portate (ovvero, all'hydropeaking) rispondono anche a improvvisi aumenti/diminuzioni di temperatura (thermopeaking) gli effetti di questi ultimi non dovrebbero essere trascurati nella valutazioni degli impatto dalla produzione di energia idroelettrica.

### *Fauna iporreica*

Lo studio dell'ambiente iporreico del Noce in Val di Sole si è basato su risultati ottenuti in una campagna precedente (Progetto REPORT: 2006-2008), integrati con alcuni campioni di fauna iporreica raccolti nel 2013 nelle stazioni di Dimaro, Vermigliana, Rabbies, monte e valle Cogolo-Pont (queste ultime corrispondono alle stazioni A e B dei campionamenti del 2006-2008).

Nel corso dello studio 2006-2008 dell'ambiente iporreico a monte e a valle dell'impianto di Cogolo-Pont sono stati raccolti un totale di 4055 invertebrati, che sono stati riuniti in gruppi relativamente alla loro specializzazione alla vita in acque sotterranee. I taxa stigobi (specializzati ed esclusivi di ambienti interstiziali sotterranei) si riducevano esponenzialmente in abbondanza passando dalla stazione non impattata e quelle impattate da rilasci idroelettrici (Figura 4-33), mentre aumentavano parallelamente i taxa stigosseni (ovvero taxa normalmente bentonici, casualmente presenti nell'iporreico).

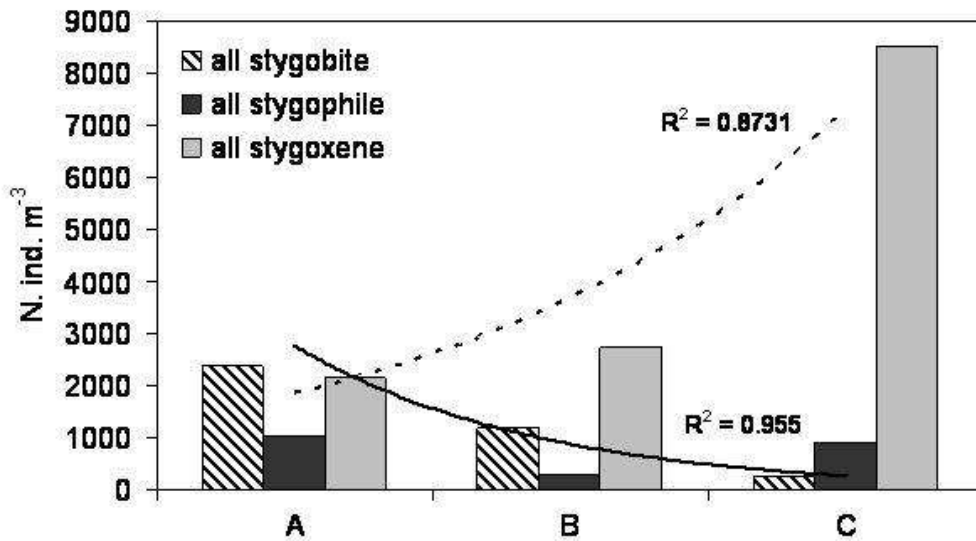


Figura 4-33 Densità totali di invertebrati stigobi, stigofili e stigosseni nelle tre stazioni e curva di regressione esponenziale per i valori di stigobi e stigosseni (da BRUNO et al., 2009).

La maggior diminuzione dell'abbondanza e diversità della fauna iporreica, rilevata a 6 km dalla centrale, è dovuta probabilmente al deposito del materiale organico fine trasportato dalle acque turbinate, che risulta invece ancora in sospensione immediatamente a valle della centrale. Il materiale fine, intasando gli interstizi, riduce l'habitat disponibile per gli organismi interstiziali, ovvero quelli strettamente iporreici. In parallelo aumenta l'utilizzo dell'ambiente iporreico da parte degli organismi di superficie, probabilmente come rifugio dalla forza trattiva della corrente. Non va infatti dimenticato che il drift è molto intenso immediatamente a valle della centrale. Gli invertebrati driftanti vengono trasportati a valle ma appena riescono a toccare il fondo, se presentano strutture morfologicamente adatte, tendono a trovare rifugio in zone protette dall'azione della corrente. La probabilità che tali organismi colonizzino stabilmente gli habitat di acque sotterranee è minima sia per la marcata oligotrofia dell'ambiente ipogeo, sia per il minor successo adattativo degli invertebrati di acque superficiali in ambiente sotterraneo, a meno che il loro ingresso sia continuo e consistente. Le alterazioni delle biocenosi di acque sotterranee e iporreiche causate dall'hydropeaking possono a lungo termine alterare lo status della comunità, riducendone la resilienza e la funzionalità.

I campioni raccolti nel giugno 2013 (Figura 4-34) mostrano una presenza molto bassa di fauna iporreica nella stazione a monte dei rilasci di Cogolo-Peio, e comunque una presenza molto bassa anche di fauna occasionale (stigosseni) o occasionale opportunistica (stigofili). La qualità dell'ambiente iporreico sembra quindi peggiorata rispetto alla campagna precedente, anche se ovviamente un solo campione fornisce solo indicazioni poco precise. Questa stazione è sottoposta a DMV e impattata dalle operazioni di sghiaimento da Malga Mare, è possibile che precedentemente al campionamento, una sghiaia tura abbia temporaneamente alterato l'ambiente iporreico. Più interessante la situazione della Vermigliana, che presenta una buona componente adattata all'ambiente iporreico quali gli stigobi (il copepode arpacticoido *Parastenocaris cf glacialis*, e gli oligocheti della famiglia Naididae spp) e gli stigofili (tra cui due specie considerate stigi terme fredde: i copepodi arpacticoidi *Limocamptus echinatus* e *Bryocamptus (Arcticocamptus) cuspidatus*). Nella stazione di Dimaro non erano presenti stigobi e, dato insolito, gli stigosseni erano rappresentati in maggioranza da larve molto giovani di tricoteri Limnephilidae, senza

guscio, e fortemente parassitati da nematodi. Gli stigosseni erano comunque più abbondanti nelle stazioni sul Noce, soggette a hydropeaking (valle Cogolo-Pont, Dimaro), sottolineando l'uso dell'iporreico come rifugio per la fauna bentonica.

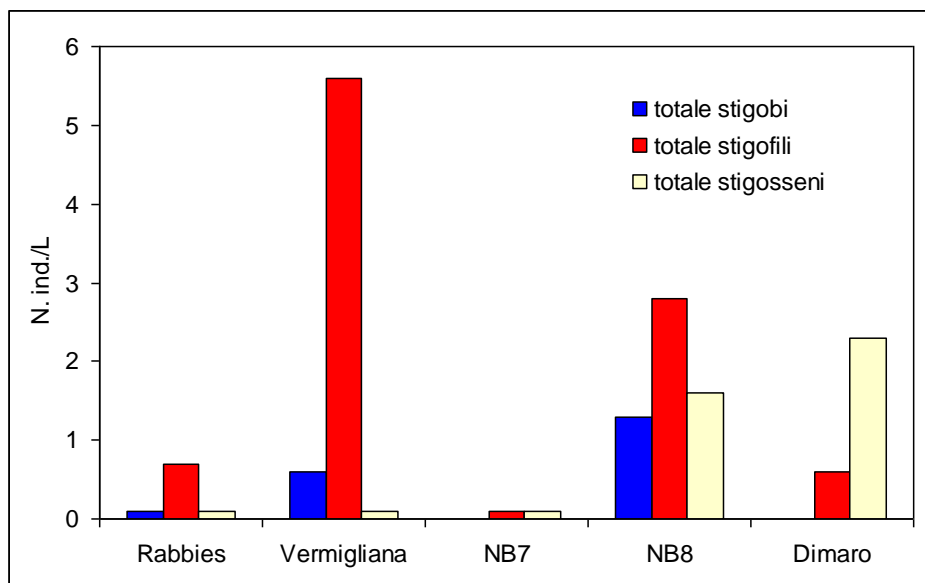


Figura 4-34 Iporreico Noce, campionamenti giugno 2013

### Avifauna

I dati di presenza e distribuzione delle specie sono stati forniti dal MUSE Sezione Zoologia dei Vertebrati e relativi alla loro banca dati, e integrati con dati disponibili online. Per il Noce in Val di Sole, sono stati estratti i dati relativi a tutti i comuni che insistono sull'asta principale, e sugli affluenti Vermigliana e Rabbies. Su un totale di 68 specie, 5 sono tipiche di ambienti acquatici: alzavola, cormorano, piro piro piccolo, mestolone, merlo acquaiolo. Altre specie frequentano i boschi delle zone riparie sia per alimentazione, sia per nidificare allocco gheppio, poiana, sparviere, stiacchino, torcicollo, lucherino, rondine, averla piccola, ballerina gialla e bianca, codiroso, martin pescatore, scricciolo, airone grigio, cincia bigia, cinciarella, cincia dal ciuffo, picchio cenerino, picchio muratore, picchio nero, picchio verde, upupa. La segnalazione lungo il corso del fiume di presenza dell'aquila reale si deve riferire ad avvistamenti di individui che però nidificano in alta quota. Molte di queste specie sono presenti nel SIC Ontaneta di Croviana (Tabella 4-6) che rappresenta quindi una zona di pregio per l'avifauna.

<b>Nome comune</b>	<b>Nome scientifico</b>	<b>Ordine</b>	<b>Familia</b>
Poiana	<i>Buteo buteo</i>	Falconiformes	Accipitridae
Aquila reale *	<i>Aquila chrysaetos</i>	Falconiformes	Accipitridae
Gheppio	<i>Falco tinnunculus</i>	Falconiformes	Falconidae
Merlo acquaiolo	<i>Cinclus cinclus</i>	Passeriformes	Cinclidae
Ballerina gialla	<i>Motacilla cinerea</i>	Passeriformes	Motacillidae
Ballerina bianca	<i>Motacilla alba</i>	Passeriformes	Motacillidae
Scricciolo	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Passeriformes	Troglodytidae
Lucherino	<i>Carduelis spinus</i>	Passeriformes	Fringillidae
Rondine	<i>Hirundo rustica</i>	Passeriformes	Hirundinidae
Averla piccola*	<i>Lanius collurio</i>	Passeriformes	Laniidae
Cinciarella	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Passeriformes	Paridae
Cincia dal ciuffo	<i>Lophophanes cristatus</i>	Passeriformes	Paridae
Martin pescatore*	<i>Alcedo atthis</i>	Coraciformes	Alcedinidae
Piro piro piccolo	<i>Actitis hypoleucos</i>	Charadriiformes	Scolopacidae
Airone grigio	<i>Ardea cinerea</i>	Pelicaniformes	Ardeidae
Cormorano	<i>Phalacrocorax carbo</i>	Pelecaniformes	Phalacrocoracidae
Picchio rosso maggiore	<i>Dendrocopos major</i>	Piciformes	Picidae
Picchio verde	<i>Picus viridis</i>	Piciformes	Picidae

Tabella 4-6 Lista dell'avifauna presente nell'area protetta Ontaneta di Croviana (SIC) da: Banca dati MUSE Sezione Zoologia dei Vertebrati; Paolo Pedrini, com. pers.; Natura 2000 dati (<http://www.areeprotette.provincia.tn.it/natura2000/siti/dati/IT3120117.pdf>)

### 4.2.3 Qualità chimico fisica

I valori di LIM sono stati calcolati a partire dai dati fisico-chimici e microbiologici forniti dall'APPA. La Tabella 4-7 riporta sinteticamente i valori medi annuali per le stazioni sull'asta del Noce e sugli affluenti principali, dal 1999 al 2010. la qualità è sempre abbastanza elevata, con valori decisamente buoni per i tratti privi di impatto antropico (affluenti principali), e un peggioramento in corrispondenza o a valle dei principali centri abitati.

	Noce, Pellizzano	Noce, Valle Del Monte	Rabbies, Malè	Vermigliana, Ossana	Noce, Cavizzana	Noce, Valle Del Monte	Noce Bianco, Cusiano	Rabbies, Rabbi	Meledrio
1999	1	2	2	2					
2000	2	2	2	2	2	1	1	1	1
2001	2	1	2	2	2				
2002	1	1	2	2	2	1	1	1	1
2003	1	2	2	2	2				
2004	2	2	2	2	2	1	1	1	1
2005	2	2	2	2	2				
2006	2	2	2	2	2	1	1	1	1
2007	2	2	2	2	2				
2008	2		2	2	2	1	2	1	1
2009	1		2	2	2				
2010	2		2	2	2	1	1	1	1

Tabella 4-7 Valori LIM annuali (dati APPA)

L'analisi dei singoli parametri fisico-chimici e microbiologici componenti l'indice permette di identificare alcune criticità.

Il BOD<sub>5</sub> misura la quantità di O<sub>2</sub> utilizzata in 5 giorni dai microorganismi aerobi per decomporre (ossidare) le sostanze organiche presenti in un litro d'acqua o di soluzione acquosa, il COD misura invece la quantità di ossigeno necessaria per la completa ossidazione per via chimica dei composti organici ed inorganici presenti un litro d'acqua o di soluzione acquosa, e rappresentano quindi i metodi utilizzati per stimare con misura indiretta il contenuto di materia organica ossidabile rispettivamente per via biologica (biodegradabili) o chimica. Un fiume incontaminato ha solitamente valori di BOD<sub>5</sub> minori di 1 mg/l. Un fiume moderatamente inquinato ha valori di BOD<sub>5</sub> fra i 2 e gli 8 mg/l. Nel calcolo del LIM, valori di BOD<sub>5</sub> ≤ 2,5 mg O<sub>2</sub>/l attribuiscono un valore di classe 1, valori superiori e ≤ 4 la classe 2, mentre per il COD i valori che determinano le stesse classi sono rispettivamente 5 e 10 mg O<sub>2</sub>/l.

La quantità di ossigeno disciolto nelle acque (espresso come % di saturazione di ossigeno) dipende dalla temperatura, dalla concentrazione salina dell'acqua e dalla pressione atmosferica, ed è uno degli indici più significativi della purezza di un corso d'acqua. Valori di saturazione di O<sub>2</sub> inferiori al 75 % sono indizio di inquinamento, nel calcolo del LIM i limiti delle classi sono > 90%, 80%, 70%, 50% e ≤ 50%.

Dalla valutazione comparata di questi tre parametri (Figura 4-35), si osservano valori di qualità più bassa, dovuta a una più elevata quantità di materia organica, a valle di Pejo, dove però la qualità migliora a partire dal 2003, e a Cavizzana, dove la qualità non migliora dal 2003 al 2010. La presenza di basse concentrazioni di materia organica ma un contenuto in ossigeno disciolto non sempre elevato caratterizzano gli affluenti a monte degli impatti antropici.

Per quel che riguarda i principali nutrienti, azoto e fosforo, va ricordato che l'azoto ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ), che deriva dalla degradazione di composti organici azotati, è assorbito dal fitobenthos, e le sue fonti principali sono rappresentate da scarichi fognari, allevamenti zootecnici e reflui delle industrie alimentari e chimiche. In corsi d'acqua ben ossigenati l'azoto ammoniacale risulta assente o presente in tracce poiché si ossida velocemente e si trasforma in azoto nitrico. L'azoto nitrico ( $\text{NO}_3^-$ ) rileva la concentrazione di nitrati nelle acque che, come gli ioni ammonio, sono assorbiti dal fitobenthos; anche la presenza di nitrati nelle acque è dovuta agli scarichi urbani, agli allevamenti zootecnici, alle acque provenienti dal dilavamento dei terreni trattati con fertilizzanti ed agli scarichi industriali. Il fosforo totale ( $\text{P}_{\text{tot}}$ ) misura la concentrazione di fosforo nelle acque e l'origine è soprattutto lo scarico di reflui aziendali da zootecnia. A titolo indicativo, un corso d'acqua di classe 1 o 2 presenta una concentrazione di ioni ammonio inferiore a 0,1 mg N/L, di nitrati non superiori 1,5 mg N/L, e di fosforo non superiore a 0,15 mg P/L.

Si osserva come la concentrazione in ammonio è diminuita dal 1999 al 2010 in tutte le stazioni tranne a Cavizzana, mentre i nitrati tendono a aumentare a Pellizzano, Malè, Ossana e Cavizzana. Anche la concentrazione di P è diminuita con il tempo, i valori più elevati permangono a Cavizzana.

Infine, la concentrazione del batterio *Escherichia coli* che fornisce una stima dell'inquinamento di origine fecale del corso d'acqua, e la cui concentrazione nelle acque superficiali è in relazione al quantitativo di scarichi fognari riversati e alla capacità autodepurativa del corpo idrico. Un corpo idrico di classe 1 o 2 non deve contenere più di 1000 UFC/100 ml. Dal 2007 in poi i valori registrati sono stati sempre al di sotto di questa soglia, negli anni precedenti le situazioni più critiche erano presenti a Ossana.

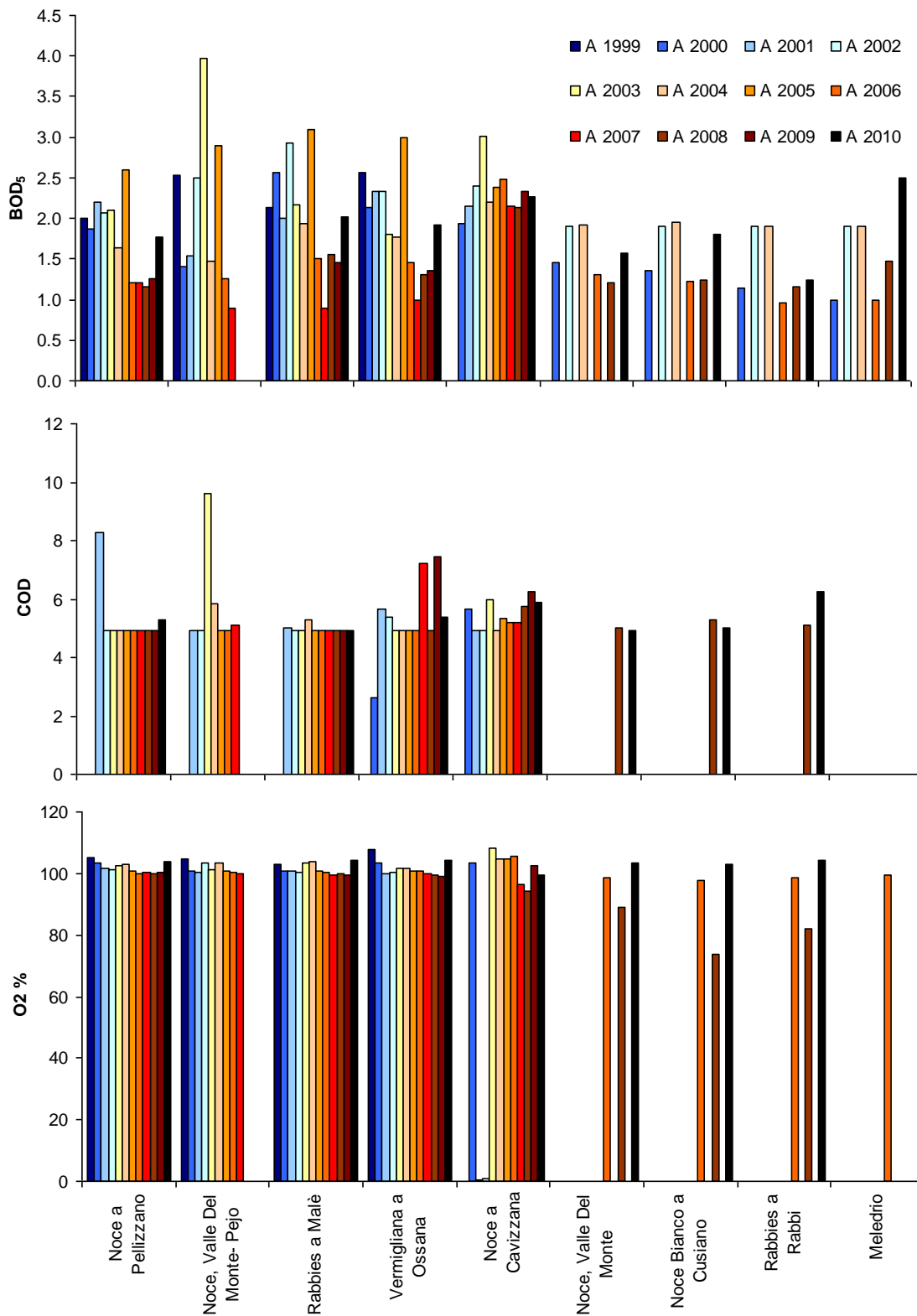


Figura 4-35 Valori medi annuali dei macrodescrittori usati per il calcolo del LIM (dati APPA)

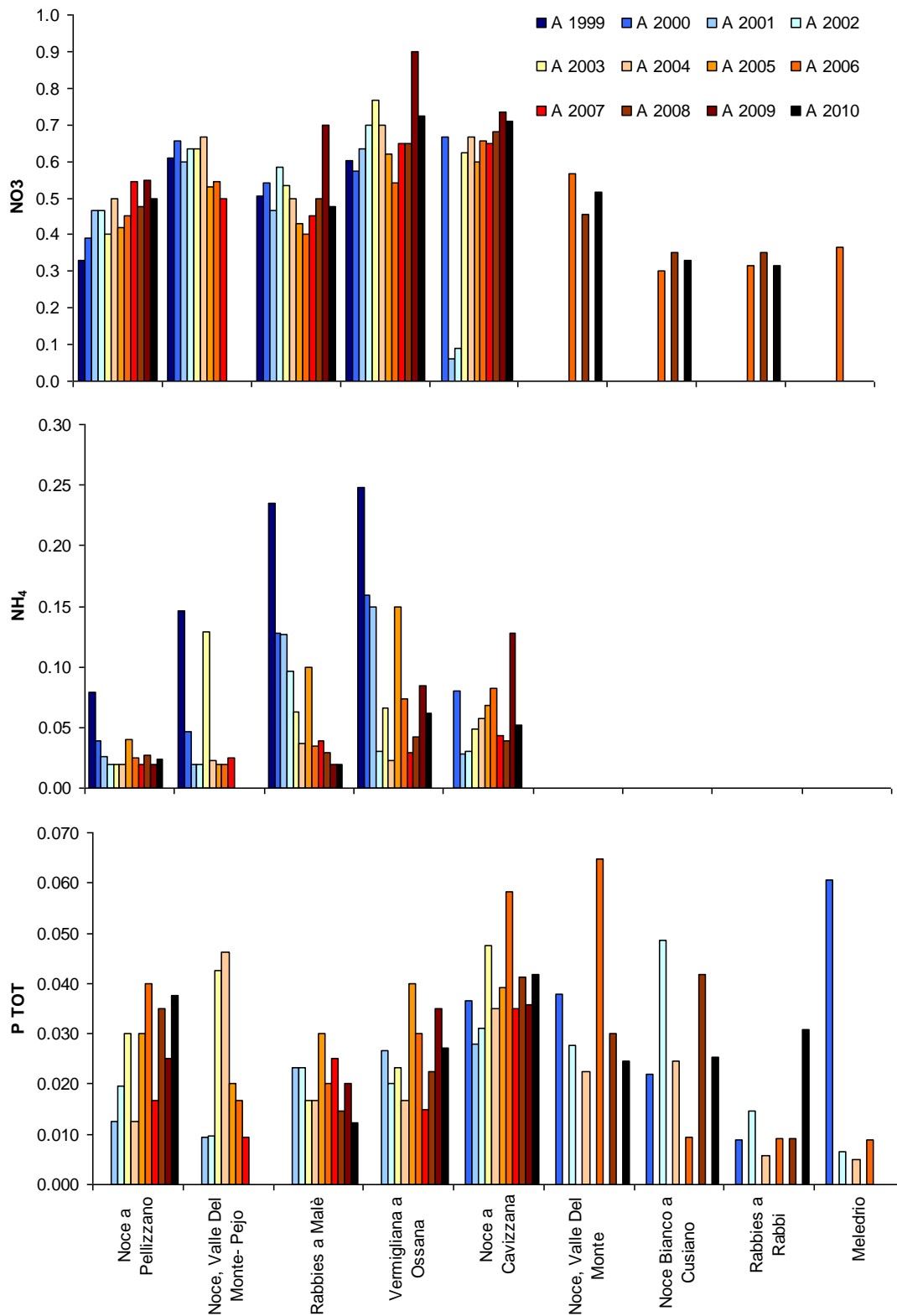


Figura 4-36 Valori medi annuali dei macrodescrittori usati per il calcolo del LIM (dati APPA)



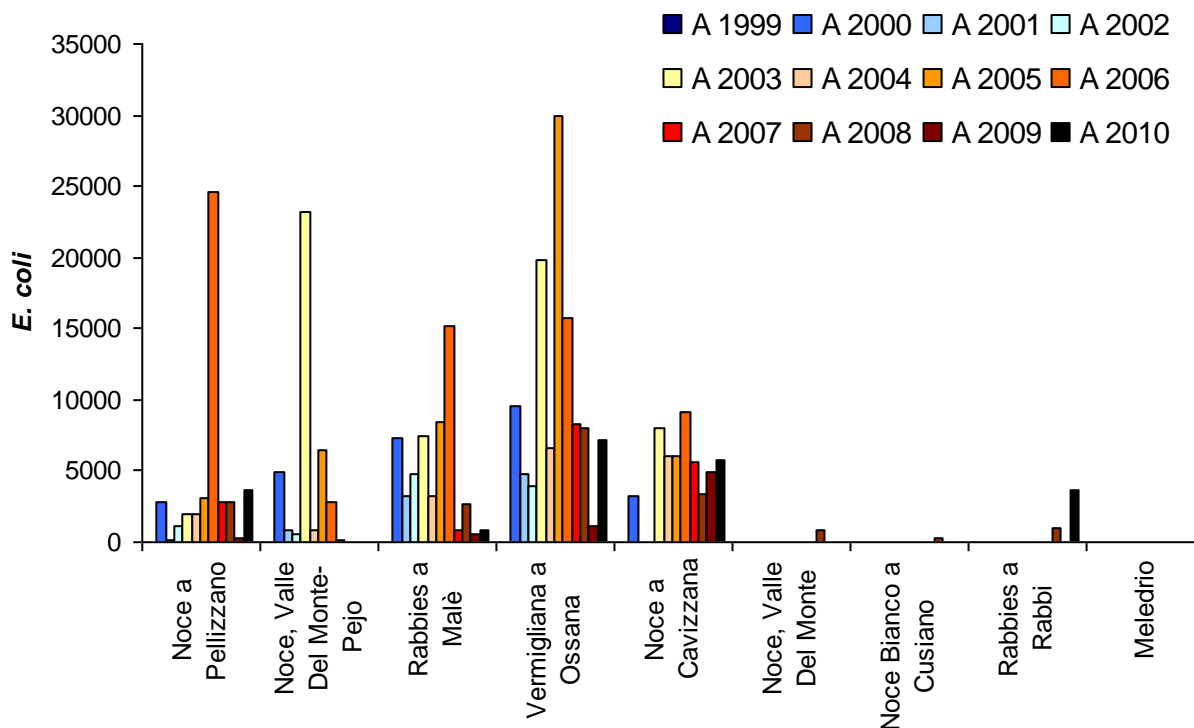


Figura 4-37 Valori medi annuali dei macrodescrittori usati per il calcolo del LIM (dati APPA)

#### 4.2.4 Qualità idromorfologica

La valutazione della qualità morfologica del fiume Noce (asta principale) è stata effettuata nel 2012 utilizzando il metodo IDRAIM

Il tratto del fiume Noce in Val di Sole appartiene all'ambito fisiografico collinare - montuoso del bacino. Il tratto è stato suddiviso in 12 segmenti. Secondo il metodo utilizzato, il corso d'acqua viene diviso in segmenti tenendo in considerazione diversi fattori: discontinuità idrologiche (affluenti), dimensioni della pianura, larghezza dell'alveo, artificializzazione, morfologia dell'alveo, cambiamenti significativi nel profilo longitudinale (pendenza). Per definire questi parametri sono state usate foto aeree, carte topografiche e geologiche analizzate mediante GIS. Il primo parametro misurato per una suddivisione preliminare del tratto è il grado di confinamento, cioè la percentuale di tratto a contatto con versanti.

Nel caso del Noce, tipico corso d'acqua alpino che presenta ai lati pianure alluvionali di larghezza limitata, il grado di confinamento non è sufficiente per descrivere il confinamento. Perciò è stato utilizzato anche l'Indice di Confinamento, che è il rapporto tra la larghezza della pianura alluvionale e la larghezza dell'alveo ed esprime quanto un alveo è confinato in sezione trasversale rispetto alla piana. In base ai valori dell'indice di confinamento, il Noce è un fiume confinato naturalmente dai versanti in buona parte del suo corso. I tratti dove la pianura alluvionale risulta essere abbastanza ampia e il fiume può essere considerato semi-confinato sono: tra Cusiano e a valle dell'abitato di Pellizzano, tra Piano e a monte dell'abitato di Dimaro, tra la confluenza con il torrente Meledrio e il paese di Malè. Questo parametro permette di dividere il tratto considerato in 6 segmenti. Un'ulteriore suddivisione di questi segmenti è data dalla

confluenza con gli affluenti principali: torrente Foce a Pellizzano, torrente Meledrio e torrente Rabbies, portando così i segmenti a 9.

Un secondo parametro calcolato è la classificazione morfologica dell'alveo. Per i segmenti confinati, si distingue tra canale singolo e canale multiplo. Il Noce è attualmente un corso d'acqua a canale singolo per la maggior parte del suo percorso, fatta eccezione per alcuni brevi tratti dove si assiste anche alla formazione di barre centrali. Per i tratti semiconfinati viene calcolato un indice di Sinuosità, definito come il rapporto tra la lunghezza del corso d'acqua e la lunghezza della valle. Solo in un caso questo indice risulta abbastanza elevato per considerare il corso d'acqua sinuoso (tratto di Dimaro-Deggiano). Nei tratti a canale singolo la suddivisione dei tratti il metodo prevede il riconoscimento delle forme di fondo, che nel caso di un fiume a fondo mobile si dividono in a gradinata, riffle-pool e letto piano. I tratti a riffle-pool sono caratterizzati da sequenze di unità a pendenza maggiore e tiranti ridotti (riffle, raschi) e unità con profondità maggiore e pendenze più basse (pool, pozze). In generale pozze e raschi sono intervallati da tratti di passaggio detti run a pendenza media e flusso quasi parallelo al fondo. Una seconda forma di fondo rilevabile sul fiume Noce è quella a letto piano, che si instaura in condizioni di pendenze inferiori rispetto alla sequenza riffle-pool. Un tratto viene suddiviso inoltre anche in presenza di strutture artificiali di rilievo, come ad esempio briglie o traverse che intercettano la maggior parte del trasporto solido al fondo.

Utilizzando questi parametri, il fiume Noce è stato così suddiviso in 12 segmenti, che vengono indicati nel seguito in riferimento alla suddivisione principale in quattro tratti riportata al capitolo 1.4 e qui richiamata:

1. Tra la confluenza con la Vermigliana e il paese di Mezzana;
2. tra l'abitato di Mezzana e la confluenza con il torrente Meledrio;
3. tra la confluenza con il torrente Meledrio e la confluenza con il rio Rabbies;
4. a valle della confluenza con rio Rabbies.

I segmenti utilizzati per l'analisi della qualità idromorfologica sono:

tratto 1 suddiviso in:

- 1a) dalla confluenza con la Vermigliana alla confluenza con il torrente Foce di Fazzon;;
- 1b) dal torrente Foce fino alla piscicoltura;
- 1c) dalla piscicoltura al ponte pedonale di Marilleva;

tratto 2 suddiviso in:

- 2a) dal ponte pedonale di Marilleva 900 fino a monte di Piano
- 2b) da Piano al ponte di Daolasa;
- 2c) dal ponte di Daolasa fino alla briglia di Dimaro;
- 2d) dalla briglia fino al ponte sulla statale SS42;
- 2e) dal ponte sulla statale fino al ponte di ferro a Dimaro;

2f) dal ponte di ferro fino alla confluenza con il Meledrio;

tratto 3 suddiviso in:

3a) dalla confluenza con il Meledrio alla zona artigianale di Malè;

3b) dalla zona artigianale di Malè alla confluenza con il Rabbies;

il tratto 4 è considerato un tratto omogeneo, ma è stato suddiviso in 3 segmenti, al solo fine di facilitare la rappresentazione grafica:

4a) parte iniziale nei pressi di Terzolas-Caldes;

4b) parte centrale nei pressi di Caldes Cavizzana;

4c) parte finale nei pressi di Bozzana.

Per ognuno di questi 12 segmenti, il metodo IQM prevede la compilazione di un questionario che mira a verificare lo stato idromorfologico attuale del corso d'acqua. Il questionario si divide in tre diversi gruppi di domande che valutano la funzionalità geomorfologica, l'artificialità e le variazioni morfologiche del tratto analizzato. In questo caso le variazioni morfologiche non sono state prese in considerazione in quanto si valutano solamente per alvei di larghezza superiore ai 30 m. Dalla somma dei punteggi di tutte le domande si ricava l'indice di Qualità Morfologica (IQM), suddiviso in 5 classi che vanno da pessimo a elevato.

Risultati generali. L'indice di qualità medio di tutto il segmento è in classe Moderato (0,54), con le classi dei diversi tratti che variano da Scadente a Buono. In generale, l'alto corso del Noce risulta confinato in modo naturale dai versanti della valle e solo in alcuni tratti il corso d'acqua ha possibilità di muoversi lateralmente e cambiare il suo corso. Alcune considerazioni sono valide per tutto il corso d'acqua.

La funzionalità geomorfologica del fiume è alterata dall'insieme degli interventi antropici effettuati negli anni. Dal questionario infatti, i valori più alti (che corrispondono ad un indice di qualità più basso) risultano per le domande relative alle opere di alterazione del trasporto di sedimento e materiale legnoso (F1), alle alterazioni antropiche delle sezioni (F9) e alle alterazioni della presenza di materiale legnoso in alveo e della fascia perifluviale (F11,F12,F13). L'alterazione della continuità nel trasporto di sedimento e materiale legnoso è dovuta principalmente alla presenza in alveo di opere antropiche quali pile di ponte, soglie, briglie e traverse che sono presenti in quasi tutto il corso del fiume. Inoltre l'alveo è stato artificialmente risagomato in alcuni tratti. La gestione antropica delle fasce perifluviali e del materiale in alveo, lo sfalcio e il taglio di alberi per attività umane quali agricoltura, pesca, diminuzione del rischio idraulico, sono in alcuni casi necessari ma diminuiscono la naturalità del fiume e impediscono lo sviluppo della naturale fascia riparia, abbassando l'indice di qualità (Figura 4-38). Un discorso a parte merita la domanda F2, relativa alla larghezza della piana inondabile che in un corso d'acqua vallivo non può naturalmente raggiungere una grande ampiezza. La presenza di difese di sponda e argini inoltre impedisce in molti tratti processi naturali quali l'erosione e l'arretramento delle sponde (domande F4 e F5). In questa sezione, intervenire su molti dei fattori che abbassano la qualità morfologica è molto difficile perché si tratta di opere di protezione dal rischio e di difesa dalle inondazioni. Un miglioramento della funzionalità del corso d'acqua potrebbe venire da una diversa gestione delle fasce perifluviali, lasciate sviluppare in modo naturale almeno nei tratti non interessati da attività umane.

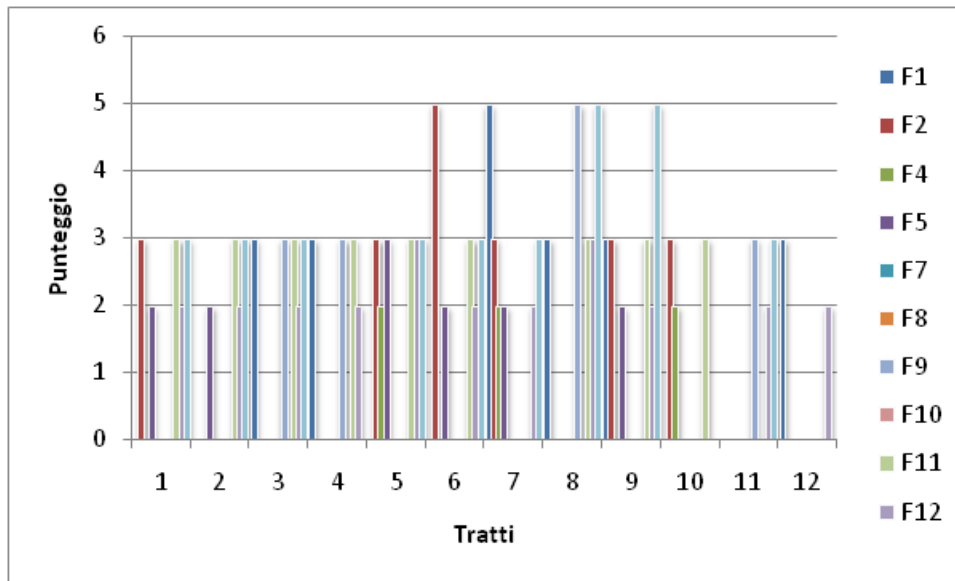


Figura 4-38 Funzionalità geomorfologica divisa per tratto. A punteggio maggiore corrispondono valori di qualità minori

Il fiume Noce presenta numerosi interventi antropici lungo tutto il suo corso. Le strutture che più influenzano la qualità morfologica del corso d'acqua sono le dighe poste a monte del segmento analizzato, ma che ne condizionano pesantemente le portate liquide e solide. Infatti alle domande che considerano le alterazioni delle portate solide e liquide viene assegnato il punteggio peggiore per l'intero bacino ad eccezione del tratto a valle del torrente Rabbies (A1 e A2). Le difese spondali e le arginature, necessarie per la prevenzione del rischio idraulico, sono un altro fattore che influenza il giudizio di qualità e, nei tratti in cui sono presenti in modo diffuso, sono il fattore più limitante (A6 e A7). La gestione antropica dei sedimenti e del materiale legnoso costituisce un fattore di minore importanza ma con un certo impatto sulla qualità (A10,A11,A12).

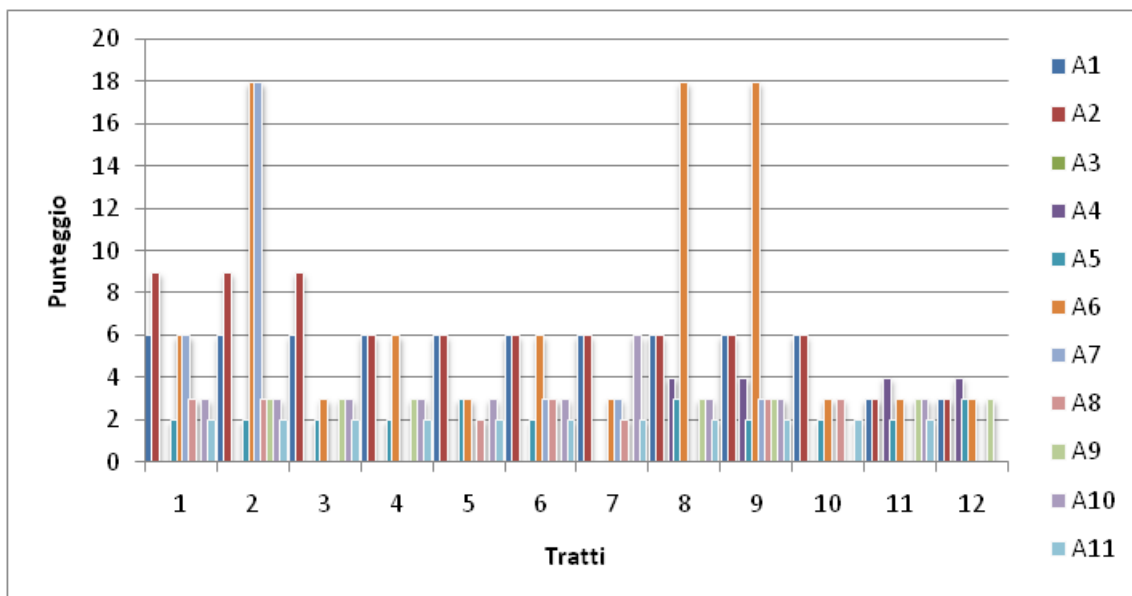


Figura 4-39 Artificialità divisa per tratto. A punteggio maggiore corrispondono valori di qualità minori

## Risultati dell'Indice IQM divisi per tratto

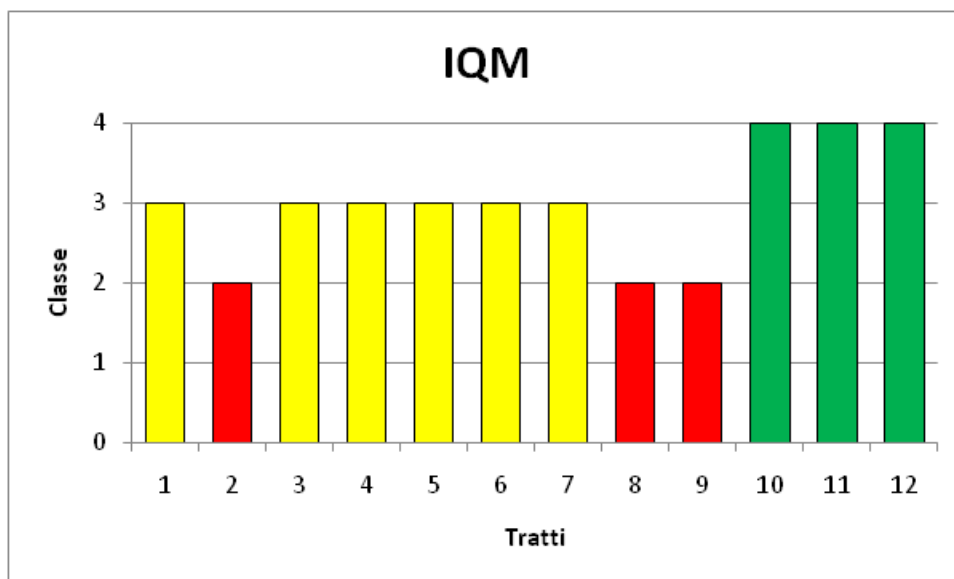


Figura 4-40 Distribuzione dell'indice IQM per ogni tratto analizzato (monte-valle). Classe 1: Pessimo, 2:Scadente, 3: Moderato, 4:Buono,5:Elevato

Di seguito viene riportata una sintetica descrizione dei tratti analizzati.

Tratto 1a. Questo tratto è lungo 1095 metri ed è da considerarsi semiconfinato, perché le sponde sono a contatto con i versanti per meno del 90 % della sua lunghezza. Il tratto è in classe di qualità Moderato soprattutto a causa dell'artificializzazione dell'alveo legata nel caso specifico alla prevenzione del rischio idraulico. Infatti le domande che assegnano il punteggio peggiore sono quelle relative all'alterazione della continuità laterale (A6 e A7), con presenza di arginature e difese di sponda in buona parte del tratto. Inoltre la presenza delle dighe di Pian Palù e Malga Mare e della Centrale di Pont causa l'alterazione delle portate solide provenienti da monte. Altri fattori che peggiorano la qualità del tratto sono quelli legati alla fascia perifluviale che risulta essere poco sviluppata o assente, anche per la presenza delle opere di difesa.

Tratto 1b. Il tratto è lungo 1326 metri e anche in questo caso è considerato semi-confinato perché i versanti non sono a diretto contatto con l'alveo per gran parte della lunghezza. La qualità del tratto risulta Scadente, anche in questo caso a causa di opere di difesa spondale e arginature, che però risultano essere più diffuse in questo tratto rispetto al precedente e giustificano la perdita di una classe di qualità. Altri fattori sono la presenza di alcune soglie o rampe che alterano la morfologia dell'alveo e l'assenza di una fascia perifluviale ben sviluppata.

Tratto 1c. Il tratto è lungo 2722 metri ed è da considerarsi naturalmente confinato dai versanti della valle. Le condizioni del tratto sono semi-naturali, ma il mancato sviluppo di una fascia perifluviale completa e la gestione della vegetazione peggiorano lievemente la qualità del tratto. Nella parte finale del tratto sono inoltre presenti opere antropiche. Il fattore limitante principale, che contribuisce per la maggior parte a dare una classe di qualità Moderato del tratto, è però l'alterazione delle portate liquide e solide dovuta alla presenza delle dighe a monte.

Tratto 2a. Questo tratto è lungo 2120 metri ed è confinato dai versanti. Si distingue dal tratto precedente per la maggiore pendenza dell'alveo, ma risulta essere un tratto in condizioni semi-naturali. Anche in

questo caso la presenza del complesso idroelettrico di monte risulta essere il fattore limitante e il risultato dell'indice IQM è Moderato.

Tratto 2b. Questo tratto è lungo 1117 metri ed è semiconfinato, in quanto i versanti sono a contatto con le sponde solo per un breve tratto. Il tratto presenta localizzate difese spondali, soprattutto in prossimità degli abitati, ponti e altre strutture antropiche che ne compromettono in parte la naturalità. Sono quasi totalmente assenti fenomeni naturali quali processi di arretramento delle sponde e inoltre la fascia perifluviale risulta poco sviluppata. Questi fattori, in aggiunta, all'alterazione delle portate solide e liquide, fanno sì che anche per questo tratto la qualità morfologica sia di classe Moderato.

Tratto 2c. Questo tratto è lungo 1386 metri ed è semiconfinato. Soltanto una delle due sponde infatti è a contatto con il versante (sponda destra), mentre lungo la sponda sinistra è presente una potenziale piana alluvionale. Il giudizio di qualità è influenzato da opere di difesa spondale, soprattutto in prossimità degli abitati, ponti e dalla presenza di arginature per una porzione del tratto. Ancora una volta, la presenza delle dighe influenza le portate solide e liquide incidendo sulla classe di IQM che risulta Moderato. La fascia perifluviale risulta più sviluppata che in altri tratti ma non sufficiente a migliorare la qualità. Sono presenti alcune barre laterali e centrali.

Tratto 2d. Questo tratto è lungo 821 metri e si divide dal tratto precedente per la presenza della briglia di ritenzione dei sedimenti. La lunghezza dell'alveo è molto superiore a quella dell'asse della valle, per cui questo breve tratto risulta essere l'unico sinuoso di tutto l'alto Noce e vi si trovano isole vegetate e barre. Sulla qualità incidono la presenza di arginature, soprattutto in sponda destra, e difese spondali. Inoltre le portate solide sono alterate dalla presenza della briglia utilizzata negli anni passati per la rimozione di sedimenti. La fascia perifluviale, gestita regolarmente, non si sviluppa in modo naturale.

Tratto 2e. La variazione di pendenza del fondo divide questo tratto dal precedente. Il tratto è lungo 1024 metri ed è confinato dai versanti della valle. Il tratto rientra nella classe di qualità Scadente per la presenza diffusa di difese spondali, specialmente nella parte terminale nei pressi dell'abitato. Anche qui la presenza delle dighe e l'assenza di fascia perifluviale per porzioni rilevanti del tratto ne abbassano la qualità.

Tratto 2f. Il tratto è lungo 986 metri, semiconfinato e presenta una qualità idromorfologica scadente, soprattutto per la presenza di difese spondali e opere in alveo e di attraversamento. Su questo tratto incidono ancora in modo rilevante le alterazioni delle portate solide e liquide.

Tratto 3°. Questo tratto è quello che presenta la migliore qualità idromorfologica. È lungo 2362 metri ed è semi-confinato, anche se la sponda destra è quasi sempre in contatto con i versanti. La presenza di difese spondali è limitata ad alcuni brevi tratti e la fascia perifluviale è sviluppata, soprattutto in prossimità del sito SIC di Croviana. Rispetto al passato, il percorso è stato modificato e la piana alluvionale ristretta. La presenza delle dighe a monte non impedisce il raggiungimento di una classe di qualità Buona.

Tratto 3b. Il tratto è lungo 2222 metri ed è naturalmente confinato dai terrazzamenti della valle, con poca possibilità di muoversi lateralmente anche in condizioni naturali. La classe di qualità del tratto è Buono anche se sono presenti difese spondali e opere di alterazione delle portate solide (briglie, e soglie, anche se poco diffuse). Va sottolineato però come l'indice di qualità di questo tratto sia molto vicino alla classe di qualità Moderata.

Tratto 4. A valle della confluenza con il Rabbies il fiume Noce risulta omogeneo senza grandi variazioni di pendenza e confinato dai versanti. Risulta in classe di qualità Buona per la presenza non diffusa di difese spondali e per l'assenza o la gestione della fascia perfluviale in alcune zone del tratto. La presenza delle dighe e il loro impatto sulle portate solide e liquide è ancora significativa, anche se in misura minore rispetto alla parte alta del bacino.

#### 4.2.5 Sintesi spazialmente distribuita degli indici ecologici e idromorfologici

Presentiamo a seguire una breve sintesi della qualità ambientale ottenuta incrociando i valori degli indici IQM (rilevamenti 2012, nostro gruppo di lavoro), MacrOper (dati 2010 APPA e 2012 del nostro gruppo di lavoro), IBE (dati 2010 APPA), IFF (dati 2010 APPA). I dati sono presentati in modo spazialmente aggregato per i 12 sotto-tratti in cui il corso d'acqua è stato suddiviso.

**Tratti 1a e 1b** (Figura 4-41). I primi due tratti sono caratterizzati da rive artificiali nella maggior parte del percorso e ciò giustifica i bassi valori qualitativi (III –IV Classe) registrati sia applicando l'IQM che l'IFF. In particolare sono penalizzati dalla assenza di continuità laterale tra fiume e territorio circostante che dalla mancanza di una fascia riparia vegetata. L'alveo tuttavia presenta una condizione semi-naturale assicurando una buona varietà di habitat alla fauna bentonica, e quindi i risultati degli indici biologici IBE e MACROPER pongono i due tratti in una condizione sostanzialmente buona, oscillando tra una prima (IBE) e una seconda (MACROPER) classe. Questo apparente contrasto tra gli indici morfologici - funzionali e quelli biologici è giustificato, oltre che dalle buone condizioni dell'alveo, anche dalla buona qualità chimico-fisica dell'acqua.

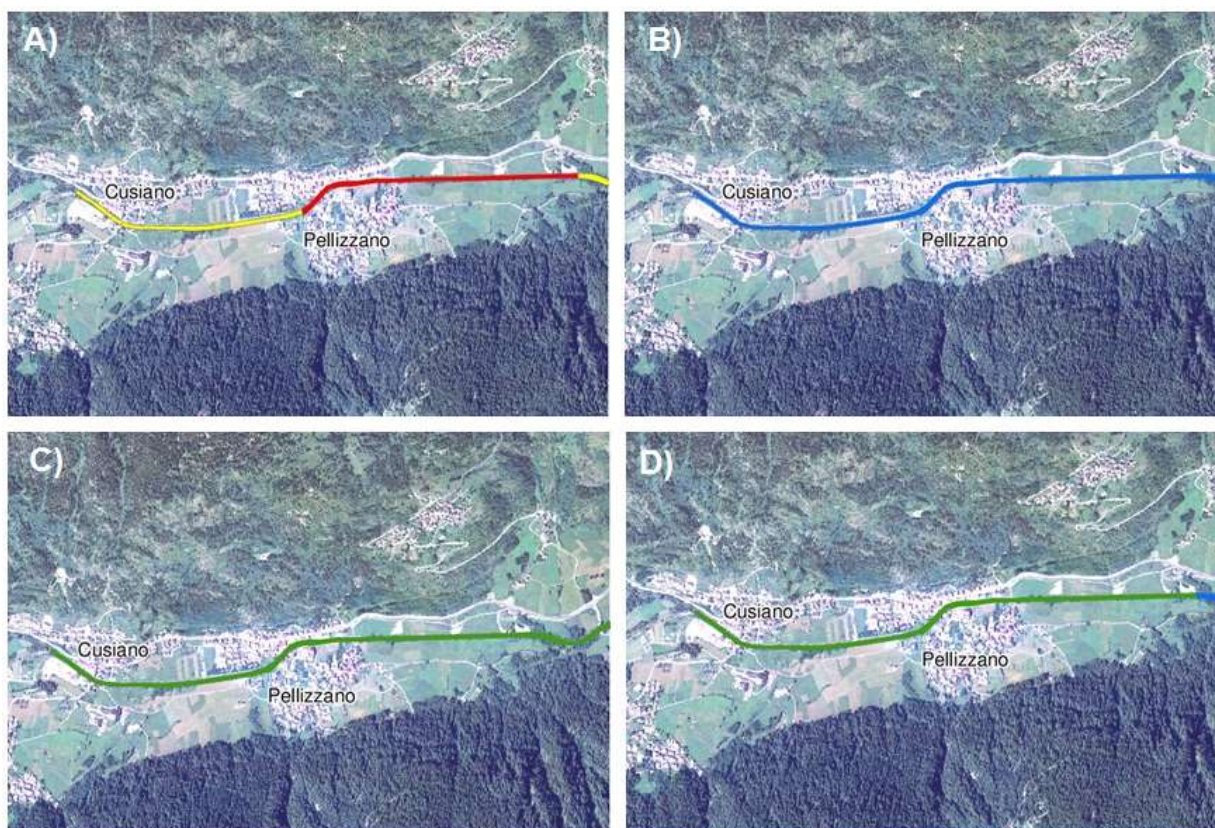


Figura 4-41 Tratti 1a 1b. A) IQM 2012; b) IBE 2010; c) MacrOper 2010; d) MacrOper 2012.

**Tratti 1c) 2a) e 2b)** (Figura 4-42 e Figura 4-43) Questi tratti presentano rive naturali ma la vegetazione riparia è per lo più alterata o del tutto assente. Questo può essere associato sia alla presenza di molti tratti confinati, senza una piana alluvionale naturale, sia a pratiche gestionali di gestione della vegetazione riparia. Questa condizione penalizza i tre tratti per quanto riguarda gli indici morfologico-funzionali. In particolare l'indice IFF, più sensibile a brevi variazioni della qualità ambientale, alterna condizioni tra la seconda e la quarta classe, con differenze tra le rive destra e sinistra. Come nel tratto precedente, anche qui l'alveo presenta caratteri abbastanza naturali e una discreta varietà di habitat che, insieme alla buona qualità chimico-fisica dell'acqua, permettono l'insediamento di comunità di invertebrati bentonici abbastanza diversificate. Questa condizione pone i tratti in una prima classe per l'IBE 2010 e per il MACROPER 2012, mentre risultava di seconda classe secondo lo stesso indice nel 2010.

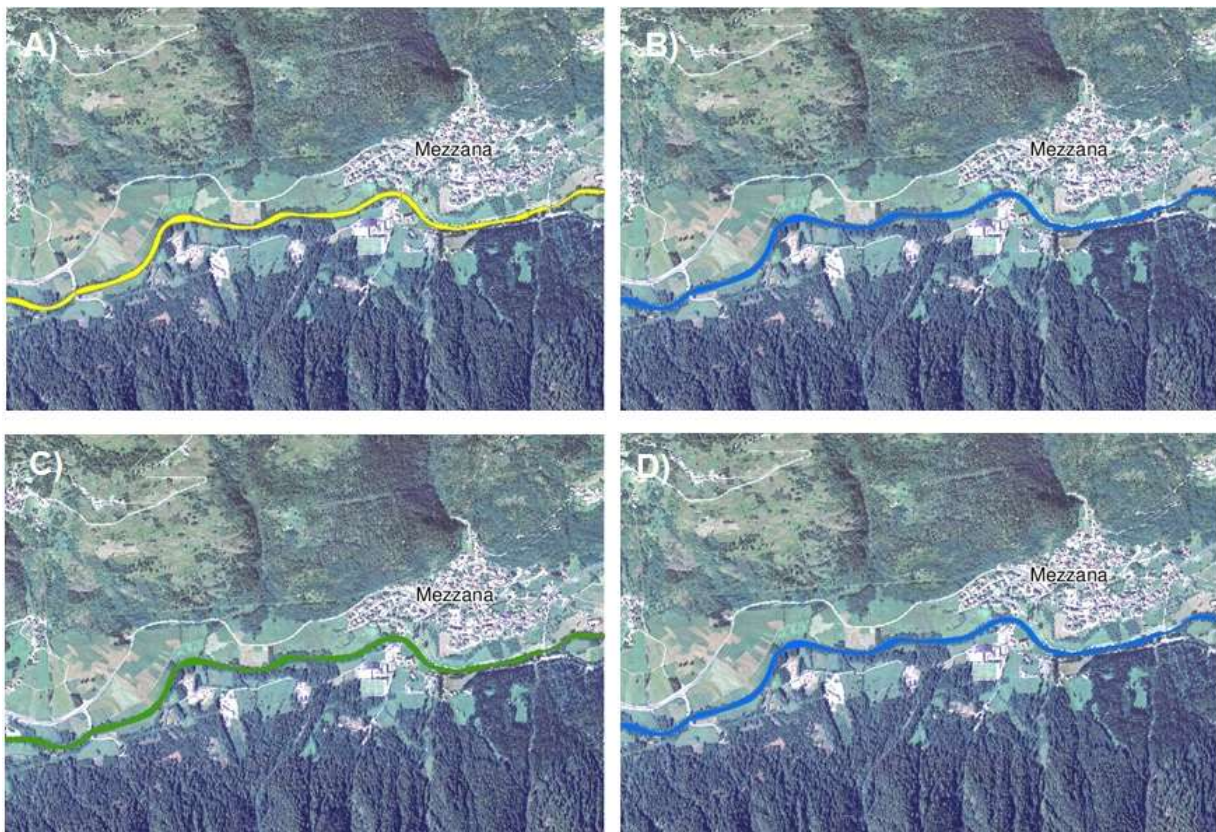


Figura 4-42 Tratto 1cA) IQM 2012; b) IBE 2010; c) MacrOper 2010; d) MacrOper 2012.



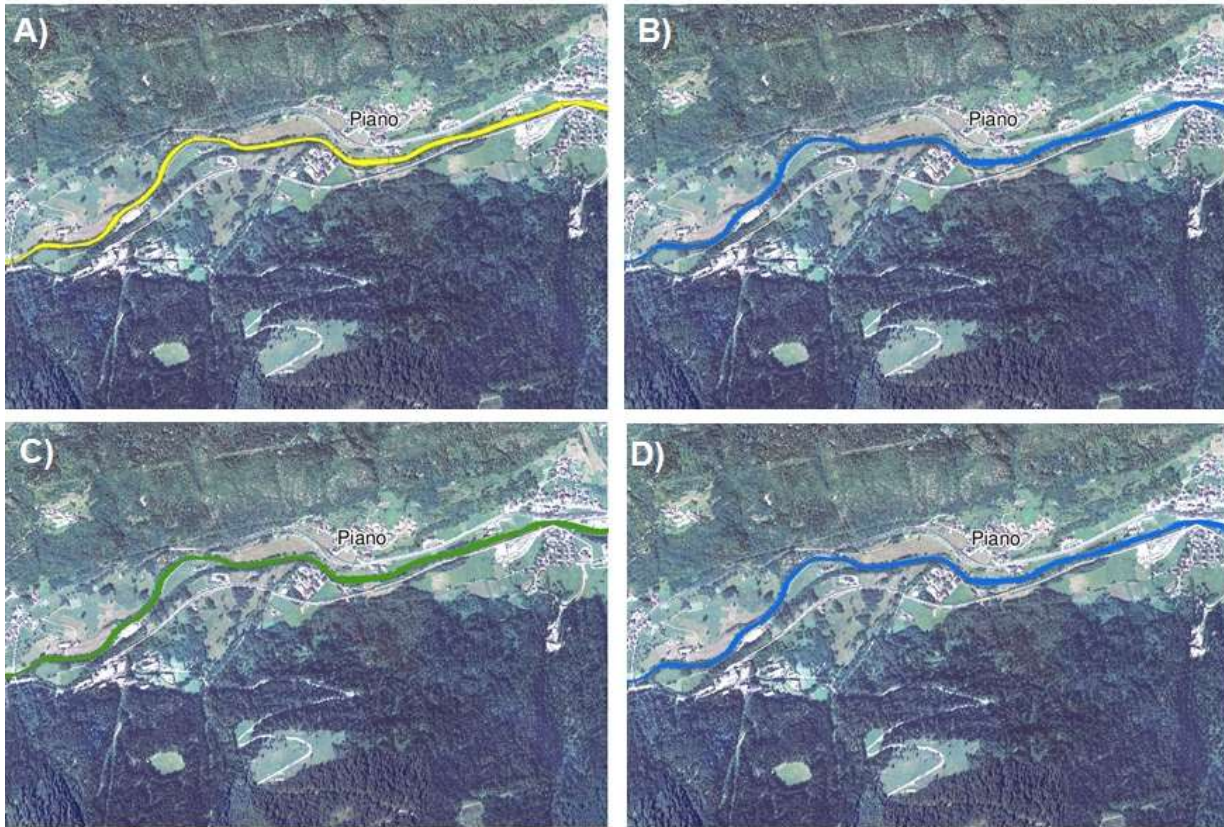


Figura 4-43 Tratti 2a e 2b. A) IQM 20102; b) IBE 2010; c) MacOper 2010; d) MacOper 2012

**Tratti 2c) 2d) e 2e)** (Figura 4-44) La morfologia di questi tratti è fortemente influenzata da diverse opere di difesa che riguardano i centri abitati di Commezzadura e Dimaro e alcuni ponti. In generale quindi la qualità morfologica funzionale è piuttosto bassa, con l'IQM che decreta condizioni di III-IV Classe e l'IFF condizioni variabili tra la II e la IV Classe. Migliore è la condizione dell'alveo, con alcuni tratti allargati e la presenza di barre e piccole isole vegetate. Di nuovo la qualità biologica risulta di I Classe per il MACROPER 2012 e per l'IBE 2010, di II per il MACROPER 2010.

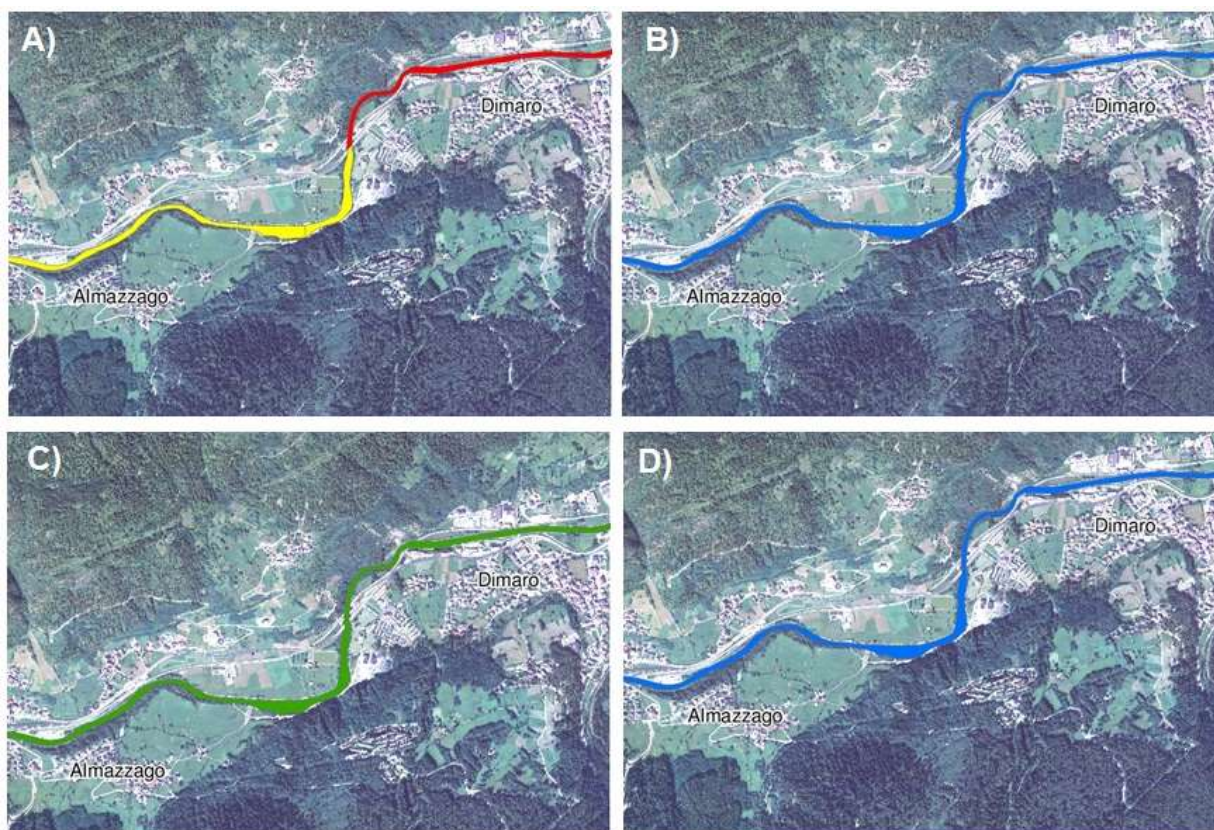


Figura 4-44 Tratti 2c, 2d e 2e. A) IQM 2012; b) IBE 2010; c) MacrOper 2010; d) MacrOper 2012.

**Tratti 2f e 3a)** (Figura 4-45). Dopo un inizio profondamente alterato da arginature e altre opere idrauliche fino alla confluenza con il torrente Meledrio, il corso d'acqua migliora sensibilmente per le caratteristiche morfo-funzionali, passando da una V Classe nel primo tratto ad una II Classe nella parte finale, che comprende il sito SIC di Croviana, ben evidenziato dai risultati dell'IFF (II Classe su entrambe le rive). La qualità biologica si mantiene su buoni livelli, come nei tratti precedenti. Il *SIC Ontaneta di Croviana*, merita particolare attenzione in quanto unica area protetta nel tratto di Noce compreso nell'area prioritaria di studio. Ha un'estensione di 28 ha, è coperto al 60,68% dall'habitat (cfr. dir. 92/43/EEC) "boschi igrofili" (anche se rispetto al tipo "medio" del codice UE si discosta per la composizione a ontano bianco e spesso frassino), al 17,68% da "Acque fluenti con vegetazione riparia erbacea" (anche se la fascia di greto nudo o con vegetazione erbacea è piuttosto ristretta), allo 14,3 % da "acque fluenti con vegetazione riparia a *Salix eleagnos* che, insieme al tipo precedente costituisce una cintura tutto lungo il corso del Noce, tra l'acqua e l'ontaneta (<http://www.areeprotette.provincia.tn.it/>). La valutazione del sito per la conservazione del tipo di habitat naturale in questione è in genere "B": valore buono, tranne che per la vegetazione a megafornie, per la quale il valore è solo significativo. Il Servizio Conservazione della Natura e Valorizzazione Ambientale della Provincia Autonoma di Trento, nella valutazione dei SIC presenti sul territorio, indicava l'importanza del SIC quale fascia quasi completamente boscata allungata intorno al corso d'acqua, caratterizzata dalla tipica seriazione salici (pioppo nero) ontano bianco, specie a "legno duro" (tiglio, frassino ecc.). Inoltre, alla base della pendice in sponda destra una serie di risorgive alimenta con acqua limpida e "tranquilla" un canale che scorre parallelo al torrente, ospitando vegetazione sommersa e originando una interessante sottobosco paludoso.



Figura 4-45 Tratti 2f e 3a. A) IQM 2012; b) IBE 2010; c) MacrOper 2010; d) MacrOper 2012.

**Tratti 4a), 4b) e 4c)** (Figura 4-46, Figura 4-47 e Figura 4-48). Questo ultimo tratto presenta caratteristiche abbastanza uniformi con un alveo generalmente confinato e l'assenza, pressoché generalizzata, di una fascia vegetazionale riparia. La mancanza di questo ecotono che ha grandi potenzialità di filtro per i carichi di azoto dal territorio verso il fiume è particolarmente importante in questo tratto che attraversa una zona agricola, con prevalenza di frutteti. Le opere di contenimento e l'assenza, pressoché generalizzata, di una fascia riparia, penalizzano questi ultimi tratti dal punto di vista morfo-funzionale, con l'indice IQM che indica valori costanti di II Classe e l'IFF che fornisce lo stesso risultato per la maggior parte del tratto, con qualche breve peggioramento verso la IV Classe. Ancora una volta gli indici biologici concordano per indicare una condizione oscillante tra la I e la II Classe.

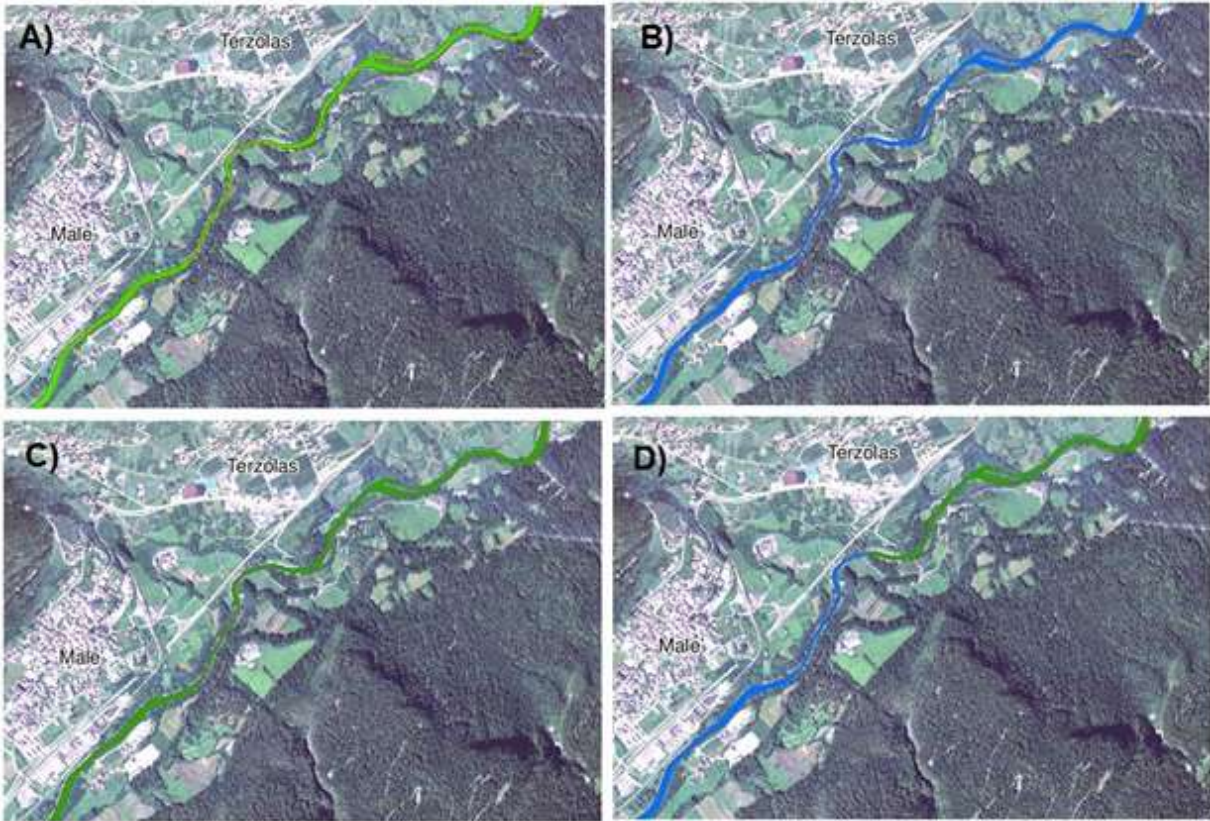


Figura 4-46 Tratti 3b e 4a. A) IQM 2012; b) IBE 2010; c) MacrOper 2010; d) MacrOper 2012

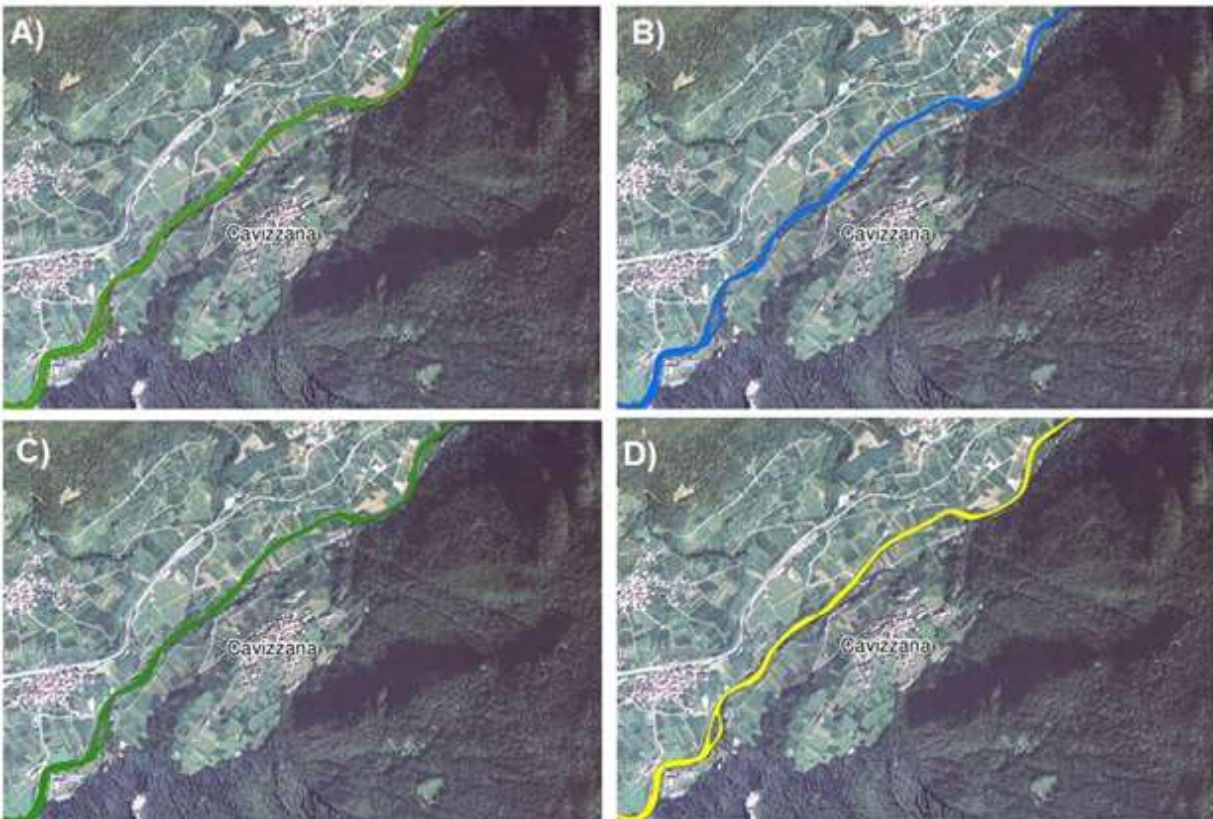


Figura 4-47 Tratto 4b A) IQM 2012; b) IBE 2010; c) MacrOper 2010; d) MacrOper 2012

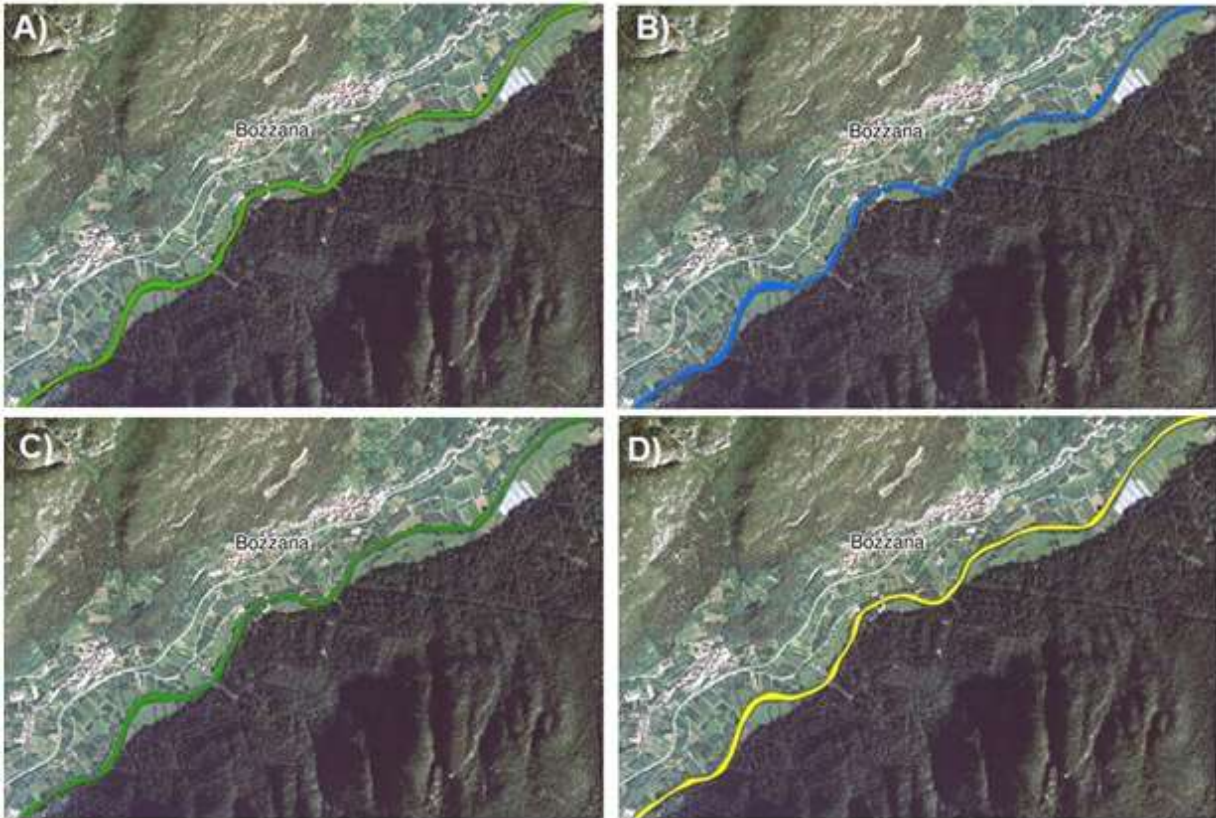


Figura 4-48 Tratto 4c. A) IQM 2012; b) IBE 2010; c) MacrOper 2010; d) MacrOper 2012

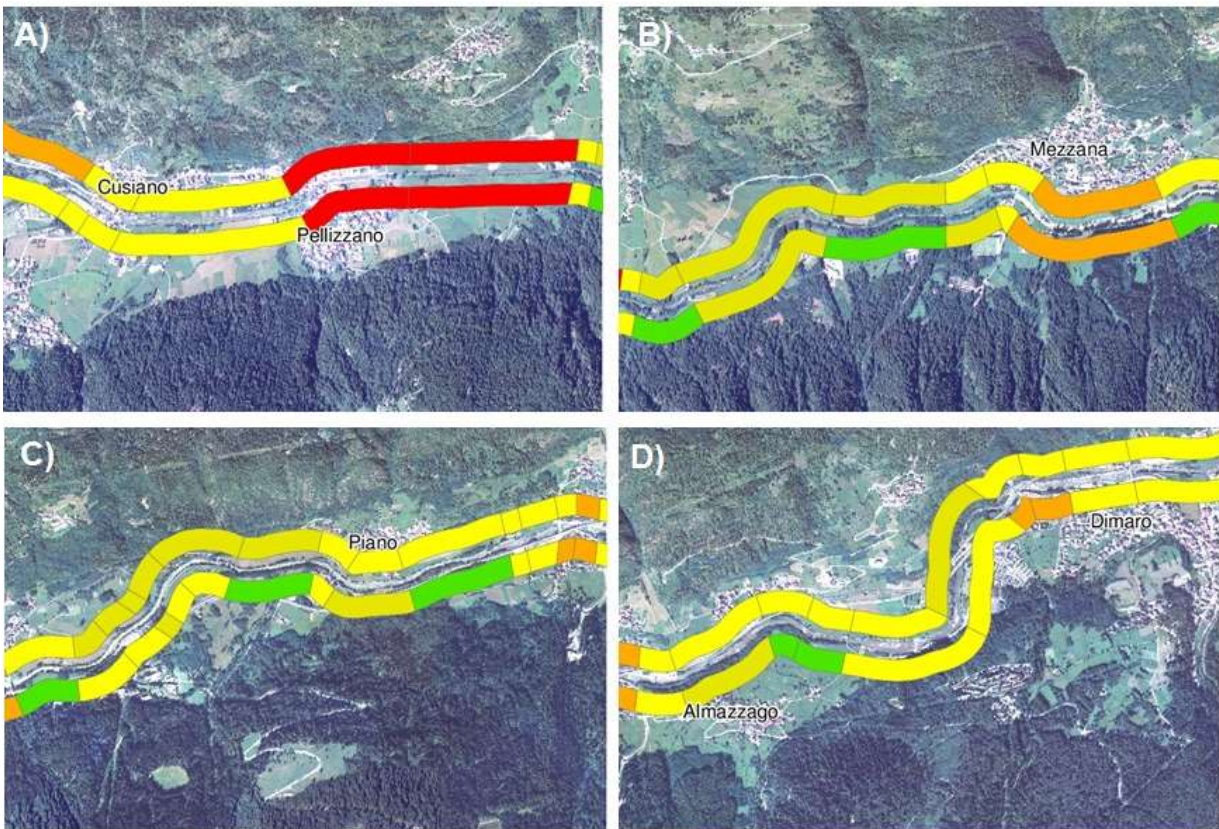


Figura 4-49 Valori di funzionalità reale IFF 2010. A) tratti 1a e 1b; b) tratto 1c; c) tratti 2a,2b; d) 2c,2d e 2e.

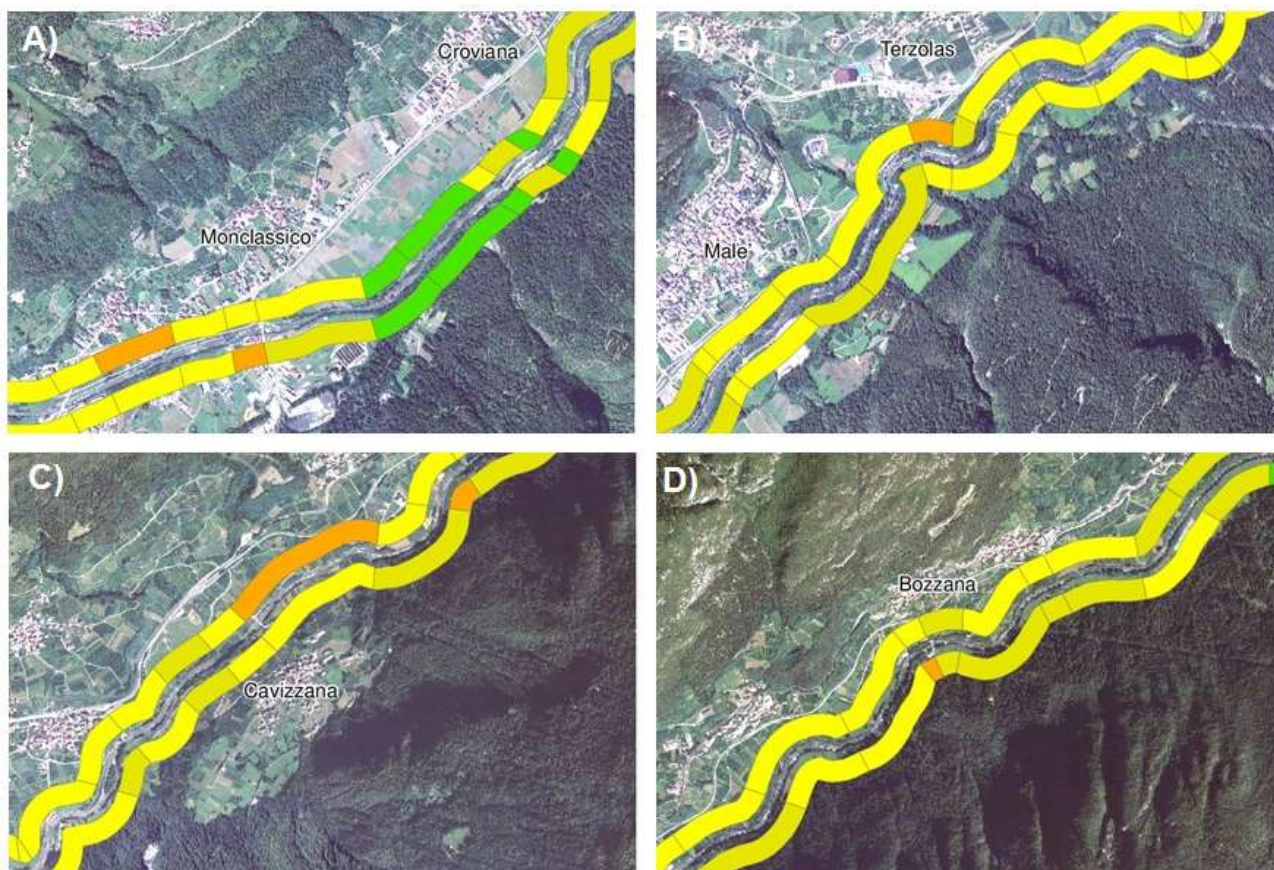


Figura 4-50 Valori di funzionalità reale IFF. A) tratti 2f e 3a; b) 3b e 4a; c) 4b; d) 4c.

### 4.3 Morfodinamica fluviale

Questo capitolo si divide in due parti, corrispondenti ai due obiettivi indicati al Capitolo 2.5:

- 1) quantificazione delle variazioni morfologiche recenti (dal 1859 in poi) attraverso il confronto fra cartografia storica e immagini aeree, individuazione delle aree a potenziale mobilità laterale e analisi del relativo pattern geomorfologico;
- 2) analisi dei potenziali fenomeni inibitori della dinamica morfologica

#### *Quantificazione delle variazioni morfologica recenti (1859 - 2006)*

Sono inizialmente presentati i risultati dell'evoluzione storica del fiume come risulta dal confronto tra le immagini del Catasto Austriaco del 1859 e la foto aerea del 2006. Successivamente sono riportati i risultati dei modelli predittivi (empirico e razionale) del pattern fluviale dei tratti non- e semi-confinati in cui è stato suddiviso l'alveo. Queste previsioni sono state infine confrontate con i pattern osservati in ogni tratto prima dell'avvento di significative alterazioni antropiche.

La morfologia attuale del fiume Noce appare fortemente modificata rispetto a quanto emerge dal catasto del 1859. La Figura 4-51 sintetizza le principali variazioni della larghezza e della sinuosità dell'alveo considerando separatamente ognuno dei sottotratti caratterizzati da differenti proprietà di confinamento laterale. Indipendentemente dalle caratteristiche locali di confinamento, l'intero Noce in area prioritaria di studio ha subito un consistente restringimento, con una riduzione media di larghezza del 30% rispetto al valore del 1859, con valori massimi fino al 50%. Accanto al significativo restringimento, i tratti non- e semi-confinati, cioè con possibilità di mobilità laterale dell'alveo, hanno subito anche una riduzione della propria lunghezza, determinata nella maggior parte dei casi da una riduzione della sinuosità dell'alveo che ha assunto una geometria più rettilinea a seguito soprattutto, ma non esclusivamente, della realizzazione di arginature. In media la riduzione di sinuosità dei tratti non- e semi-confinati è stata del 20%.

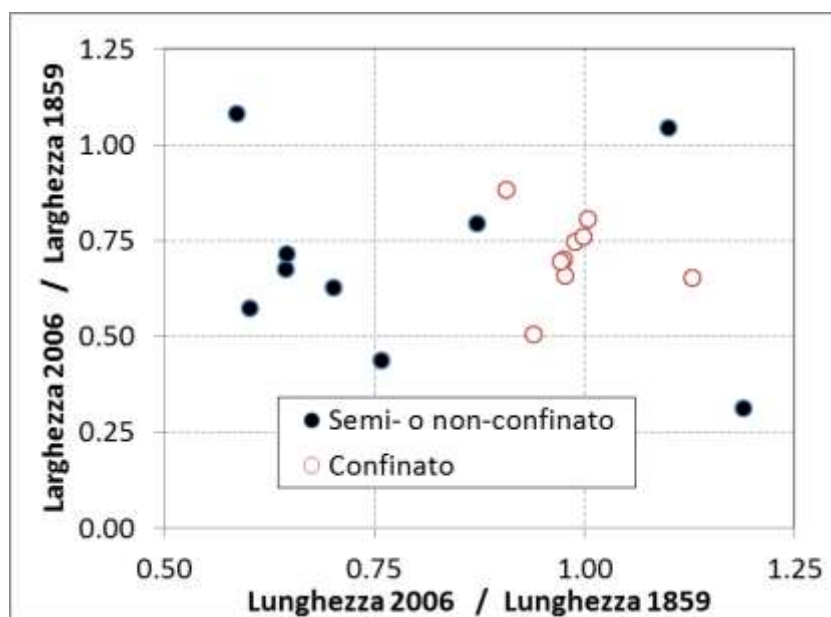


Figura 4-51 Sintesi delle variazioni morfologiche complessive dei tratti esaminati. Per ogni sottotratto, in ascissa è riportato il rapporto fra la lunghezza attuale e quella nel catasto austriaco, in ordinata il corrispondente rapporto fra le pendenze medie

La morfologia dei tratti non- e semi-confinati nel catasto del 1859 appare sia di tipo meandriforme, con forti variazioni spaziali della larghezza dell'alveo, sia di tipo transizionale fra canale singolo e canali intrecciati. Le figure seguenti illustrano alcuni esempi delle variazioni riscontrate nei tratti confinati (Figura 4-52, Figura 4-53) e confinati (dalla Figura 4-54 alla Figura 4-60). In tutte le figure viene riportata con il colore blu l'area che rappresenta la differenza tra l'alveo presente nel catasto del 1859 e nell'immagine del 2006.

La variazione prevalente riscontrabile nei tratti confinati è la riduzione della larghezza media, come evidente ad esempio dalla Figura 4-52. Un caso particolare è quello della piana a valle di Pellizzano, dove la rettifica dell'alveo è probabilmente precedente al 1859 (Figura 4-53).

Nelle zone dove è presente una piana alluvionale invece, la morfologia del Noce attualmente non appare più di tipo transizionale fra alveo meandriforme a canale singolo e alveo a canali intrecciati come appariva nel 1859. Esempi sono riportati nella Figura 4-54, Figura 4-57, Figura 4-58, Figura 4-59 dove il corso d'acqua si divide localmente in due canali debolmente meandriformi attraverso sequenze di biforcazioni e confluenze. Le uniche tracce di tale comportamento nell'alveo odierno sono da riscontrarsi nella presenza, non infrequente, di isole vegetate, che determinano la suddivisione dell'alveo in due rami per brevi tratti.



Figura 4-52 Esempio di tratto (tra Pellizzano e Mezzana) dove la variazione morfologica più significativa è la riduzione quasi uniforme della larghezza dell'alveo attivo.



Figura 4-53 Tratto immediatamente a valle di Pellizzano dove l'intervento di canalizzazione è precedente al 1859.



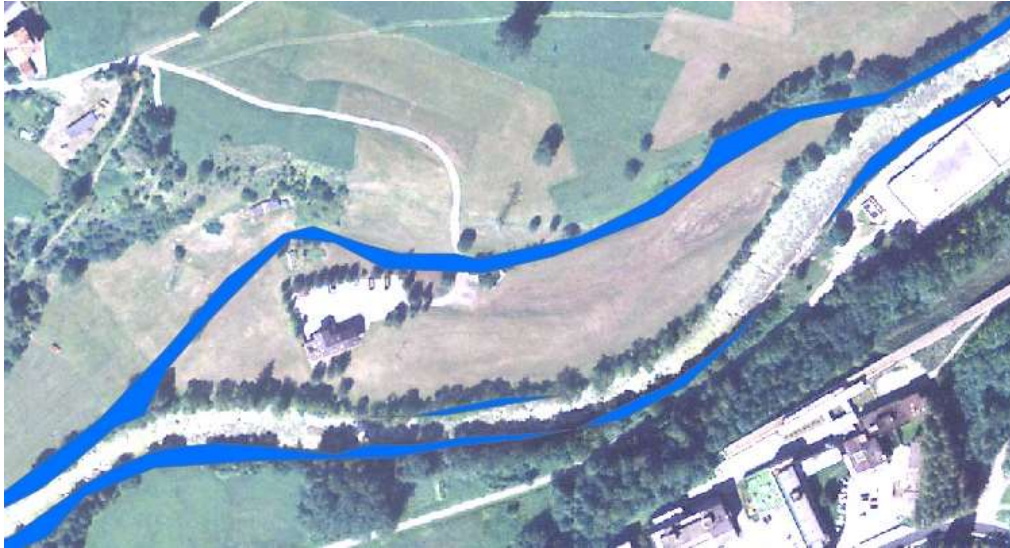


Figura 4-54 Tratto a valle di Marilleva caratterizzato dalla presenza di un ramo secondario (morfologia transizionale).



Figura 4-55 Tratto non confinato tra Piano e Mestriago dove si evidenziano sia la riduzione della larghezza media che della sinuosità.

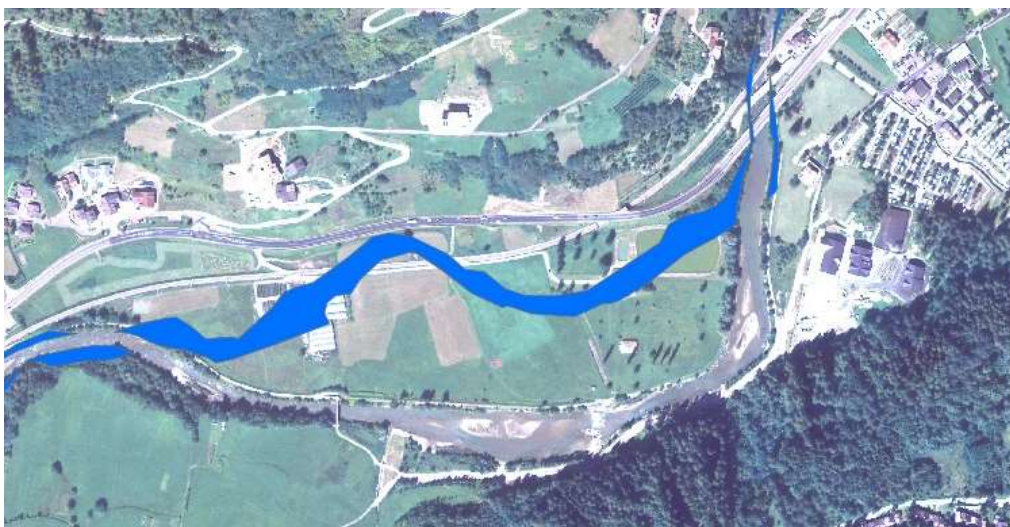


Figura 4-56 Tratto non confinato a monte del Centro Raccolta Materiali a Dimaro, dove il Noce seguiva un percorso nettamente diverso dall'attuale.



Figura 4-57 Tratto interessato dalla confluenza con il torrente Meledrio: l'assenza dell'arginatura a monte della confluenza rivela una morfologia transizionale dell'alveo nei pressi dell'odierno abitato di Dimaro.

La Figura 4-54 si riferisce alla zona a valle di Mezzana in prossimità di Marilleva 900, dove nel 1859 il fiume assumeva una morfologia transizionale. A valle del paese di Piano, dove si apre una piana alluvionale, il corso d'acqua era libero di divagare e compiva alcune ampie anse prima di essere nuovamente confinato dai pendii e dal conoide di un affluente laterale (Figura 4-55). Il tratto dove le differenze tra alveo storico e alveo attuale sono più evidenti è quello a monte di Dimaro (Figura 4-56). Storicamente infatti, il Noce seguiva un percorso completamente diverso in quest'area, passando in prossimità all'attuale tracciato della strada statale. A monte della confluenza con il Meledrio e nell'area dell'ontaneta di Croviana si trovava una zona con barre e a più di un canale (Figura 4-57). L'ontaneta di Croviana è l'unica area protetta (sito SIC) lungo l'asta del corso d'acqua, dove anche appare traccia recente della capacità del Noce di muoversi lateralmente nella piana alluvionale. La Figura 4-58 evidenzia come il fiume fosse in grado di sviluppare anse di una certa ampiezza (1859, 1973), mentre ha assunto nel 2006 un andamento sostanzialmente rettilineo.



Figura 4-58 Dettaglio del percorso del Noce nella zona dell'ontaneta di Croviana. Dall'alto: 1859, 1973, 2006



Figura 4-59 Zona di sbocco dell'ansa occupata dal Noce nel 1973, ora occupata dalla risorgiva visibile in (A), nell'alveo attuale (B) la cui quota del fondo è circa 1.5 - 2m inferiore rispetto al fondo della vecchia ansa

Tale andamento non è dovuto ad interventi di canalizzazione ma sembra piuttosto attribuibile a una combinazione di due fenomeni: un taglio del meandro presente nel 1973, attraverso un processo del tipo *chute cutoff* che può naturalmente verificarsi in morfologie transizionali, e un fenomeno di incisione dell'alveo di entità stimata fra 1.5 e 2m (Figura 4-59) attraverso le osservazioni sul terreno della differenza fra la quota del fondo dell'alveo attuale e la quota del fondo dell'ansa ora abbandonata, ma ancora chiaramente riconoscibile nell'ontaneta dove vi scorre un tranquillo ruscello, verosimilmente alimentato da risorgiva.

Anche nella attuale zona artigianale di Malè, il corso d'acqua era caratterizzato da una maggiore mobilità laterale (Figura 4-60 a). Alla confluenza con il Rabbies, il Noce disegnava un'ampia ansa (Figura 4-60 b), dove adesso si trovano bosco e coltivazioni. Nella parte finale della valle, il fiume Noce è più costretto a causa del restringimento della stessa. In questa zona, si è avuto un minore impatto sul corso d'acqua, anche se l'alveo si è ristretto in quasi tutto il tratto e alcune aree umide sono state bonificate (Figura 4-61).

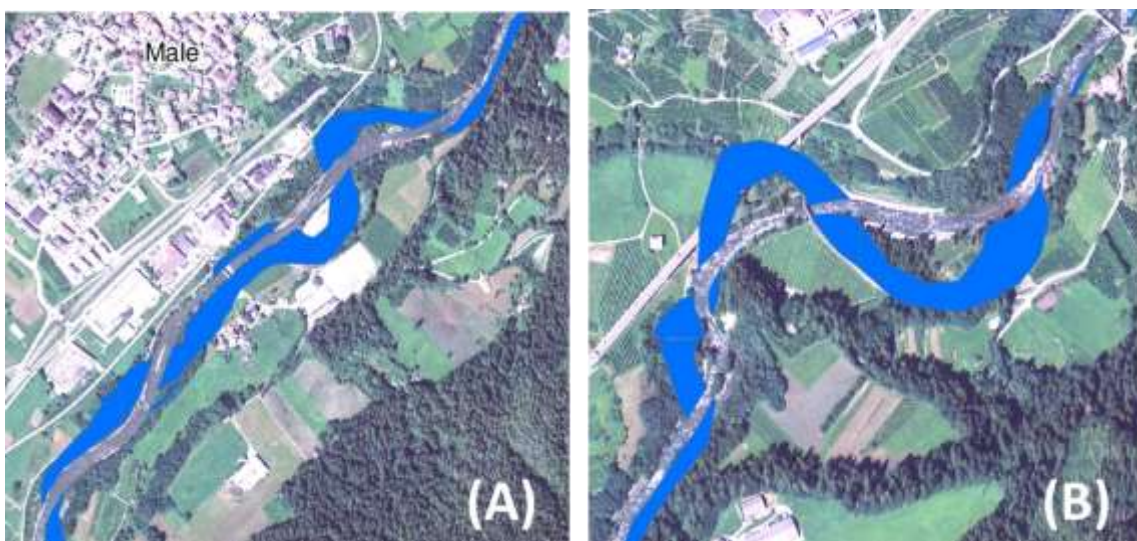


Figura 4-60 (A) Zona artigianale di Malè (B) Confluenza con il torrente Rabbies

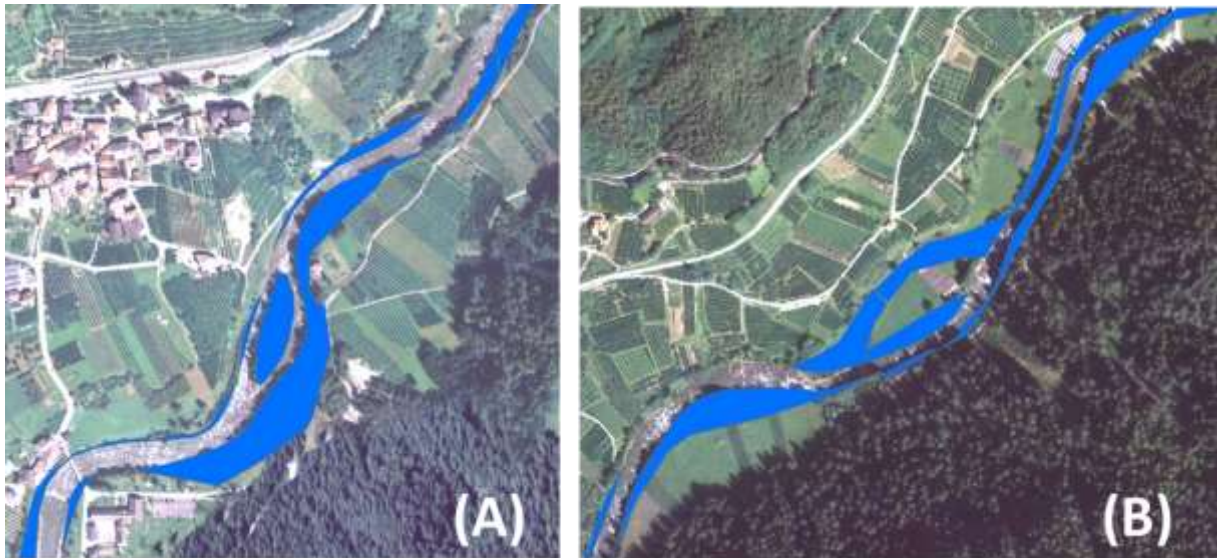


Figura 4-61 (A) Località Contre di Caldes (B) Ramo laterale a monte di Ponte Stori

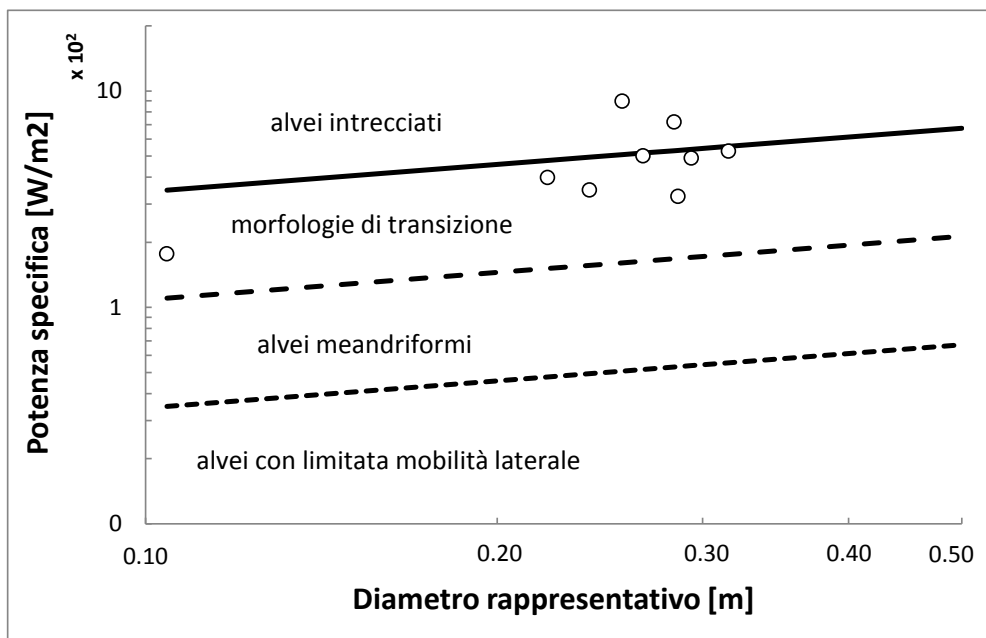


Figura 4-62 Morfologia fluviale prevista per i tratti non confinati del Noce in Val di Sole secondo il criterio empirico proposto da Kleinhans e Van den Bergh (2010). La posizione di ogni tratto nel diagramma è indicata dai cerchi bianchi.

La morfologia fluviale osservata nel 1859 è compresa fra meandriforme – singolo canale e transizionale. Attualmente la morfologia di molti dei tratti semi- e non confinati nel 1859 è condizionata dalla presenza di arginature: quale morfologia il Noce potrebbe sviluppare se gli venisse data una maggiore libertà di evoluzione plano-altimetrica attraverso un intervento di allontanamento locale degli argini? In altre parole, il fiume è ancora in grado di sostenere un intervento di riqualificazione idromorfologica di questo tipo? Per rispondere a questa domanda si sono utilizzati due differenti metodi di previsione del pattern morfologico dovuti a Crosato e Mosselman (2009: criterio razionale) ed a Kleinhans e Van den Bergh (2010: criterio empirico). La Figura 4-62 riporta il risultato del metodo empirico, che indica come la maggior parte dei tratti non confinati (7 su 9) tendano ad una morfologia “transizionale”, così come appariva anche dalle immagini

del catasto austriaco. Tale risultato è coerente con la previsione del metodo razionale, che prevede un pattern transizionale per 6 tratti su 9 (coefficiente  $m > 1.5$ ) e meandriforme (coefficiente  $m < 1.5$ ) per altri 3 tratti, in maggiore accordo con le osservazioni relative all'alveo del 1859, dove non compare traccia di alveo a canali intrecciati, morfologia prevista invece dal criterio empirico per 2 tratti su 9.

L'analisi della capacità di formazione di barre alternate e dell'influenza morfodinamica rivela infine una generale predisposizione del Noce a formare forme di fondo quali le barre fluviali (alternate e centrali) e a risentire di eventuali interventi di modifica dell'assetto planimetrico (es. locali restringimenti o allargamenti) sia nella direzione di valle che di monte, ricadendo perlopiù nel cosiddetto regime "super-risonante" (Zolezzi e Seminara, 2001).

### *Analisi dei potenziali fenomeni inibitori della dinamica morfologica*

L'analisi dei periodi di ritorno della portata a sponde piene (di bankfull) e il confronto fra il diametro medio superficiale attualmente presente e l'intervallo dei diametri massimi mobilitabili in condizioni formative indicano che la potenziale mobilità laterale del Noce è probabilmente ridotta.

Una prima motivazione è associata ai fenomeni di incisione dell'alveo che sono indicati da almeno due verifiche indirette. Un primo segnale è che in un terzo dei tratti semi- e non confinati la portata di bankfull ha un periodo di ritorno che eccede largamente il valore tipico degli alvei monocursali, compreso fra 1 e 2 anni. Una seconda indicazione è quella illustrata in Figura 4-59, ed è basata sull'ipotesi che il tracciato del meandro occupato dal Noce nel 1973 (Figura 4-58) non abbia subito variazioni altimetriche significative negli ultimi 30 – 40 anni. Non avendo potuto reperire rilievi topografici passati di sezioni trasversali del Noce che avrebbero consentito una quantificazione diretta dell'entità dei fenomeni di incisione dell'alveo, questa doppia analisi è comunque indicativa del potenziale di riduzione attuale della mobilità dell'alveo.

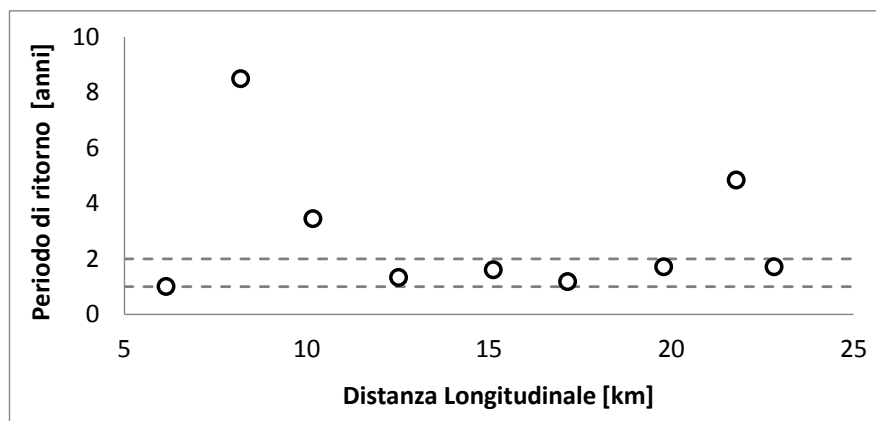


Figura 4-63 Periodi di ritorno delle portate a sponde piene medie per i tratti non- e semi-confinati nel Noce in area prioritaria di studio. Le linee tratteggiate indicano la fascia 1-2 anni.

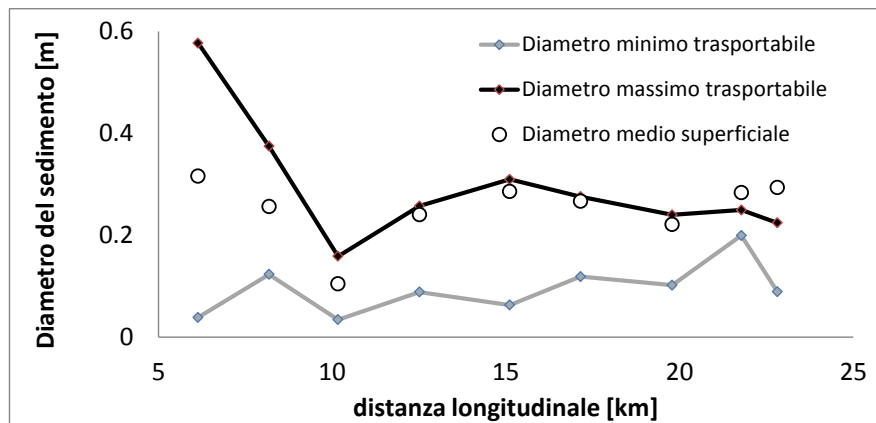


Figura 4-64 Confronto fra i diametri rappresentativi del sedimento di fondo superficiale presente nei tratti non- e semi-confinati del Noce in area prioritaria di studio (simboli bianchi) e il *range* di diametri trasportabili in condizioni a sponde piene (*bankfull*). Massimi (linea nera) e minimi valori (linea grigia) su ogni tratto.

Una seconda indicazione che l'attività morfologica potenziale sia attualmente più limitata rispetto al passato viene dal confronto fra i diametri rappresentativi del sedimento di fondo superficiale presente nei tratti non- e semi-confinati (simboli bianchi in Figura 4-64) e l'intervallo di diametri trasportabili in condizioni a sponde piene (*bankfull*). In Figura 4-64 i valori dei diametri massimi mobilitabili in condizioni formative su ogni tratto sono indicati con una linea nera e i minimi con una linea grigia. Si può osservare come, scendendo verso valle, il diametro medio del fondo passi da un valore intermedio fra il minimo e il massimo diametro mobilitabile per ogni tratto a valori prossimi al massimo (ma sempre trasportabili) fino a superare il valore massimo risultando così mobilitabile solo da portate con periodi di ritorno più elevati di quelle corrispondenti alle condizioni a sponde piene.

## 5 Risultati: servizi ricreativi e accessibilità

Questo capitolo riporta i risultati relativi alla quantificazione dei servizi ricreativi offerti dal Noce, e in particolare la loro dipendenza dalla portata presente in alveo. Sono analizzati l' idoneità alla navigazione e la "accessibilità idromorfologica", un indicatore sviluppato ad hoc nel presente studio per identificare i tratti di sponda fluviale che offrono maggiori propensione e criticità per la fruibilità del corso d'acqua a fini ricreativi.

### 5.1 Idoneità alla navigazione

Per ogni tratto è stata applicata la metodologia descritta al Capitolo 2.6, che consente una duplice analisi, di carattere spaziale e temporale.

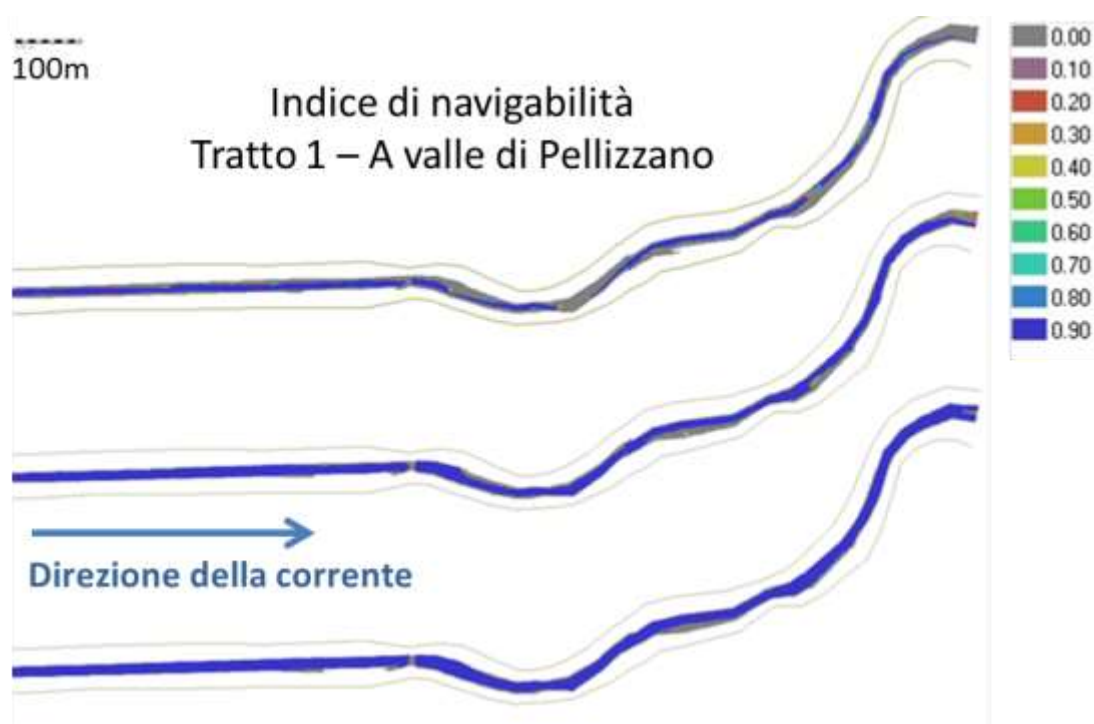


Figura 5-1 Esempio di variazione dell'indice di navigabilità (RSI) con la portata in un tratto situato a valle di Pellizzano.

La prima analisi consente di visualizzare la distribuzione spaziale dell'indice di navigabilità RSI su tutto il tratto esaminato e può essere utilizzata per identificare regioni potenzialmente critiche per la navigazione al variare della portata. Un esempio di queste valutazioni è riportato in Figura 5-1 che si riferisce a un tratto lungo circa 1.5km a valle dell'abitato di Pellizzano. Si può osservare come le aree colorate in grigio (RSI < 0.1, non idoneo) vadano progressivamente riducendosi all'aumentare della portata a favore di aree di colore blu (RSI > 0.8, molto idoneo), indicando così un miglioramento della navigabilità nel tratto. È intuibile come questa analisi spaziale possa consentire anche valutazioni sul grado di connessione delle aree idonee, fattore rilevante per la continuità della navigazione. È infine da rimarcare come considerazioni specificamente locali siano da effettuare con cautela poiché la geometria dell'alveo, al di fuori delle sezioni rilevate, è ottenuta tramite il procedimento di interpolazione richiamato al capitolo 2.2.

Ai fini del presente lavoro, l'analisi temporale è ritenuta di maggiore; nel CD allegato alla presente relazione sono riportati con maggiore dettaglio i risultati relativi alla distribuzione spaziale dell'indice di navigabilità RSI per diversi valori di portata e per i tratti dove tali variazioni risultano più significativi.

L'analisi temporale si focalizza sul periodo di interesse per la navigazione sportiva, da maggio a settembre inclusi. Le Figura 5-2, Figura 5-3, Figura 5-4, Figura 5-5 illustrano separatamente i risultati per i quattro tratti in termini di PTMI (Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo) per la navigazione sportiva in ogni mese, per ognuno dei quattro scenari idrologici esaminati e basati su dati medi giornalieri.

Per tutti i tratti le condizioni più sfavorevoli sono invariabilmente quelle in cui in alveo è presente la portata di base dei deflussi discontinui (*no hydropeaking*), mentre la presenza delle portate di picco (*max hydropeaking*) determina sempre le condizioni più favorevoli. La navigazione, inoltre, risulta difficile soprattutto nei mesi di agosto e settembre, soprattutto per i tratti più a monte (fino alla confluenza con il Meledrio). In questi due mesi la presenza delle portate di picco dell'hydropeaking è indispensabile affinché le discese siano effettuabili per una percentuale di tempo accettabile, che comunque non supera il 30 – 40% del mese nel tratto 2, compreso fra Mezzana e la confluenza con il Meledrio.

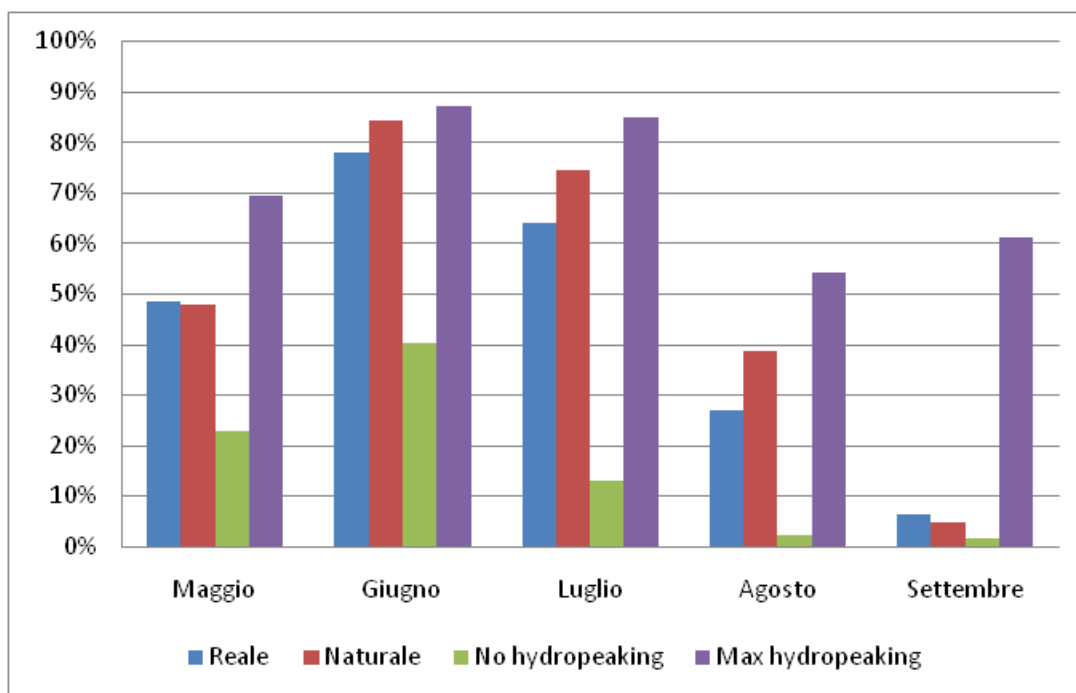


Figura 5-2 Percentuale Tempo Mediamente Idoneo (PTMI) per la navigabilità nel primo tratto



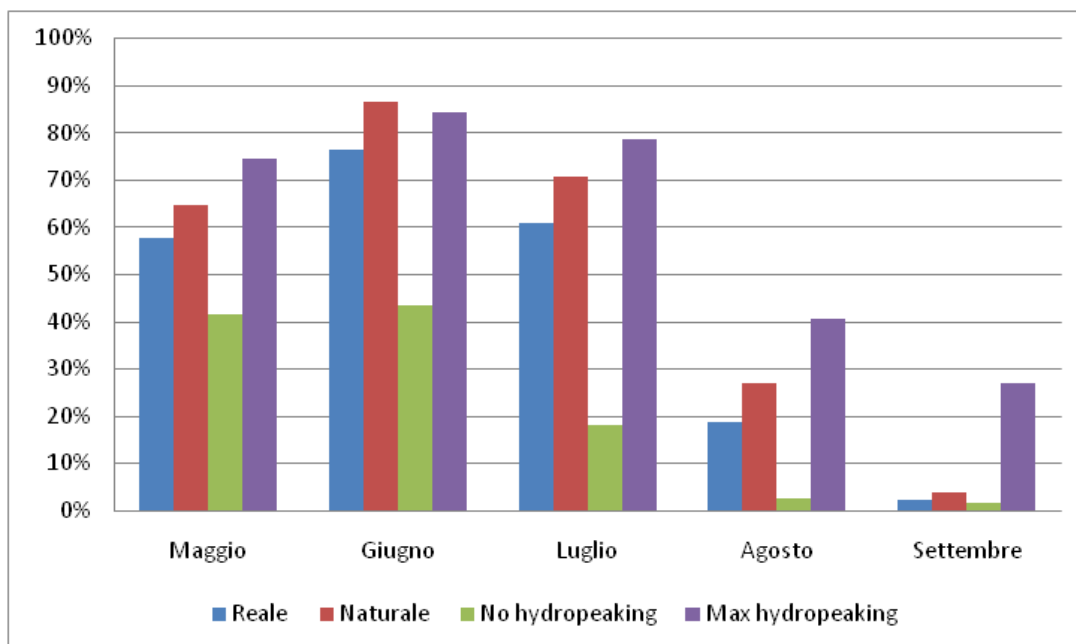


Figura 5-3 PTMI per la navigabilità nel secondo tratto

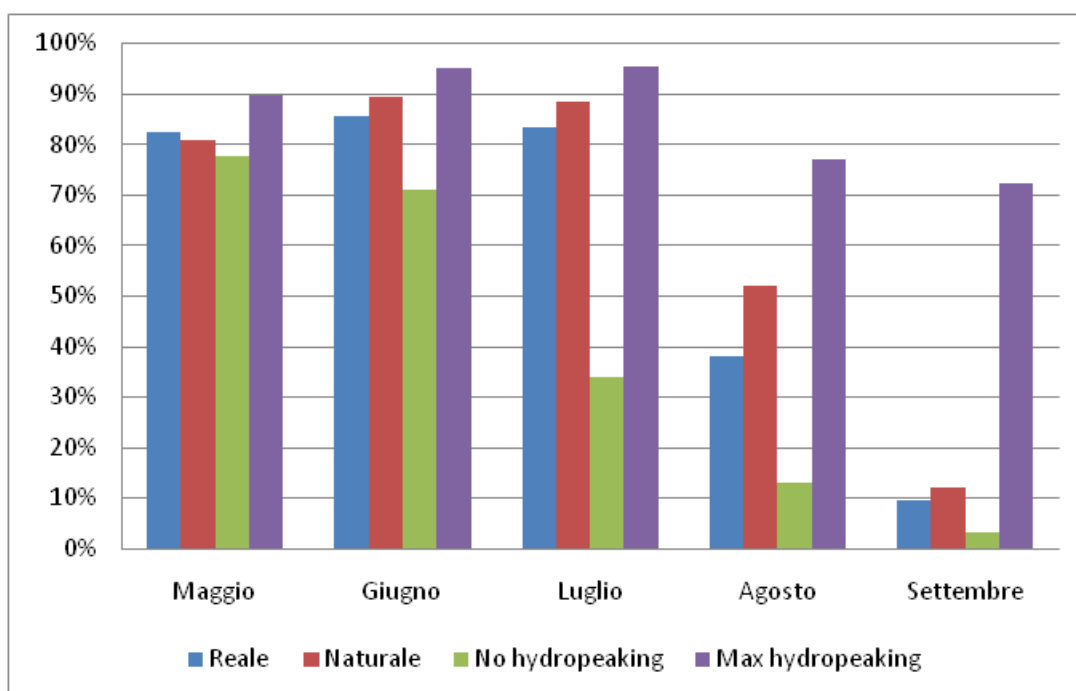


Figura 5-4 PTMI per la navigabilità nel terzo tratto

È interessante notare come negli scenari “naturale” e “reale” la navigabilità nei mesi di agosto e settembre è piuttosto limitata. In generale, l’hydropeaking garantisce dunque la navigabilità del fiume in tutti i tratti per una buona parte della stagione di rafting e risulta fondamentale soprattutto nei mesi di agosto e settembre quando anche le portate naturali risulterebbero troppo basse per supportare la navigazione.

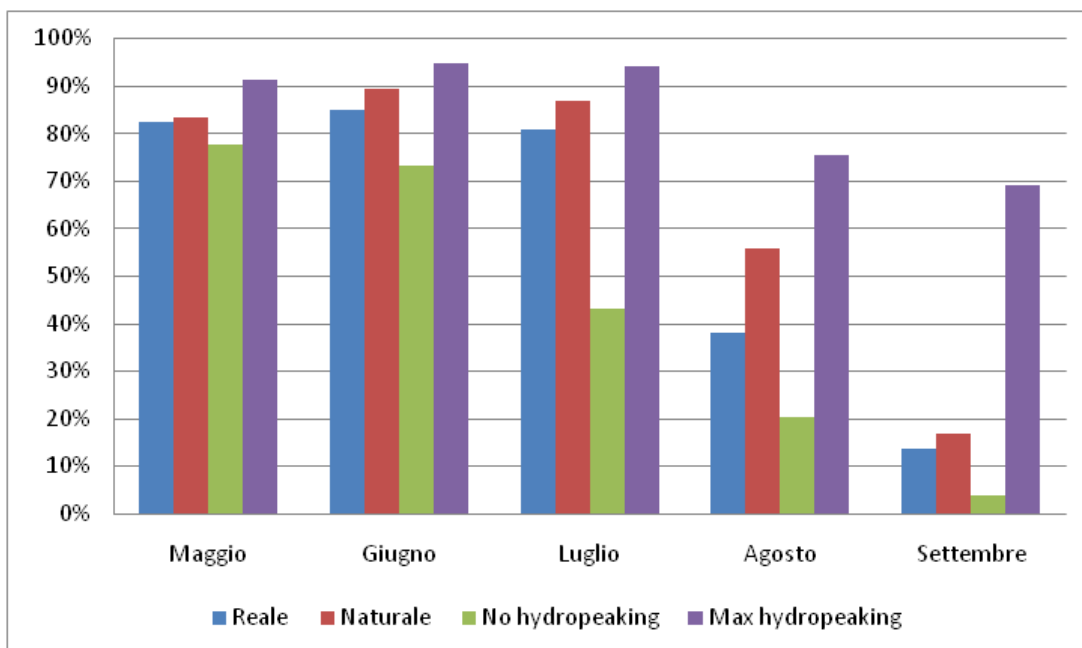


Figura 5-5 PTMI per la navigabilità nel quarto tratto

La situazione reale, come nel caso dell'habitat per la specie ittica target, è assimilabile a un'alternanza, a scala sub-giornaliera, fra lo scenario *no hydropeaking* e *max hydropeaking*.

Nel seguito, accorpati per quinquennio, sono presentati i risultati dell'analisi sulla serie oraria dei livelli registrati alla sezione di Malè.

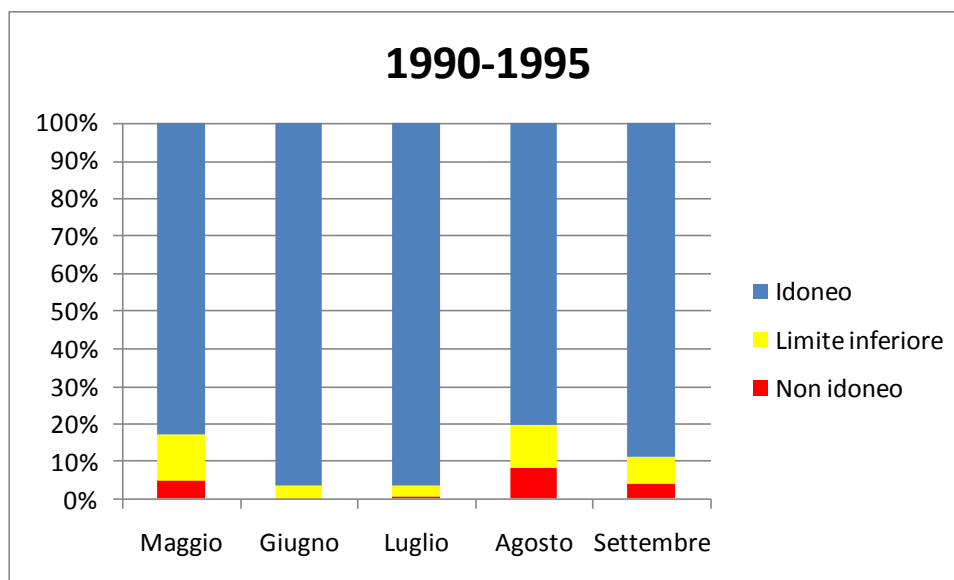


Figura 5-6 Percentuale di tempo mediamente idoneo (PTMI) per la navigabilità calcolata a partire dalla serie oraria di Malè per la fascia oraria compresa tra le 8 e le 18 nel periodo 1990 -1995.

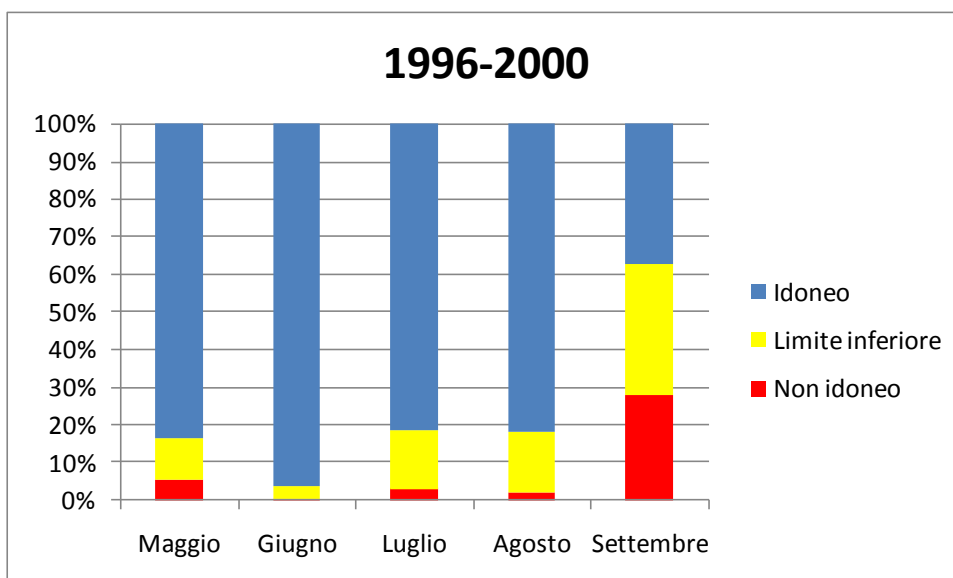


Figura 5-7 Percentuale di tempo mediamente idoneo (PTMI) per la navigabilità calcolata a partire dalla serie oraria di Malè per la fascia oraria compresa tra le 8 e le 18 nel periodo 1996-2000.

In generale le Figura 5-6, Figura 5-7, Figura 5-8 e Figura 5-9 mostrano una progressiva riduzione dell'idoneità alla navigazione nei mesi di agosto e settembre, con una variazione più significativa a partire dal quinquennio 2001-2005, quando la PTMI reale è spesso inferiore al 50 %. Tale comportamento si verifica in concomitanza di un cambio nel ritmo di produzione di energia idroelettrica, principalmente associato alla liberalizzazione del mercato dell'energia e alla progressiva diffusione di altre fonti di energia rinnovabile. Il grado di correlazione fra i due fenomeni, benché ragionevolmente ipotizzabile, andrebbe comunque quantificato attraverso un'analisi più rigorosa ritenuta al di fuori degli obiettivi specifici del presente studio.

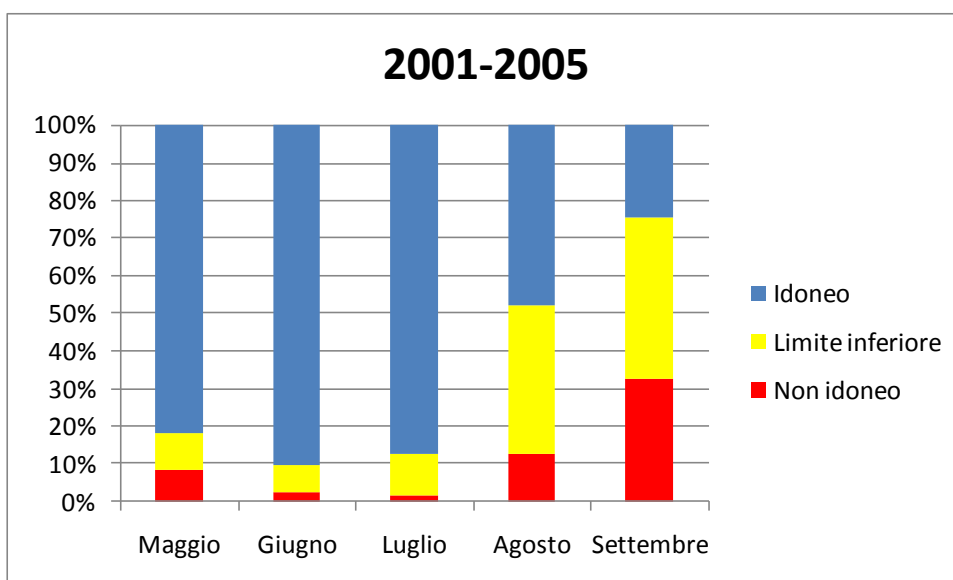


Figura 5-8 Percentuale di tempo mediamente idoneo (PTMI) per la navigabilità calcolata a partire dalla serie oraria di Malè per la fascia oraria compresa tra le 8 e le 18 nel periodo 2001-2005

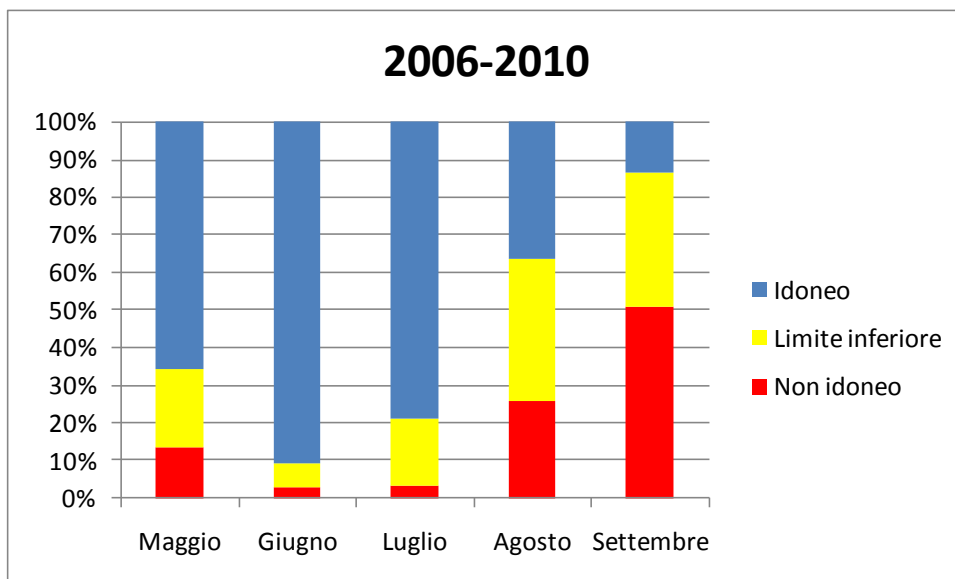


Figura 5-9 Percentuale di tempo mediamente idoneo (PTMI) per la navigabilità calcolata a partire dalla serie oraria di Malè per la fascia oraria compresa tra le 8 e le 18 nel periodo 2006-2010

## 5.2 Accessibilità idromorfologica

Per esaminare la possibilità di utilizzo di servizi ricreativi forniti dall'alveo del fiume Noce, quali la pesca sportiva, la possibile balneazione, l'accesso con imbarcazioni e altre attività ludiche in riva al fiume, ne è stata valutata l'accessibilità, definita da un punto di vista idromorfologico. Tale definizione combina valutazioni quantitative sulla morfologia delle regioni spondali normalmente emerse nei periodi turistici e sulla pericolosità idraulica associata all'interazione fra i visitatori e la porzione bagnata dell'alveo immediatamente adiacente alle sponde. Questa analisi si è proposta di valutare i tratti in cui i servizi ricreativi siano potenzialmente utilizzabili, e non può fornire invece un'indicazione completa sull'accessibilità locale effettiva che può variare all'interno dello stesso tratto e dipendere significativamente anche dalla presenza di adeguate infrastrutture di accesso.

È stato così proposto un Indice di Accessibilità Idromorfologica Fluviale (IAIF) che si costruisce componendo due diversi indicatori di accessibilità "morfologica" laterale e di accessibilità "idraulica" in alveo, quest'ultimo dipendente dal valore della portata defluente. Le due sponde del Noce in area prioritaria di studio sono state suddivise in sottotratti, considerando pendii, argini e strutture antropiche. Ad ogni tratto il valore dell'IAIF si calcola come il valore peggiore dei due indicatori scelti per quantificare la morfologia delle sponde e la pericolosità idraulica. L'indicatore di accessibilità morfologica laterale può assumere tre valori: *non accessibile* per pendenze maggiori del 100 %; *accessibile con difficoltà* per pendenze comprese tra 100 % e 50 %; *accessibile* per valori di pendenza inferiori al 50 %. L'indicatore di pericolosità idraulica può assumere gli stessi tre valori, a seconda del valore di profondità locale in prossimità alla sponda (3 metri dalle rive): *non accessibile* (profondità maggiore di 50 cm), *accessibile con difficoltà* (profondità compresa tra 25 e 50 cm), *accessibile* (profondità minore di 25 cm). Le regole relative alla pericolosità idraulica sono volutamente conservative, in modo da indicare accessibilità in condizioni di effettiva sicurezza.

Le mappe riportate di seguito riportano i valori dell' IAIF corrispondenti a due valori di portata, scelti come rappresentativi di condizioni di basse ed alte portate nella stagione primaverile – estiva alla sezione di chiusura. Questi valori corrispondono alla mediana della curva di durata dello scenario *no hydropeaking* nel mese di Aprile per il minimo (10 m<sup>3</sup>/s), e alla mediana della curva di durata dello scenario *max hydropeaking* per il mese di Giugno per il massimo (36 m<sup>3</sup>/s). Le classi sono 3: *accessibile* = verde, *accessibile con difficoltà* = giallo, *non accessibile* = rosso. L'analisi viene presentata in riferimento agli stessi tratti utilizzati nel resto dello studio.

Complessivamente, l'accessibilità morfologica laterale risulta essere il fattore più limitante: la presenza di arginature, difese spondali e pendii naturali a forte pendenza rendono in alcuni tratti difficoltoso l'accesso all'alveo anche in condizioni di bassa portata.

### Tratto 1a e 1b

Il fiume scorre in prossimità o in mezzo ai paesi: si evidenzia la presenza di arginature e difese di sponda che ne limitano l'accesso per entrambi i valori di portata esaminati. Soltanto il tratto in riva destra a monte del paese di Pellizzano risulta di facile accesso, anche se mancano strade e infrastrutture. In condizioni di portata più elevata (36 m<sup>3</sup>/s), la morfologia a canale unico comporta un forte aumento del livello con diminuzione dell'indice di accessibilità in tutta l'area.



Figura 5-10. Tratti 1a e 1b: Accessibilità con  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figura 5-11. Tratti 1a e 1b: accessibilità con  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

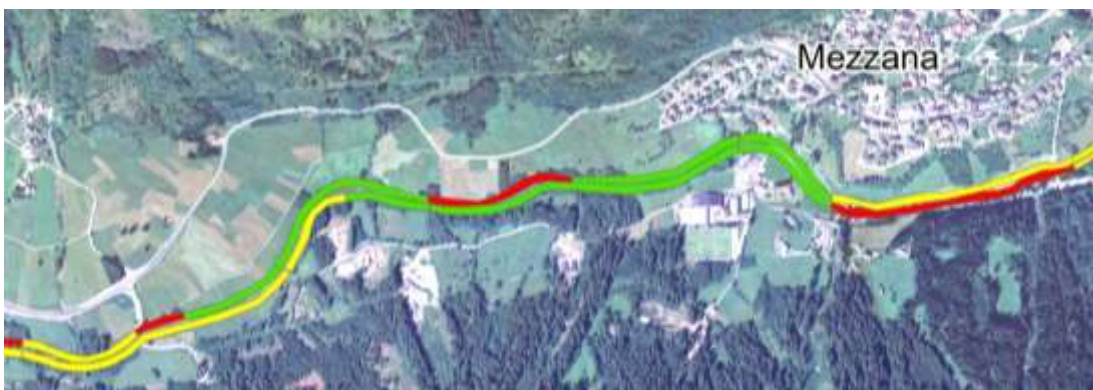


Figura 5-12 Tratto 1c: Accessibilità con  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

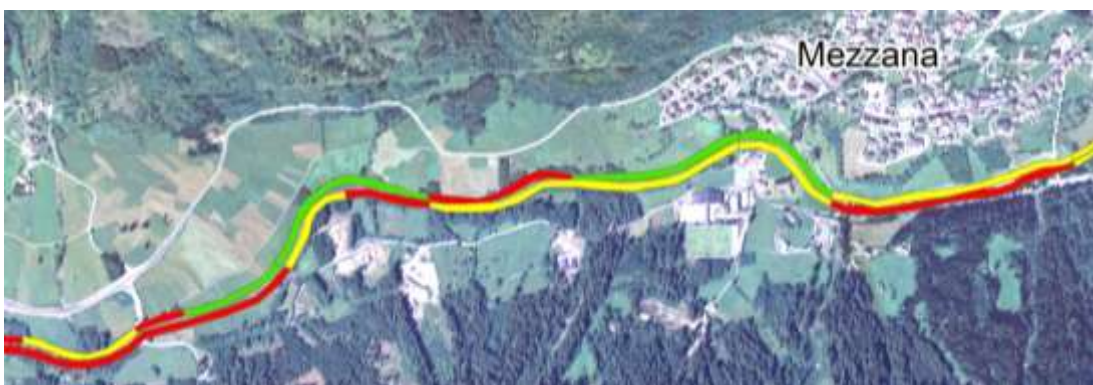


Figura 5-13 Tratto 1c: accessibilità con  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### Tratto 1c

In questo tratto il fiume scorre per la maggior parte lontano dai paesi e conserva caratteristiche di maggiore naturalità. L'accesso al fiume risulta impossibile o difficoltoso in alcune zone per la presenza di pendii. Soltanto nell'ultima parte del tratto sono presenti massi e difese di sponda, anche se alcune vie d'accesso artificiali rendono possibile la discesa verso l'alveo. All'aumentare della portata, diverse aree diventano difficilmente accessibili o inaccessibili, ma la morfologia e larghezza dell'alveo garantiscono comunque l'accessibilità in alcuni sottotratti.

### Tratti 2a e 2b

La parte a monte dell'abitato di Piano risulta confinata in riva destra dai pendii e in riva sinistra dalla presenza di difese di sponda che però non impediscono completamente l'accesso. Nelle aree a monte e in prossimità degli abitati sono presenti difese di sponda più massicce per prevenire il rischio idraulico. In questa zona il fattore limitante risulta essere quasi esclusivamente l'accessibilità morfologica laterale, in quanto l'aumento della portata non comporta grandi variazioni nell'accessibilità generale.

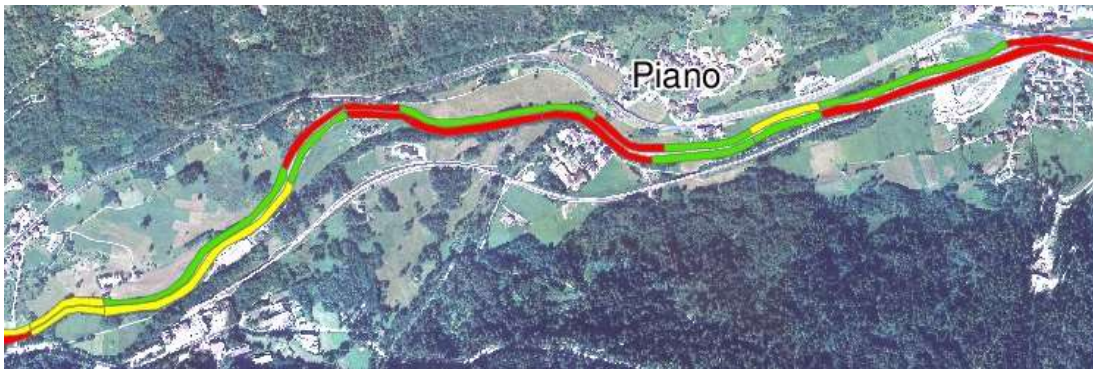


Figura 5-14 Tratti 2a e 2b: accessibilità con  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figura 5-15 Tratti 2a e 2b: accessibilità con  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### Tratti 2c, 2d e 2e

Anche in questo tratto la presenza di arginature e difese limita pesantemente l'accessibilità in alcune zone soprattutto sulla sponda sinistra. In sponda destra invece, in particolare in prossimità della briglia di Dimaro, l'accesso risulta sempre ottimale anche con alte portate.

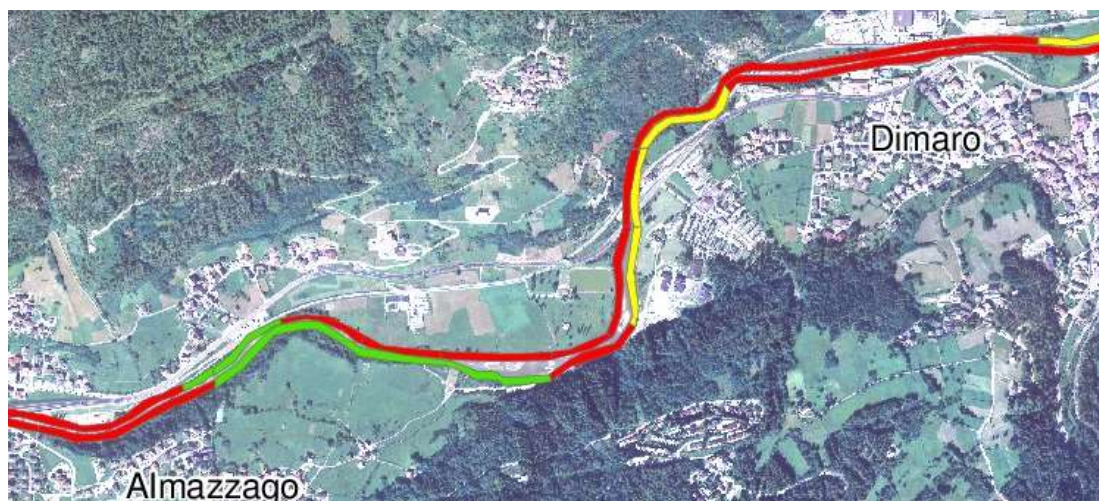


Figura 5-16 Tratti 2c, 2d e 2e: accessibilità con  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

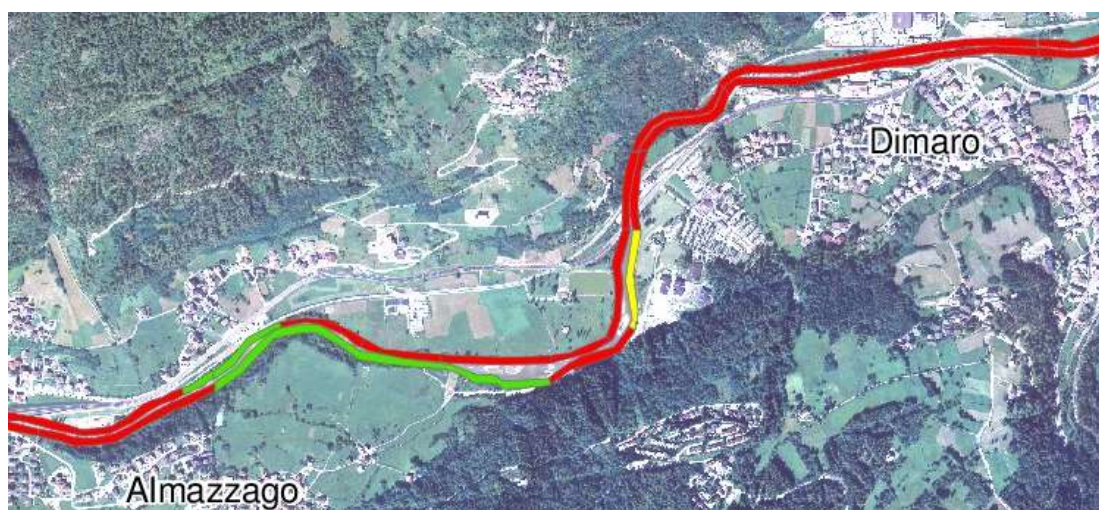


Figura 5-17 Tratti 2c, 2d e 2e: accessibilità con  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### *Tratti 2f e 3a*

Quest'area risulta fra le migliori in assoluto per quanto riguarda tutti gli indicatori considerati e anche l'accessibilità risulta buona, soprattutto nell'area corrispondente al sito SIC di Croviana, soprattutto in riva destra. La presenza di difese di sponda e l'alveo inciso riducono ma non pregiudicano completamente la facilità di accesso in alcuni sottotratti, mentre la larghezza dell'alveo e la sua morfologia permettono una buona accessibilità all'aumento della portata.





Figura 5-18 Tratti 2f e 3a: accessibilità con  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figura 5-19 Tratti 2f e 3a: accessibilità con  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **Tratti 3b e 4a**

Anche in questi tratti, la presenza di difese di sponda e argini in prossimità della zona artigianale di Malè e di altre aree urbanizzate compromette l'accessibilità. All'aumento della portata, l'accessibilità risulta pregiudicata nel tratto naturalmente confinato, mentre dove la morfologia e la larghezza dell'alveo lo permettono, non si hanno variazioni dell'accessibilità idromorfologica.



Figura 5-20 Tratti 3b e 4a: accessibilità con  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

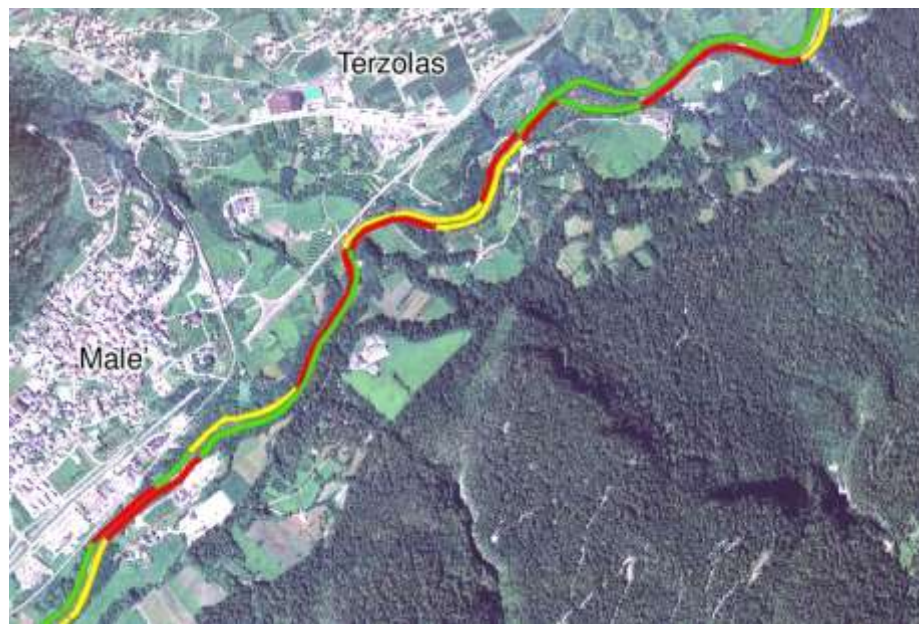


Figura 5-21 Tratti 3b e 4a: accessibilità con  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### *Tratto 4b*

In questo tratto, la pendenza dei versanti e la presenza di terrazzamenti per l'agricoltura (coltivazione di meleti), assieme a limitati tratti di difese spondali, compromettono l'accessibilità di alcune zone. Il valore di questo indicatore rimane comunque buono per buona parte del tratto, soprattutto in riva destra. Le portate alte comportano una significativa diminuzione dei valori in gran parte del tratto.



Figura 5-22 Tratto 4b: accessibilità con  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

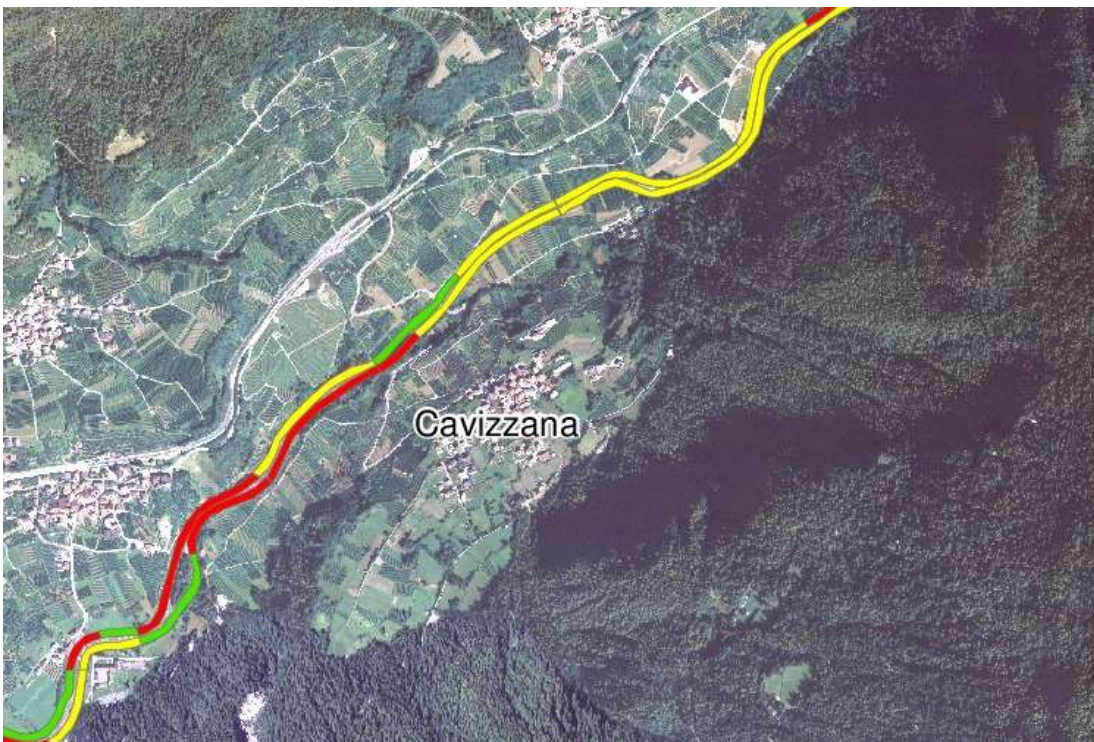


Figura 5-23 Tratto 4b: accessibilità con  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### Tratto 4c

Nell'ultimo tratto sono presenti limitate difese spondali che compromettono l'accessibilità solo in aree limitate. In quest'area il fattore limitante risulta essere l'aumento delle portate che peggiorano sensibilmente i valori dell'indicatore.



Figura 5-24 Tratto 4c con  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Figura 5-25 Tratto 4c  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 6 Analisi di scenari futuri ed effetti sui servizi ecosistemici

### 6.1 Ricerca di trend statistici nelle serie storiche di disponibilità idrica

In questo capitolo vengono descritti i risultati ottenuti dall'applicazione del test di Mann-Kendall (v. Capitolo 2.1) alle serie storiche di dati di precipitazione, temperatura e portata considerate in questo lavoro. I risultati di questa analisi consentono di individuare la presenza di eventuali trend di variazione e la loro entità. A quest'analisi si aggiunge l'analisi effettuata con la trasformata Wavelets (v. Capitolo 2.1). Questo strumento consente di separare il segnale di partenza (ad es. di portata) nelle sue componenti alle diverse scale temporali, da quella oraria a quella annuale.

#### *Test di Mann Kendall*

Una quantificazione delle variazioni è riportata nella Tabella 6-1. L'analisi ha riguardato l'intera serie di dati per ogni singola stazione separatamente.

I risultati riportati in Tabella 6-1, relativi ai trend ottenuti per le serie di portata, evidenziano una tendenza negativa durante tutti i mesi dell'anno per la sezione di Malè, un trend negativo per la sezione di Vermiglio nella fase autunnale - invernale ed un trend positivo nella fase primaverile - estiva (si veda anche Figura 6-1).

Mese	Trend Portata [m <sup>3</sup> /s/anno]		Proiezione Vermiglio		Proiezione Malè	
	Vermiglio	Malè	10 anni	20 anni	10 anni	20 anni
Gen	-0.043	-0.173	-0.426	-0.852	-1.735	-3.470
Feb	-0.030	-0.147	-0.302	-0.603	-1.471	-2.941
Mar	-0.018	-0.127	-0.175	-0.351	-1.266	-2.531
Apr	0.018	-0.041	0.183	0.366	-0.411	-0.823
Mag	0.037	-0.397	0.368	0.736	-3.969	-7.938
Giu	0.020	-0.097	0.203	0.405	-0.966	-1.933
Lug	0.025	-0.117	0.253	0.505	-1.166	-2.333
Ago	-0.040	-0.400	-0.397	-0.793	-4.004	-8.008
Set	-0.007	-0.263	-0.070	-0.140	-2.627	-5.254
Ott	-0.081	-0.452	-0.806	-1.613	-4.516	-9.033
Nov	-0.037	-0.420	-0.367	-0.734	-4.199	-8.399
Dic	-0.011	-0.219	-0.112	-0.223	-2.189	-4.379
<b>Media Annuale</b>	<b>-0.014</b>	<b>-0.238</b>				

Tabella 6-1 Trend statistici

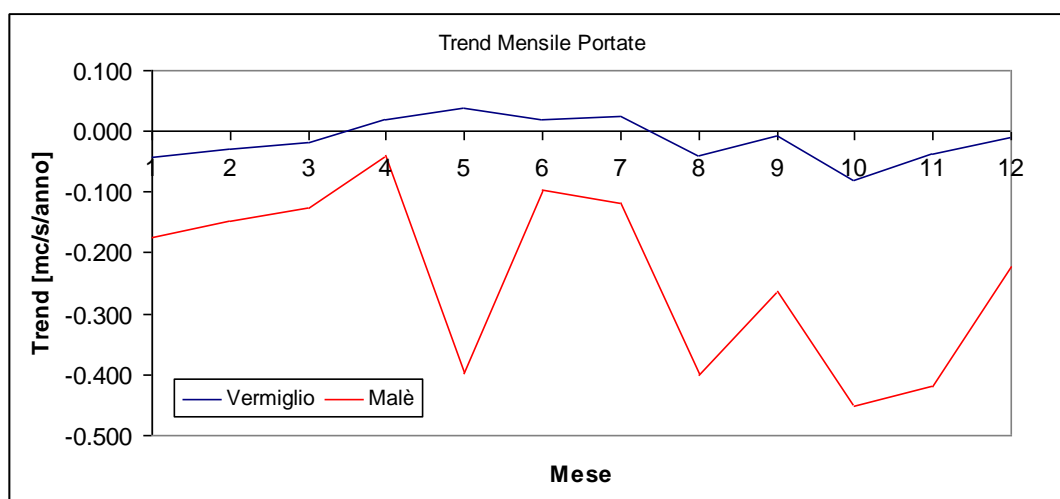


Figura 6-1 Andamento mensile dei trend di variazione delle portate per Vermiglio e Malè.

Mese	Trend delle temperature [°C/anno]								Proiezione		
	T63	T64	T65	T68	T69	T74	T75	T167	Media mese	10 anni	20 anni
Gen	-0.148	-0.124	-0.161	-0.120	-0.230	-0.036	-0.180	-0.105	-0.138	-1.380	-2.759
Feb	-0.061	-0.071	-0.109	-0.045	-0.047	-0.011	-0.034	-0.064	-0.055	-0.554	-1.108
Mar	-0.105	0.014	-0.115	-0.076	0.313	0.012	0.324	-0.101	0.033	0.332	0.664
Apr	0.092	0.047	0.044	0.087	-0.042	0.139	-0.059	0.131	0.055	0.551	1.102
Mag	0.076	0.104	0.002	0.093	0.169	0.148	0.219	0.081	0.112	1.115	2.231
Giu	0.104	0.267	0.081	0.142	0.302	0.156	0.291	0.126	0.184	1.839	3.678
Lug	0.087	-0.005	0.050	0.099	-0.046	0.212	-0.055	0.077	0.052	0.523	1.045
Ago	-0.005	0.004	-0.062	0.031	0.147	0.077	0.214	0.041	0.056	0.559	1.117
Set	0.108	0.007	0.067	0.120	0.017	0.148	0.066	0.122	0.082	0.818	1.636
Ott	0.026	0.043	0.020	0.045	-0.003	0.080	-0.024	0.010	0.025	0.246	0.493
Nov	0.073	0.042	0.042	0.059	0.256	0.109	0.123	0.089	0.099	0.991	1.981
Dic	-0.104	-0.068	-0.139	-0.060	0.004	-0.034	-0.010	-0.066	-0.060	-0.598	-1.195
<b>Media Annuale</b>	<b>0.012</b>	<b>0.022</b>	<b>-0.023</b>	<b>0.031</b>	<b>0.070</b>	<b>0.083</b>	<b>0.073</b>	<b>0.028</b>			

Tabella 6-2 Trend nelle temperature ottenuti con Mann Kendall

La differenza nel comportamento delle due sezioni evidenzia come l'effetto di decrescita dei deflussi osservato a Malè sia probabilmente influenzato da una decrescita nei deflussi provenienti dalla zona delle centrali idroelettriche. Il ritiro osservato in ghiacciai come il Careser ha probabilmente influenzato la disponibilità idrica di questa parte di bacino durante tutto il ciclo annuale. La conseguenza di questo è la progressiva diminuzione delle portate transitanti alla sezione di Malè.

Diversamente, il comportamento idrologico della Vermigliana rispecchia un andamento caratteristico delle temperature annuali che vedono inverni più rigidi ed estati più calde, con dirette conseguenze sui regimi di deflusso. Questa considerazione è avallata dai risultati sui trend di variazione della temperatura descritti in Tabella 6-2.

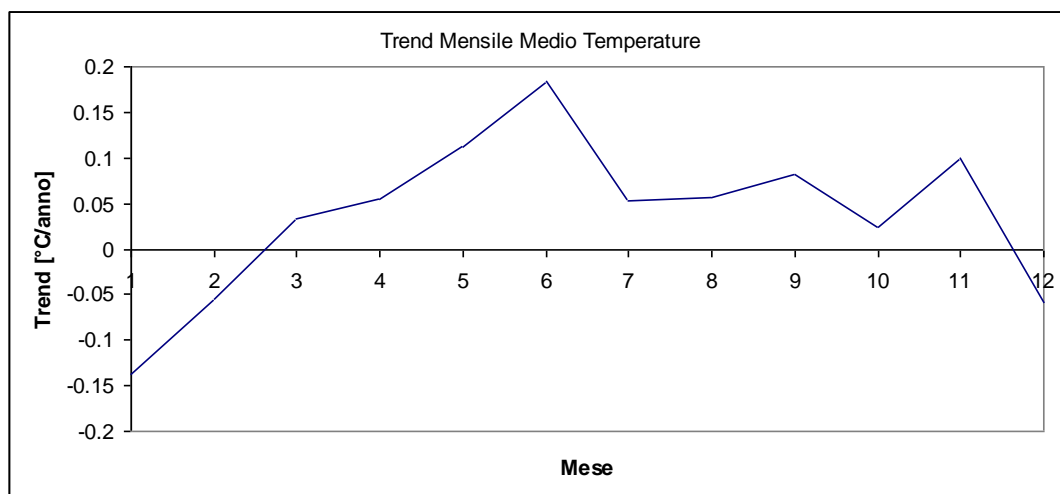


Figura 6-2 Andamento mensile dei trend di variazione medio delle temperature.

Come si può notare in Figura 6-2, le temperature mostrano una tendenza media a diminuire nella stagione invernale ed a crescere nelle altre stagioni.

Infine, in Tabella 6-3 sono riportati i risultati relativi ai trend nelle precipitazioni.

I trend evidenziati in Tabella 6-3 sono altalenanti e piuttosto contenuti, e data l'incertezza che caratterizza le misure di precipitazione più delle altre tipologie di dato analizzate, in prima approssimazione il contributo dovuto alla variazione delle precipitazioni può essere considerato trascurabile per le elaborazioni successive.

Oltre ai trend, nelle Tabella 6-1, Tabella 6-2, Tabella 6-3 sono riportate le loro proiezioni a 10 ed a 20 anni, le quali verranno utilizzate nella realizzazione degli scenari di variazione descritti nel capitolo 6.2.

### *Trasformate wavelets*

Come indicato in precedenza, nel momento in cui eventuali trend presenti nei dati non siano particolarmente marcati, questa tecnica, essendo per lo più visiva, può non evidenziarne la presenza. Questo è quanto si è purtroppo osservato per tutte le serie di dato analizzate in questo lavoro. Per nessuna di esse è stata riscontrata la presenza di caratteristiche peculiari attraverso l'analisi wavelets. L'unico carattere importante osservato è una marcata diminuzione della variabilità nel segnale di portata registrato a Malè.

In Figura 6-3 è riportata la scomposizione del segnale attraverso l'analisi Wavelets per il dato di portata rilevato alla sezione di Malè. In blu è riportato l'andamento del segnale di portata analizzato, in rosso sono riportate le scomposizioni (A1-A6) del segnale ottenute eliminando dal segnale di partenza di volta in volta le componenti più piccole rappresentate in verde (D1-D6). Per semplicità di esposizione in Figura 6-3 è riportata la scomposizione del segnale nelle sole 6 prime componenti. Nel CD allegato alla presente relazione sono riportati i risultati ottenuti per 9 componenti, ovvero fino all'estrapolazione della componente a scala annuale del segnale.

Mese	Trend delle precipitazioni [mm/anno]								Proiezione		
	P63	P64	P65	P68	P69	P74	P75	P167	Media mese	10anni	20anni
<b>Gen</b>	-0.026	-0.240	0.125	0.041	-1.649	0.099	-0.573	0.077	-1.072	-10.721	-21.443
<b>Feb</b>	0.362	-0.403	0.100	0.286	-0.113	0.435	-0.319	0.267	0.308	3.080	6.159
<b>Mar</b>	0.379	-0.211	0.014	0.320	0.584	0.541	0.071	0.970	1.334	13.338	26.675
<b>Apr</b>	0.083	-0.477	0.042	0.274	0.574	0.175	-0.197	0.872	0.673	6.730	13.460
<b>Mag</b>	-0.638	-0.184	-0.019	-0.369	-0.469	0.156	-0.543	-0.618	-1.342	-13.417	-26.834
<b>Giu</b>	-0.185	-0.958	-0.428	-0.019	0.517	-0.068	0.811	-0.622	-0.476	-4.756	-9.512
<b>Lug</b>	-0.351	-0.708	-0.163	0.601	0.325	0.863	-0.101	-0.370	0.047	0.472	0.944
<b>Ago</b>	-0.097	0.314	0.368	0.002	0.554	0.712	0.405	-0.205	1.026	10.262	20.524
<b>Set</b>	0.746	-0.331	0.013	0.812	-2.882	1.036	-1.574	-0.664	-1.422	-14.218	-28.436
<b>Ott</b>	-0.019	-0.077	-0.493	0.224	1.790	0.161	0.496	-0.493	0.795	7.946	15.893
<b>Nov</b>	0.790	0.654	1.262	0.910	4.011	0.711	3.778	0.312	6.214	62.137	124.27
<b>Dic</b>	0.684	-0.214	0.182	0.726	-0.142	1.073	-0.653	1.407	1.532	15.319	30.638
<b>Media Annuale</b>	<b>6.912</b>	<b>-11.34</b>	<b>4.009</b>	<b>15.24</b>	<b>12.41</b>	<b>23.58</b>	<b>6.404</b>	<b>3.734</b>			

Tabella 6-3 Trend nelle precipitazioni ottenuti con Mann Kendall

Come si può notare, le componenti piccole del segnale (D1-D6) mostrano una variabilità maggiore all'inizio della serie, che va scemando verso la fase conclusiva della serie di dati. Va sottolineato che la parte iniziale della serie è caratterizzata dall'anomalia già descritta nel Capitolo 2.1. Per quanto riguarda la ricerca di trend, a differenza del test di Mann Kendall, questa tecnica non ha fornito risultati evidenti.

In Figura 6-4 è riportata la scomposizione del segnale di portata rilevato a Vermiglio. In questo caso nessuna componente del segnale (D1-D6) mostra andamenti anomali, e tantomeno le scomposizioni depurate dalle componenti più piccole (A1-A6) mostrano tendenze a salire o a scendere (ovviamente il segnale è stato analizzato fino a componente A9).

Analogamente a quanto fatto per i segnali di portata, sono stati analizzati anche i segnali di precipitazione e di temperatura per le stazioni considerate in questo lavoro. Anche per questi segnali, l'utilizzo delle trasformate wavelets non ha prodotto risultati evidenti. In particolare non sono emerse evidenze di trend presenti nei segnali così come nessuna caratteristica di variazione della variabilità del segnale. Per brevità questi risultati non sono riportati in questo documento ma sono comunque accessibili in formato elettronico nel CD allegato.



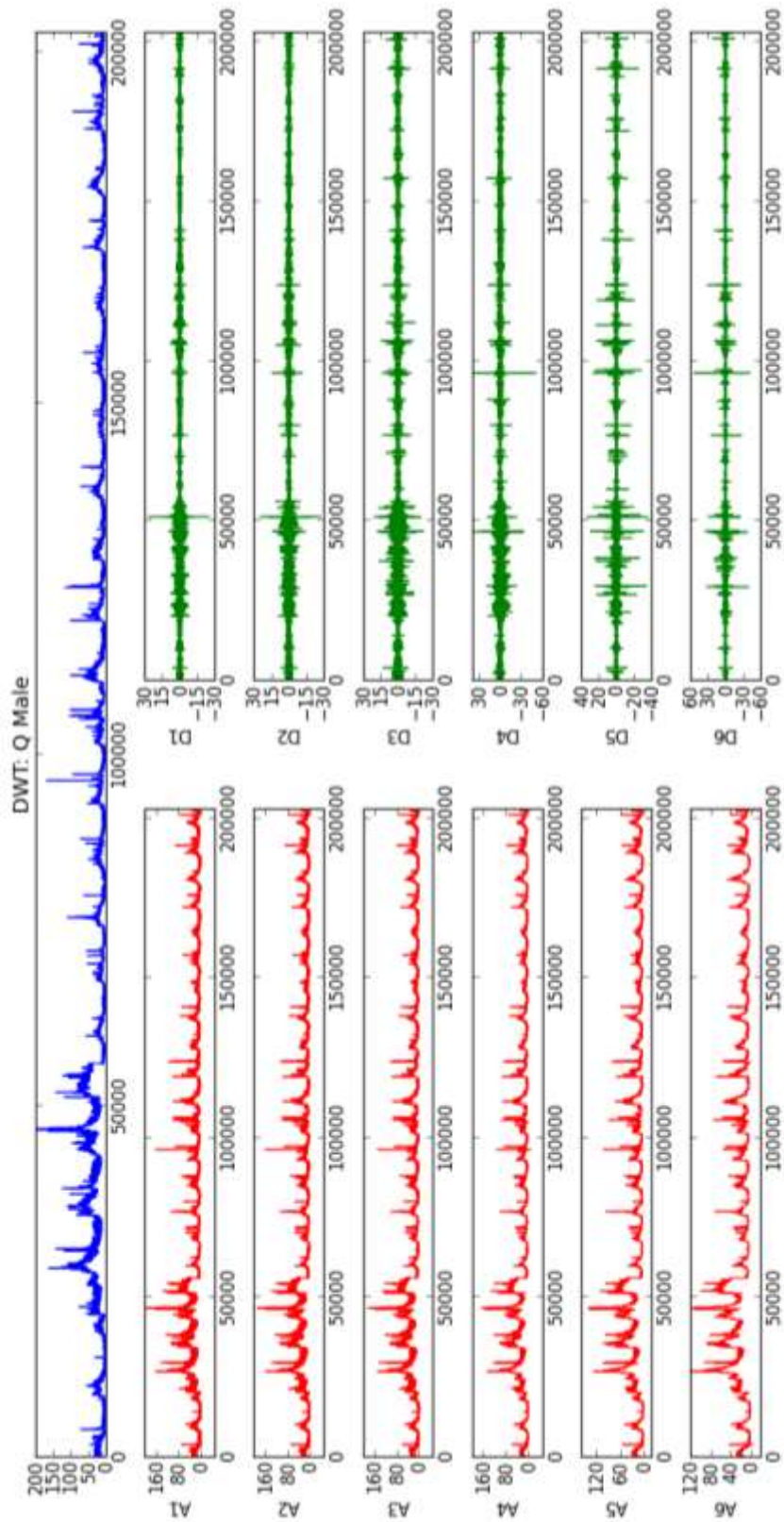


Figura 6-3 Analisi Wavelets del segnale di portata registrato alla stazione di Malè

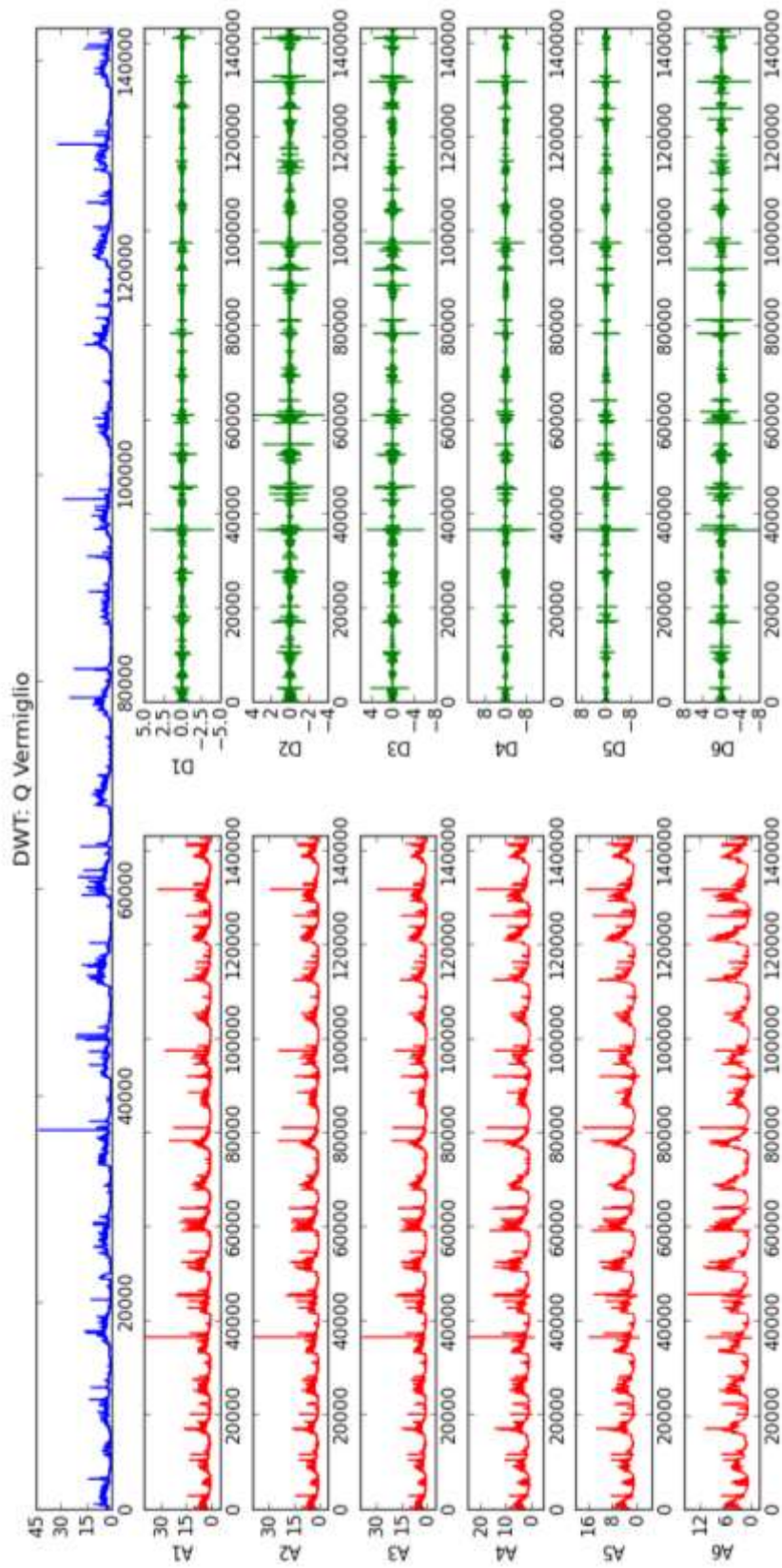


Figura 6-4 Analisi Wavelets del segnale di portata registrato alla stazione di Vermiglio.

## 6.2 Scenari di variazione sul breve periodo

In questo capitolo sono descritti i risultati ottenuti dall'applicazione dei trend osservati con il test di Mann Kendall (in quanto dall'analisi Wavelets non è emersa alcuna informazione significativa a riguardo) sul bilancio idrologico che caratterizza il bacino del Noce e dei suoi affluenti in Valle di Sole. Per fare questo ci si è avvalsi del modello GEOTRANSF (v. Capitolo 2.1), già utilizzato nell'esecuzione dei Bilanci Idrologici del Trentino da parte dell'Università di Trento per conto della PAT. In questo capitolo viene descritto il confronto tra le portate medie mensili ricostruite in alcune sezioni chiave lungo l'asta principale del Noce e del torrente Rabbies, in 4 scenari differenti:

1. lo stato reale attuale;
2. lo stato reale dove a tutte le piccole derivazioni presenti sul territorio viene imposto il rilascio del DMV come previsto nel PGUAP;
3. lo stato reale senza rilascio del DMV dalle piccole derivazioni ma con l'applicazione del trend a 10 anni nelle temperature;
4. lo stato reale senza rilascio del DMV dalle piccole derivazione ma con l'applicazione del trend a 20 anni nelle temperature.

Come accennato in precedenza, sono stati realizzati 4 scenari differenti al fine di verificare l'impatto di alcune variazioni nell'utilizzo delle risorse idriche nel bacino e della persistenza di alcuni trend di variazione, in particolare dei trend evidenziati dai dati di temperatura analizzati.

Gli scenari 3 e 4 sono stati ottenuti applicando mese per mese ai dati rilevati nelle stazioni termometriche il valore medio mensile del trend riportato in Tabella, proiettato rispettivamente a 10 ed a 20 anni. Le simulazioni hanno riguardato i 6 anni che vanno dal 2001 al 2006 per i quali erano disponibili tutti i dati necessari all'esecuzione del modello.

I risultati ottenuti sono stati rielaborati in maniera tale da ottenere un valore medio di portata per ogni mese dell'anno.

Le sezioni considerate per il confronto sono:

1. Sezione di Vermiglio
2. Sezione di Pellizzano
3. Sezione di Malè prima della confluenza del Rabbies
4. Sezione di Somrabbi
5. Sezione sul Rabbies prima della confluenza nel Noce
6. Sezione Noce prima della confluenza del Rio Barnés

Nell'ordine i risultati per queste sezioni sono riportati nelle Figura 6-5, Figura 6-6, Figura 6-7, Figura 6-8, Figura 6-9.

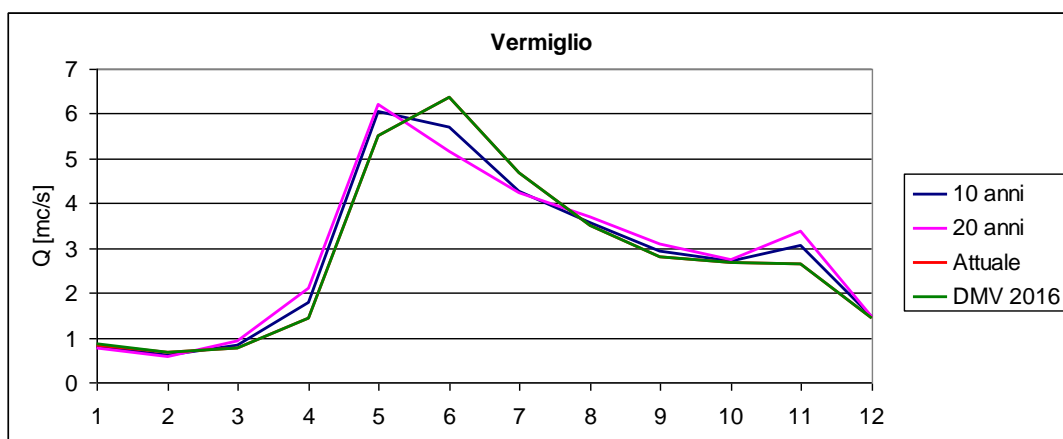


Figura 6-5 Confronto delle portate medie nei 4 scenari alla sezione di Vermiglio

Per quanto riguarda la sezione di Vermiglio, si nota come l'applicazione del DMV non comporti significative variazioni sui deflussi transitanti (le linee rossa e verde sono sovrapposte), segno questo che la maggior parte delle derivazioni presenti a monte di tale sezione re-immettono comunque l'acqua prelevata nel torrente Vermigliana, prima della sezione idrometrica.

Il risultato più importante evidenziato in Figura 6-5 è dovuto all'effetto della variazione nel regime delle temperature. Si osserva infatti un anticipo della fase di scioglimento primaverile seguita nel periodo autunnale da una riduzione dei processi di accumulo nivale, cui corrisponde quindi un incremento delle portate nel mese di novembre.

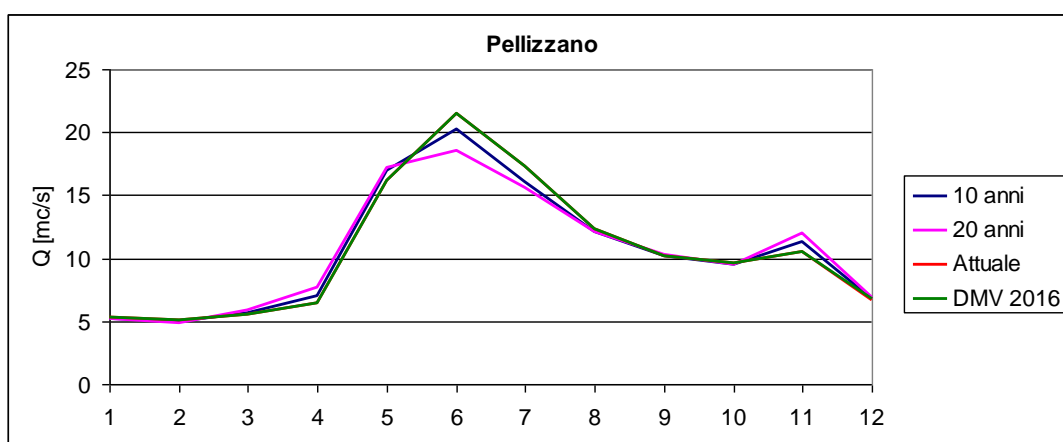


Figura 6-6 Confronto delle portate medie nei 4 scenari alla sezione di Pellizzano

Muovendosi verso valle, nelle sezioni di Pellizzano (Figura 6-6) ed a seguire di Malè (Figura 6-7), si osserva un effetto congiunto tra il comportamento evidenziato dalla Vermigliana e gli effetti dovuti agli invasi che influiscono sulla parte alta del bacino del Noce. In definitiva si osserva che l'effetto della Vermigliana va dissolvendosi verso valle, e risulta preponderante una riduzione dei deflussi medi nel periodo estivo probabilmente dovuta all'aumento dell'evapotraspirazione nelle zone a quote medio basse dovuto all'incremento significativo delle temperature dettato dal trend. Dalle simulazioni ci si aspetta un decremento delle portate medie nel mese di Giugno pari a circa  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  a 20 anni, mentre per il resto dell'anno non si osservano differenze consistenti.

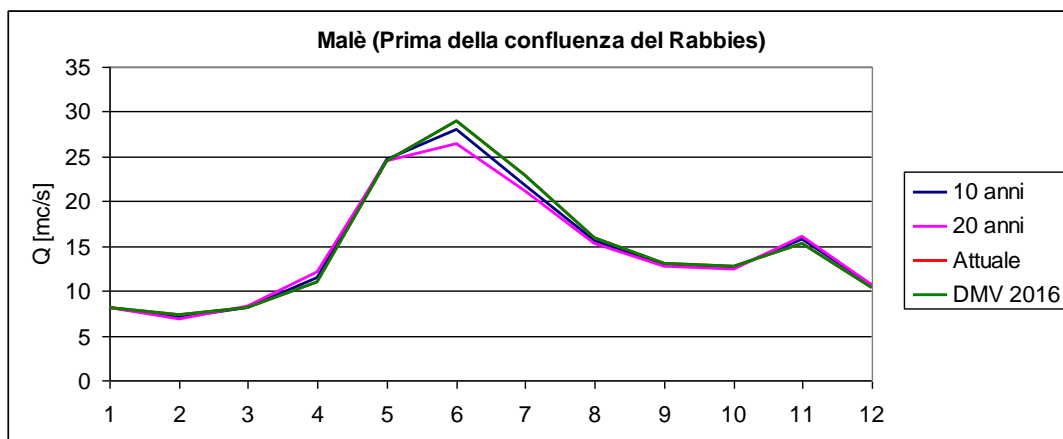


Figura 6-7 Confronto delle portate medie nei 4 scenari alla sezione di Malè

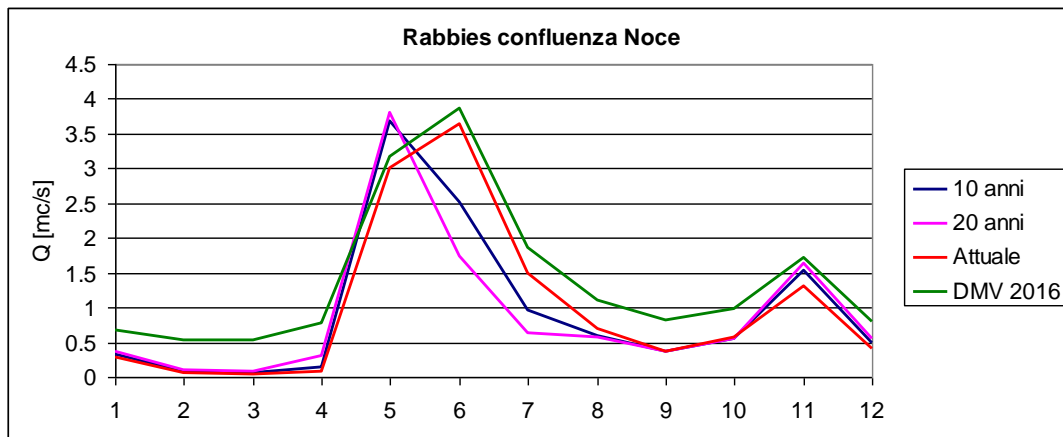
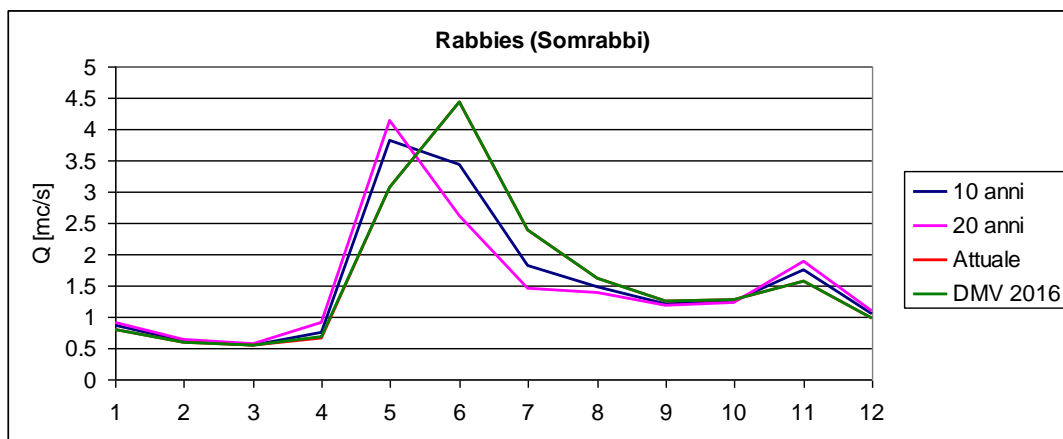


Figura 6-8 Confronto delle portate medie nei 4 scenari nelle sezioni lungo il Rabbies

Ma gli effetti più evidenti delle varianti introdotte negli scenari si osservano lungo il torrente Rabbies. In primo luogo, mentre nella parte del bacino idrografico del Rabbies non si osservano differenze tra lo scenario attuale e quello con l'applicazione del DMV, nella parte di valle si osserva un effetto benefico dei rilasci imposti, con un incremento delle disponibilità idriche piuttosto rilevante. Lungo il tratto di asta che

va dalla sezione di Somrabbi fino alla confluenza nel fiume Noce sono infatti presenti importanti attingimenti legati al comparto agricolo ed al settore idroelettrico, per cui l'imposizione di un rilascio determina un effetto benefico sulle disponibilità idriche in prossimità della chiusura del torrente Rabbies.

Anche in questa sezione, l'introduzione di un trend delle temperature mostra un effetto evidente nella fase di inizio scioglimento primaverile, con un anticipo del fenomeno ed un suo rapido dissolvimento.

Infine, l'ultima sezione analizzata è posizionata subito a monte della confluenza del torrente Barnes nel fiume Noce. Le informazioni in tale sezione rispecchiano il comportamento globale del bacino, risentendo direttamente sia delle variazioni previste nel tratto del Noce a monte di Malè che quelle previste per il bacino del torrente Rabbies.

Il risultato più evidente è una sostanziale omogeneità di comportamento negli scenari Attuale e con rilascio del DMV, mentre si nota una persistenza nella riduzione delle portate medie del mese di Giugno come peraltro evidenziato già dalla sezione di Malè.

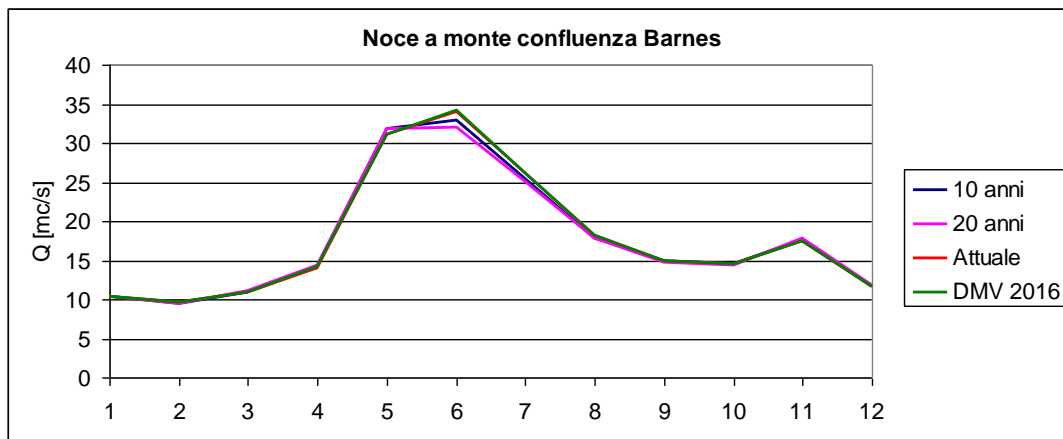


Figura 6-9 Confronto delle portate medie nei 4 scenari nella sezione più a valle considerata

### 6.3 Effetti di prelievi idrici in alveo su navigabilità e habitat per la fauna ittica

Sono stati analizzati gli effetti di due differenti prelievi idrici in alveo sull'idoneità del corso d'acqua alla navigazione e sulla qualità dell'habitat per la specie target trota marmorata. I dati dei prelievi analizzati sono basati su informazioni fornite dall'Ufficio Gestione Risorse Idriche della Provincia Autonoma di Trento in merito alle richieste di concessione a derivare insistenti sull'area prioritaria di studio (Figura 1-2b).

I casi analizzati simulano richieste di prelievo a scopo idroelettrico, attraverso impianti ad acqua fluente classificabili come "piccoli impianti idroelettrici" (potenza inferiore ai 3kW). Nella Tabella 6-4 sono riportate le caratteristiche principali dei prelievi simulati. La loro posizione geografica indicativa è riportata in Figura 6-10.

	Portata massima di concessione $Q_c$ (m <sup>3</sup> /s)	Rilascio in alveo secondo PGUAP $Q_{DM}$ (m <sup>3</sup> /s)	Distanza fra prelievo e restituzione (m)
Prelievo "P4"	4	2.25	1400
Prelievo "P7"	7	2.25	3200

Tabella 6-4 Caratteristiche salienti dei prelievi simulati



Figura 6-10 Individuazione delle sezioni di prelievo e di restituzione (freccie bianche) dei prelievi in alveo P4 e P7 di cui si sono simulati gli effetti sulla qualità dell'habitat per la specie target e sull'idoneità alla navigazione. Entrambi i tratti soggetti a prelievo (curve tratteggiate) sono collocati interamente nel Tratto 4 (Noce a valle della confluenza del T. Rabbies)

L'analisi dell'effetto dei due scenari di prelievo sulla qualità dell'habitat per la specie ittica target (trota marmorata: stadi vitali giovane e adulto) e sulla idoneità alla navigazione nel tratto soggetto a prelievo (compreso cioè fra il punto di prelievo e di restituzione) viene valutato utilizzando la metodologia descritta ai Capitoli 2.1, 2.3.1 e 2.7. Il parametro principale di confronto è la *percentuale di tempo mediamente idoneo* (PTMI) per ogni mese nel periodo di riferimento (2001-2006).

### Effetti del Prelievo P4

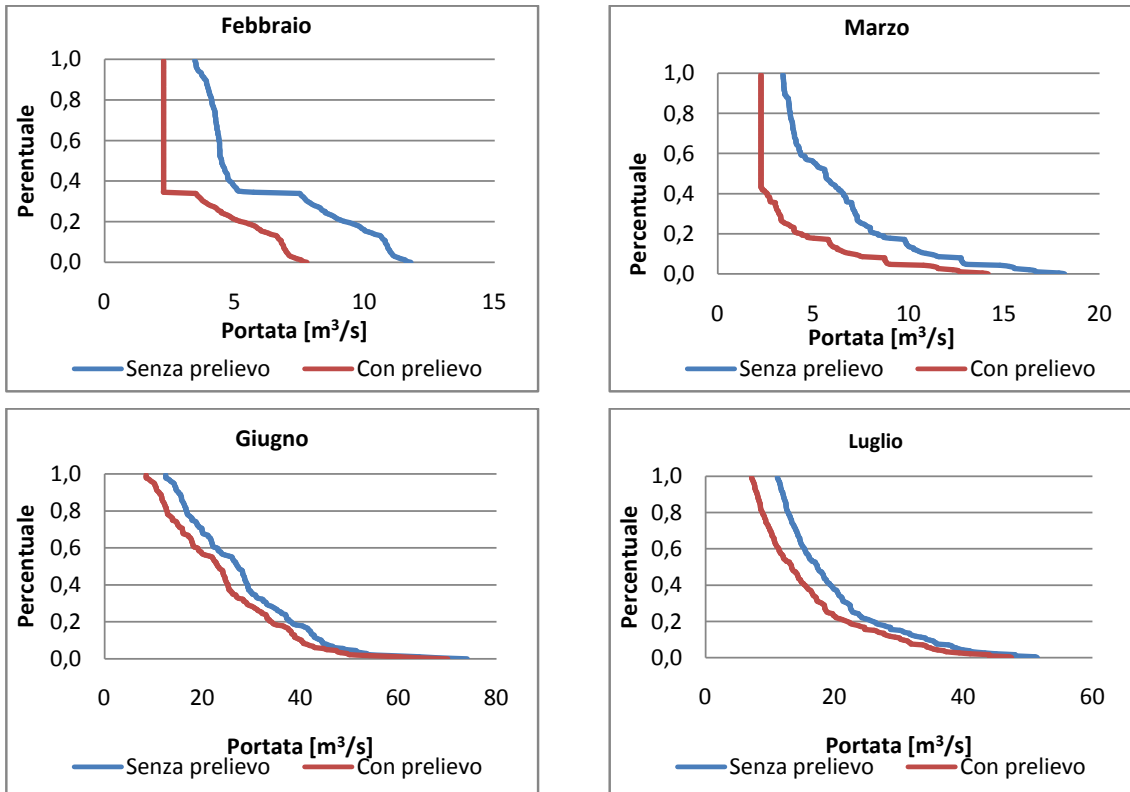


Figura 6-11 Variazione delle curve di durata per effetto del prelievo P4 in condizioni di "no hydropeaking"

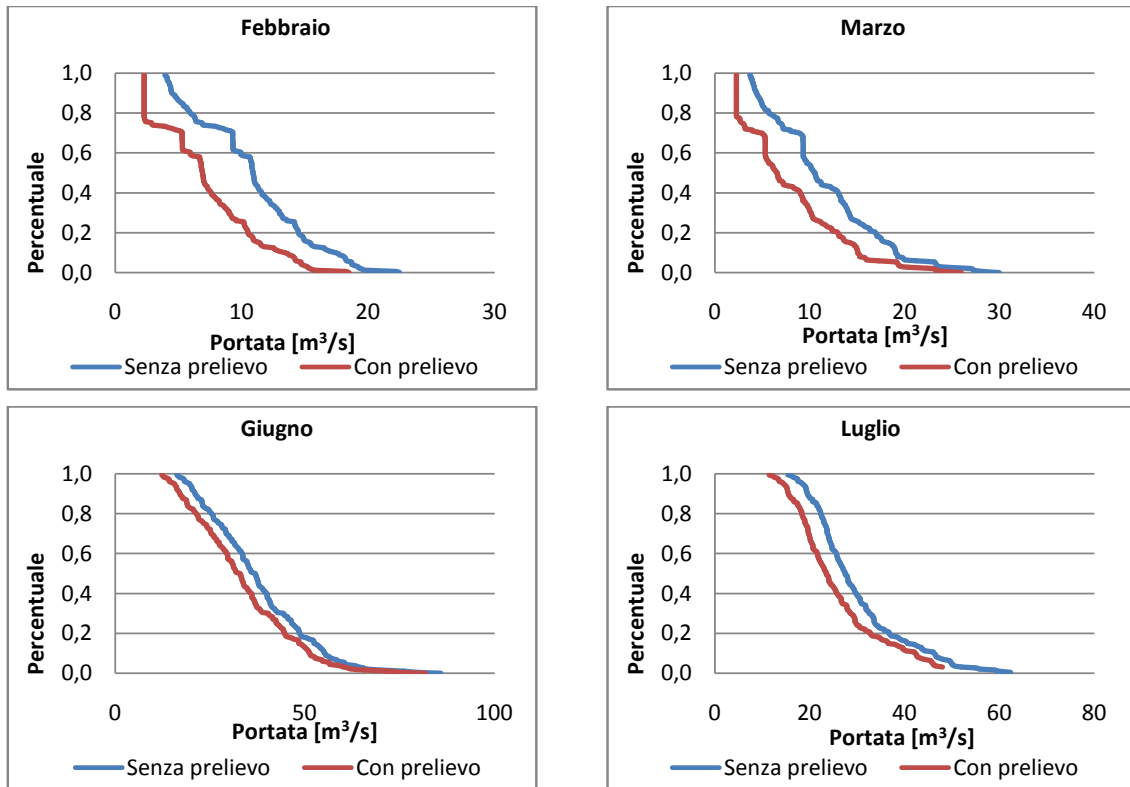


Figura 6-12 Variazione delle curve di durata per effetto del prelievo P4 in condizioni di "max hydropeaking"



In condizioni di portata di base (scenario *no hydropeaking*) nei mesi invernali e autunnali, caratterizzati da portate ridotte, il prelievo di  $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  si traduce in una netta modifica delle curve di durata, con presenza in alveo della portata residua minima per una consistente parte del mese (come evidenziato a titolo di esempio per febbraio e marzo in Figura 6-11). L'impatto è minore nei mesi estivi (esempi di giugno e luglio in) e quando in alveo defluiscono le portate di picco dei deflussi discontinui (scenario *max hydropeaking*).

Applicando la metodologia descritta nel Capitolo 2.3, è possibile analizzare la variazione dell'andamento annuale della percentuale di tempo in cui il tratto interessato dal prelievo è mediamente idoneo (PTMI) all'habitat della trota marmorata, stadi giovane e adulto, e alla navigabilità attraverso rafting.

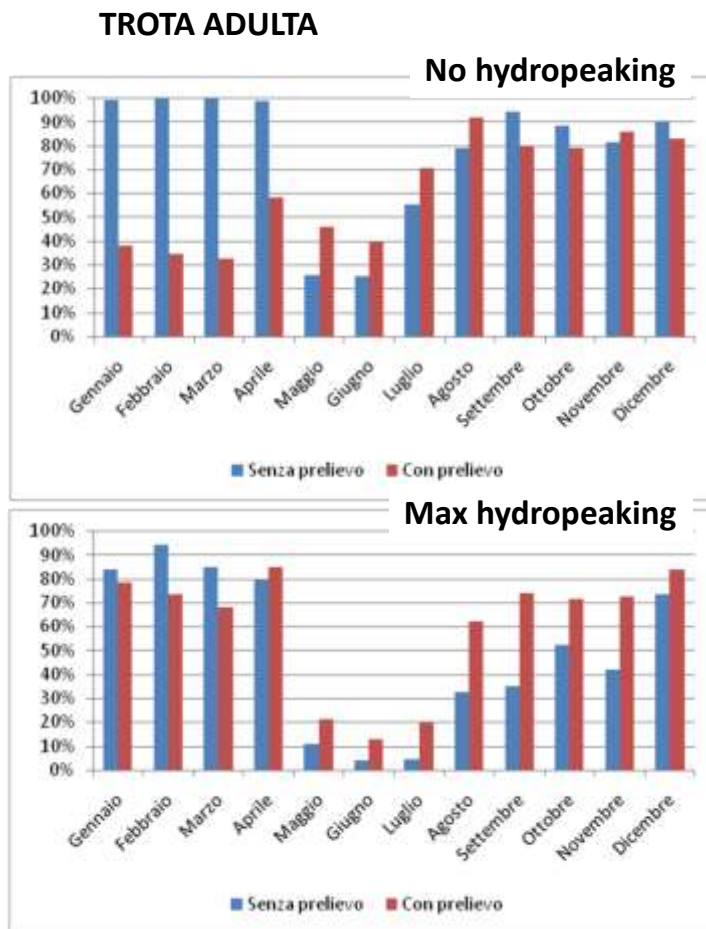


Figura 6-13 Effetti simulati del prelievo P4 sulla Percentuale di Tempo Mediamente Idoneo (PTMI) per la trota - stadio adulto - nel tratto soggetto al prelievo P4

Per la trota adulta (Figura 6-13) in condizioni di *no hydropeaking* il prelievo P4 dà luogo ad un abbassamento della PTMI per quasi tutti i mesi dell'anno. Tale abbassamento è considerevole (quasi del 70%) soprattutto nei primi quattro mesi dell'anno. Negli altri mesi si assiste a una variazione molto meno marcata. L'aumento del PTMI nei mesi estivi, per quanto percentualmente talvolta rilevante, non determina in ogni caso un deciso miglioramento delle condizioni di habitat, che resta in media scarsamente idoneo, per meno della metà del mese di riferimento. In condizioni di *max hydropeaking* l'impatto è meno netto, con riduzioni del valore della PTMI nei mesi invernali, meno pronunciate che nel caso precedente, e incrementi contenuti nei mesi estivi ed autunnali. Fra maggio e luglio la PTMI resta comunque al di sotto del 20%, con un aumento al 60% nel solo mese di agosto.

L'impatto sulla trota marmorata – stadio vitale giovane (Figura 6-14) è più contenuto. In entrambi gli scenari *no hydropeaking* e *max hydropeaking* l'idoneità dell'habitat del tratto non presenta significativi cambiamenti, a seguito di variazioni decisamente e moderatamente contenute della PTMI nei due casi, rispettivamente. In condizioni di *max hydropeaking* il tratto è in media scarsamente idoneo sia in assenza che in presenza del prelievo P4, nonostante questo determini un moderato incremento della PTMI.

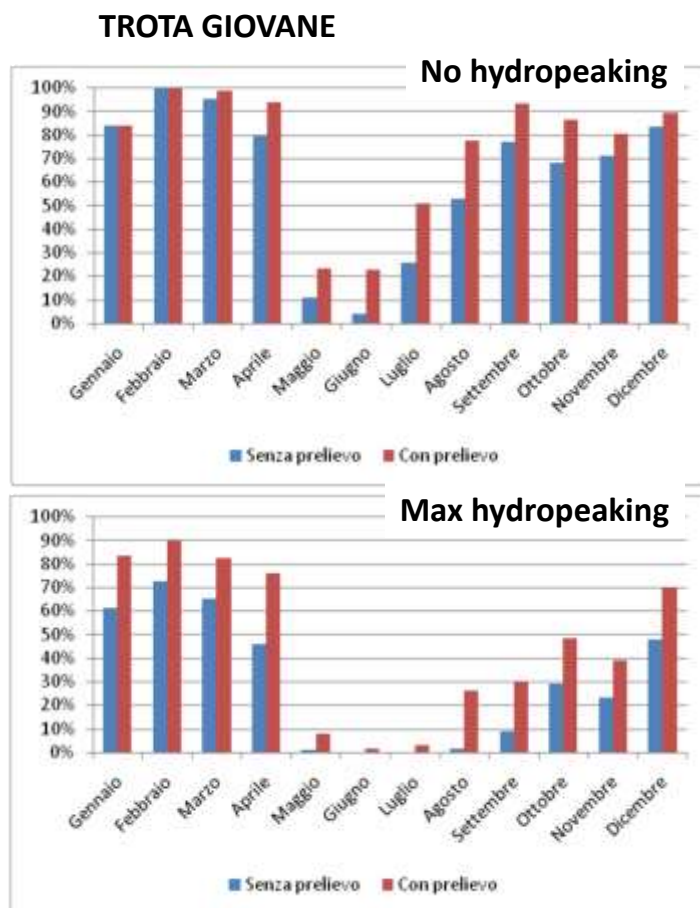


Figura 6-14 Effetti simulati del prelievo P4 sul tempo percentuale medio durante il quale l'habitat è idoneo per la trota - stadio giovane - nel tratto soggetto al prelievo P4

L'effetto del prelievo P4 sull'idoneità alla navigazione è sostanzialmente sempre negativo, a parte nei mesi di giugno e luglio in condizioni di *max hydropeaking*, che rappresentano la combinazione di mesi e scenari con maggiori disponibilità idriche in alveo. L'effetto è particolarmente forte nei mesi di agosto e settembre e nello scenario *no hydropeaking* dove il prelievo determina una riduzione della PTMI rispettivamente del 50% e dell'80% (Figura 6-15). In condizioni di *max hydropeaking* il prelievo influisce in maniera meno accentuata sulle condizioni di navigabilità, determinando diminuzioni della PTMI fino a un massimo del 20% nel mese di agosto.

## RAFTING

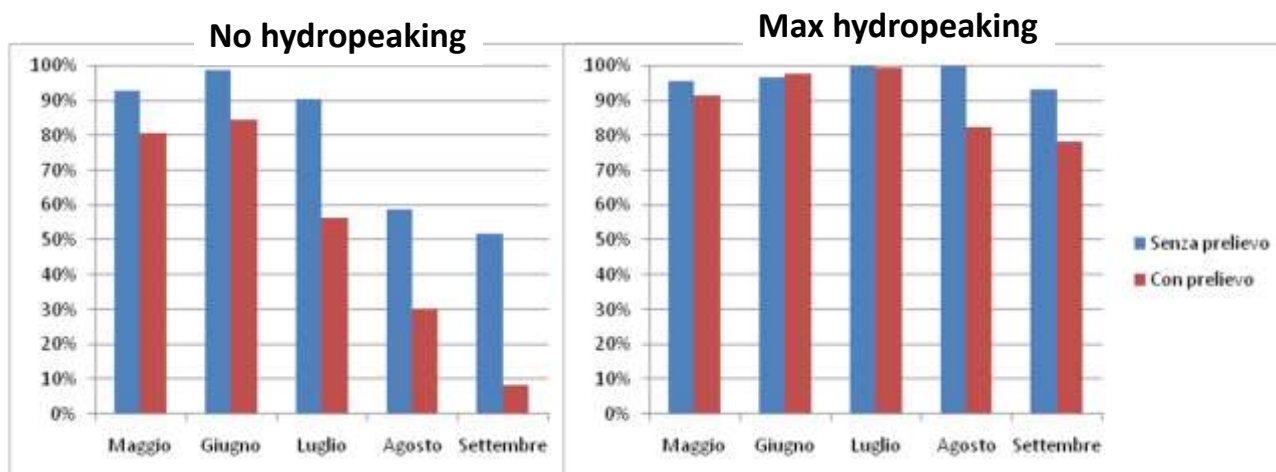


Figura 6-15 Effetti simulati del prelievo P4 sulla PTMI alla navigazione tramite rafting nel tratto soggetto a derivazione di portata

### Effetti del Prelievo P7

Il tratto soggetto al prelievo P7 comprende quello soggetto al prelievo P4 e si estende per una lunghezza circa doppia. Qualitativamente gli effetti di P7 sono analoghi, ma quantitativamente più accentuati. Nei mesi invernali e autunnali, caratterizzati da portate inferiori, si assiste a una netta modifica delle curve di durata corrispondenti alle portate di base (*no hydropeaking*): in particolare sia per febbraio che per marzo sono dominanti le condizioni in cui in alveo permane solo il DMV (Figura 6-16). Nei mesi estivi, caratterizzati da portate maggiori, invece la variazione delle curve di durata è più contenuta. Le modifiche associate allo scenario *max hydropeaking* sono meno marcate anche se comunque consistenti (Figura 6-17).

Nei mesi invernali (dicembre-aprile) si assiste a una marcata diminuzione delle percentuali di tempo medio di idoneità (PTMI) per la trota stadio adulto (Figura 6-18) sia in condizioni di *no hydropeaking* (variazioni fino al 90%) che di *max hydropeaking* (variazioni fra il 30% e il 40%). Questo comporta una drastica modifica dell'idoneità del tratto considerato per la specie target. Le variazioni associate al prelievo P7 negli altri mesi sono meno marcate, e comunque non in grado di apportare modifiche significative all'idoneità dell'habitat nei mesi estivi, durante i quali già allo stato attuale il tratto (così come l'intera area prioritaria di studio) non offre condizioni di habitat particolarmente vantaggiose.

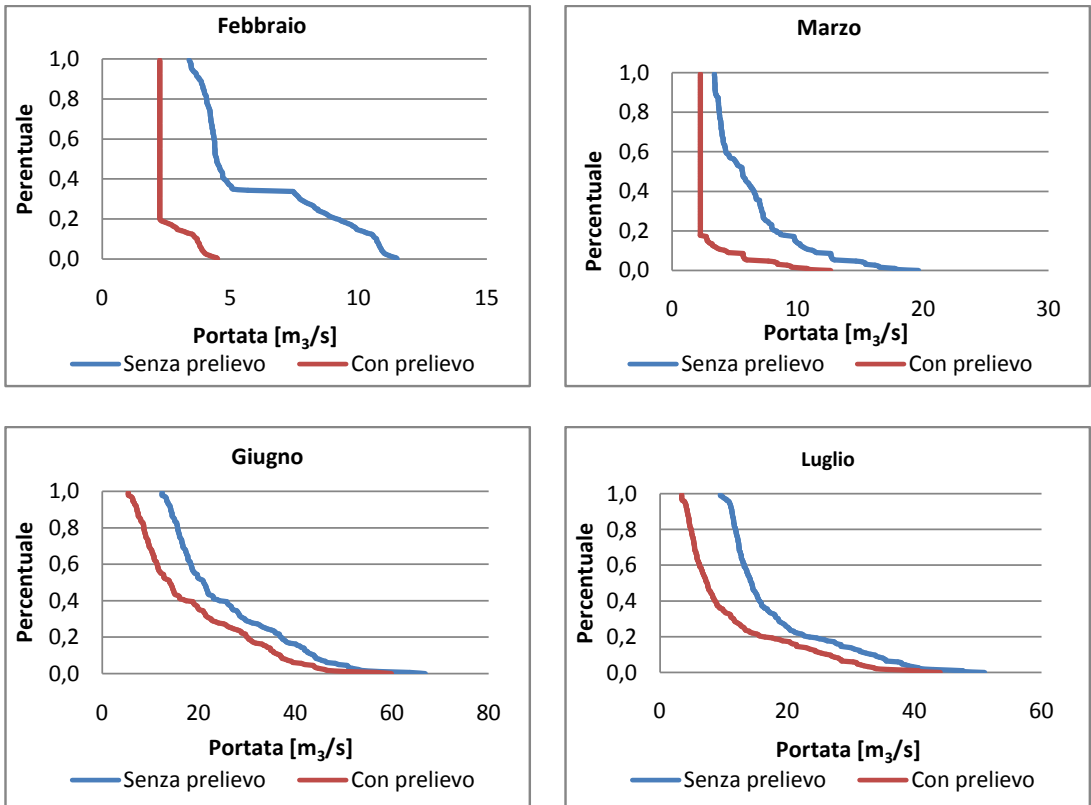


Figura 6-16 Variazione delle curve di durata per effetto del prelievo P7 in condizioni di "no hydropeaking"

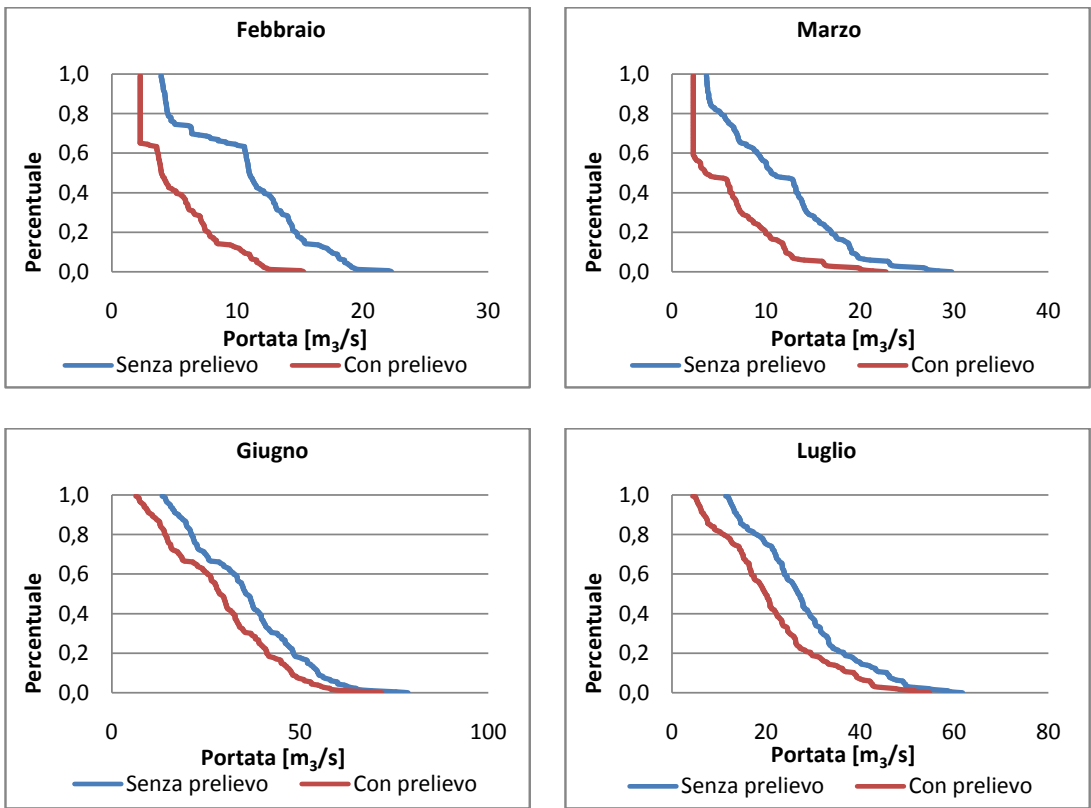


Figura 6-17 Variazione delle curve di durata per effetto del prelievo P7 in condizioni di "max hydropeaking"

## TROTA ADULTA

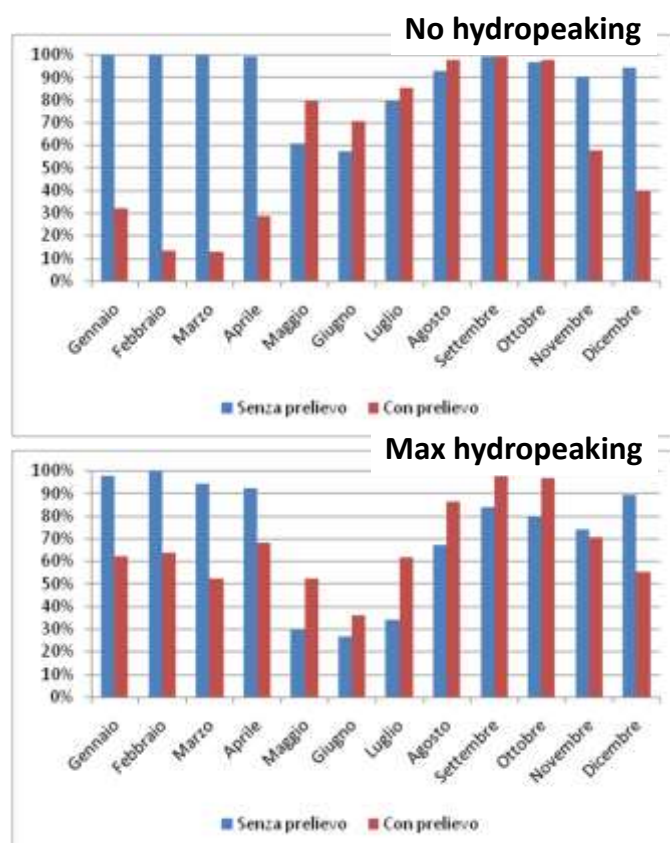


Figura 6-18 Effetti simulati del prelievo P7 sulla percentuale di tempo mediamente idoneo per l'habitat della trota marmorata, stadio adulto.

L'impatto sulla trota marmorata – stadio giovane è invece molto più attenuato in entrambi gli scenari (Figura 6-19), poiché lo stadio vitale giovanile ha preferenze di habitat orientate verso valori di velocità e profondità inferiori rispetto allo stadio adulto. Nello scenario *max hydropeaking* il modello prevede un leggero miglioramento delle condizioni di habitat (aumento della PTMI) nei mesi tardo estivi e autunnali (agosto – novembre).

Il prelievo P7 inoltre impatta nettamente sulla PTMI relativa al rafting nel lungo tratto interessato dalla derivazione. Infatti per tutti i mesi c'è una diminuzione delle percentuali. Essa è più marcata nei mesi di luglio, agosto e settembre.

In condizioni di *no hydropeaking* (portata di base) nei mesi di agosto e settembre il prelievo riduce drasticamente la probabilità di poter effettuare discese in rafting. Si tenga conto che la PTMI per il rafting è calcolata facendo riferimento a condizioni limite per la navigabilità: questo implica che quando l'idoneità è garantita, non è detto che si verifichino comunque condizioni ottimali. In condizioni di *max hydropeaking* il prelievo ha un effetto più contenuto ma è comunque in grado di ridurre significativamente la PTMI di circa il 20% (un giorno su 5) nei mesi di agosto e settembre.

## TROTA GIOVANE

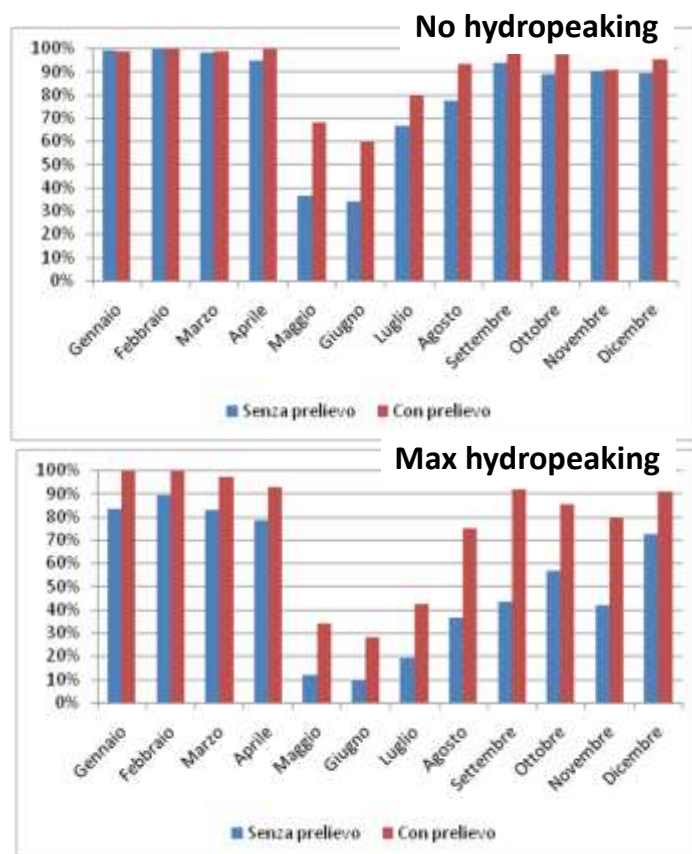


Figura 6-19 Effetti simulati del prelievo P7 sul tempo percentuale medio durante il quale l'habitat è idoneo per la trota - stadio giovane - nel tratto soggetto al prelievo P7

## RAFTING

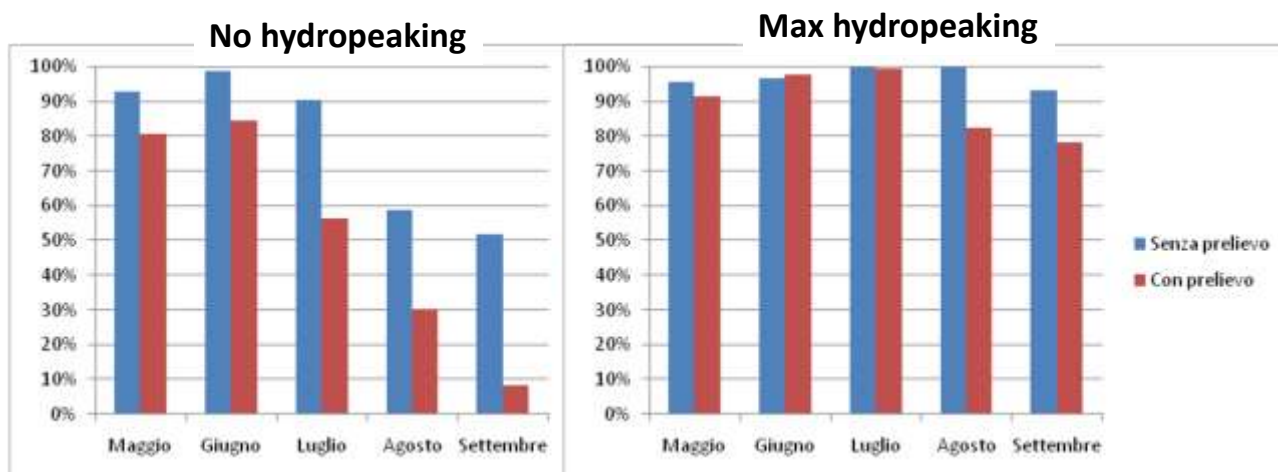


Figura 6-20 Effetti simulati del prelievo P7 sulla PTMI alla navigazione tramite rafting nel tratto soggetto a derivazione di portata

## 6.4 Effetto del mantenimento di condizioni di habitat e navigabilità sul potenziale di produzione idroelettrica ad acqua fluente

L'ultima analisi svolta è strettamente legata alla precedente e ha l'obiettivo di analizzare gli effetti del mantenimento di condizioni di idoneità alla navigabilità e all'habitat idraulico per la specie target sulla potenziale produzione idroelettrica attraverso centraline ad acqua fluente, secondo diversi scenari di gestione.

A questo fine sono stati quindi definiti quattro differenti scenari corrispondenti a quattro obiettivi:

- Garantire le condizioni minime di idoneità dell'habitat per la specie target (trota marmorata stadio adulto)
- Garantire le condizioni minime che consentano di svolgere attività di rafting sul tratto interessato dal prelievo limitatamente al periodo maggio – settembre
- Garantire condizioni che corrispondano sia alla possibilità di svolgere attività di rafting sul tratto interessato dal prelievo (periodo maggio – settembre) sia a un'idoneità di habitat accettabile per la specie target
- Garantire le condizioni ottimali per la discesa in rafting nel tratto interessato dal prelievo limitatamente al periodo maggio – settembre

Le simulazioni relative agli scenari P4 e P7 sono state quindi ripetute imponendo una portata di rilascio QDM nell'Equazione 2-1 corrispondente al limite definito per ciascuno degli obiettivi di gestione negli scenari a) b) c) d) e quindi differente da quella attualmente indicata come DMV medio dal PGUAP. Tali valori limite di portata sono ricavati attraverso le analisi descritte nei Capitoli 2.3.1, 4.1.1(habitat) e 5.1(navigabilità); un riepilogo di tali valori è riportato nella Tabella 7-1.

	No hydropeaking		Max hydropeaking	
	P4	P7	P4	P7
<b>Scenario di gestione</b>	Volumi turbinati (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /anno)	Volumi turbinati (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /anno)	Volumi turbinati (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /anno)	Volumi turbinati (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /anno)
<b>DMV attuale</b>	118 (100%)	183 (100%)	124 (100%)	206 (100%)
<b>a) Habitat trota</b>	112 (-4%)	173 (-5%)	123 (-1%)	201 (-3%)
<b>b) Min. Rafting</b>	99 (-16%)	140 (-23%)	122 (-2%)	191 (-7%)
<b>c) Minimo rafting + habitat trota</b>	94 (-20%)	129 (-29%)	121 (-3%)	186 (-10%)
<b>d) Ottim. rafting</b>	83 (-29%)	115 (-37%)	108 (-13%)	161 (-22%)

Tabella 6-5. Volumi medi annui prelevabili attraverso i prelievi P4 e P7 in condizioni di *no hydropeaking* e *max hydropeaking* a seguito dell'imposizione di diversi valori della portata minima di rilascio  $Q_{DM}$  corrispondente a differenti strategie di gestione del corso d'acqua. I valori percentuali fra parentesi nelle righe a), ... d) indicano le variazioni rispetto alle condizioni di riferimento in cui viene imposto il rilascio di una portata minima pari al DMV medio come definito dal PGUAP (prima riga di valori) per i quali è riportata la percentuale 100%.

Uno dei risultati di ogni simulazione è la serie temporale delle portate effettivamente prelevate  $Q_p(t)$  (Equazione 2-2), il cui integrale sul periodo di riferimento fornisce una stima dei volumi prelevabili in ciascun scenario a), ..., d). La Tabella 6-5 riporta i risultati dell'analisi in termini di volumi medi annui prelevabili attraverso i prelievi P4 e P7 in condizioni di *no hydropeaking* e *max hydropeaking* nello scenario descritto al Capitolo 6.3 (imposizione del DMV secondo PGUAP) e dei quattro scenari a), ..., d). Le

simulazioni sono state svolte in condizioni di *no hydropeaking* e di *max hydropeaking*; la situazione attesa in alveo, con l'oscillazione sub-giornaliera delle portate dovuta al fenomeno dei deflussi discontinui, è da ritenersi intermedia fra queste due condizioni.

La Tabella 6-5 mostra che quando in alveo defluiscono le portate di base (*no hydropeaking*) impone ai prelievi P4 e P7 un rilascio in alveo necessario a garantire le condizioni minime per la navigazione sportiva (scenari b) c) e d)) comporta una riduzione dei volumi prelevabili molto più marcata (dal 15 al 37%) rispetto a quella che si avrebbe imponendo il rilascio necessario a garantire le condizioni di idoneità dell'habitat per la trota marmorata (riduzioni fino al 5%). Quando in alveo defluiscono le portate di picco (*max hydropeaking*) tali percentuali sono più contenute (fino al 16% per la navigabilità e fino al 3% per l'habitat). La situazione reale è, come ricordato in precedenza, uno scenario intermedio fra *nohydropeaking* e *max hydropeaking*.

Si è infine esaminato se, almeno teoricamente, le disponibilità idriche attuali consentano di garantire contemporaneamente condizioni minime o ottimali di habitat, navigabilità e la possibilità di prelevare gli stessi volumi annui medi definiti dallo scenario "attuale", ovvero quello in cui il rilascio imposto corrisponde al DMV medio come riportato sul PGUAP. Questa analisi è stata fatta determinando, per ogni scenario, la portata massima di concessione  $Q_c$  (Equazione 2-1) che consenta il soddisfacimento dei tre requisiti. I risultati sono riportati in Tabella 6-6.

Tipo prelievo	No hydropeaking		Max hydropeaking	
	P4	P7	P4	P7
Scenario di gestione	Portata max concessione (m <sup>3</sup> /s)	Portata max concessione (m <sup>3</sup> /s)	Portata max concessione (m <sup>3</sup> /s)	Portata max concessione (m <sup>3</sup> /s)
Habitat trota	4.2	7.2	4.05	7.6
Min. Rafting	5	12.3	4.1	7.7
Min. rafting + trota	5.4	17.5	4.1	8
Ottim. rafting	6.4	impossibile	4.7	9.75

Tabella 6-6. Portata massima di concessione  $Q_c$  che consente teoricamente il soddisfacimento dei requisiti di habitat e navigabilità definiti dai quattro scenari a), ..., d) e avere gli stessi volumi turbinati

I risultati mostrano come, al fine di garantire i volumi prelevabili nello scenario attuale e contemporaneamente condizioni di ottimalità di navigazione e habitat, la portata massima di concessione  $Q_c$  debba essere notevolmente incrementata e come, in caso di prelievi molto elevati (quale P7), assuma valori anche maggiori dei massimi presenti delle serie di portata  $Q(t)$  in ingresso, quindi di fatto impossibili da realizzare. Incrementi più contenuti di  $Q_c$  si avrebbero solo volendo garantire l'idoneità dell'habitat.

La Tabella 6-7 riporta infine, accanto alla portata media giornaliera prelevata, il coefficiente di variazione  $C_v$  della serie temporale delle portate prelevate  $Q_p(t)$ . Il coefficiente di variazione è definito come rapporto fra la deviazione standard e la mediana della serie, ed è una misura del grado di variabilità temporale del prelievo, aspetto che può condizionare nella pratica il funzionamento di centraline ad acqua fluente, che tipicamente richiedono una certa regolarità del flusso in entrata. Valori crescenti del coefficiente di variazione  $C_v$  indicano una variabilità temporale crescente delle portate prelevabili nei differenti scenari. All'aumentare del rilascio in alveo (muovendosi cioè dallo scenario a) allo scenario d)), si ha una crescita della oscillazione temporale dei prelievi fino a circa quattro volte rispetto allo scenario attuale.



	No hydropeaking				Max hydropeaking			
Tipo prelievo	P4	P4	P7	P7	P4	P4	P7	P7
Scenario di gestione	media	C <sub>v</sub>	media	C <sub>v</sub>	media	C <sub>v</sub>	media	C <sub>v</sub>
Attuale	3.73	0.18	5.88	0.31	3.93	0.08	6.55	0.19
a) Habitat trota	3.71	0.28	5.82	0.42	3.93	0.13	6.54	0.25
b) Min. Rafting	3.73	0.48	5.80	0.73	3.96	0.14	6.55	0.32
c) Min. rafting + trota	3.72	0.55	5.81	0.91	3.91	0.17	6.55	0.37
d) Ottim. rafting	3.73	0.72	5.75	1.33	3.95	0.39	6.56	0.58

Tabella 6-7. Media giornaliera e coefficiente di variazione della serie temporale delle portate giornaliere prelevate  $Q_p(t)$ .

## 7 Indicazioni gestionali: verso il Parco Fluviale

Come indicato nel capitolo introduttivo, le indicazioni gestionali fornite a seguito del presente studio si focalizzano sui seguenti ambiti:

- 1) la gestione delle portate in alveo, tenendo conto della convivenza fra i fruitori e le relative esigenze, in particolare di possibili opzioni legate al futuro sfruttamento per scopi idroelettrici / irrigui dell'asta principale del Noce, tenuto conto anche delle disponibilità idriche previste;
- 2) le possibilità di riqualificazione ambientale attraverso interventi volti a favorire l'auto-ripristino di maggiore diversità morfologica a fini di miglioramento della qualità ecologica, idromorfologia e anche di una maggiore diversificazione dell'aumento di zone di calma per le attività ricreative
- 3) le possibilità di miglioramento dell'accessibilità del Noce per una sua maggiore valorizzazione;
- 4) altre considerazioni e possibilità di intervento nel bacino.

I primi tre ambiti sono relativi all'area prioritaria di studio (Figura 1-2 b), mentre il quarto è relativo a questioni più generali e riguarda anche porzioni di bacino ad essa esterne.

Si precisa che le indicazioni gestionali descritte in questo capitolo sono da intendersi come proposte basate sui risultati dello studio, che consentono nella maggior parte dei casi di quantificare i possibili effetti di diverse scelte gestionali sui principali servizi ecosistemici considerati (servizi ricreativi, servizi di supporto alla biodiversità, produzione idroelettrica), di analizzare scenari ottimali in caso di interessi conflittuali, e di ipotizzare una serie di azioni che possano incrementare il livello di alcuni servizi.

Non è compito di questo studio operare le scelte di gestione, che spettano agli enti locali competenti in un'ottica di un percorso di scelte condiviso con gli attori del territorio. Lo studio non può pertanto fornire elaborati progettuali di immediata realizzazione, che dovranno essere predisposti per realizzare gli interventi strutturali e le scelte gestionali che meglio valorizzano i beni e servizi forniti dal futuro Parco Fluviale.

I provvedimenti che verranno successivamente approvati dovranno anche tenere conto dei risultati finali degli studi relativi alla sicurezza idraulica della Valle di Sole, e in particolare quella associata all'asta principale del Noce nell'area prioritaria di studio. Il team di lavoro ha comunque mantenuto un coordinamento con il soggetto responsabile di tali studi, che sono in corso di svolgimento al momento della redazione della presente relazione tecnica.

### 7.1 Regolazione delle portate e convivenza fra i fruitori

Il presente studio ha consentito di quantificare le dipendenze dalla disponibilità idrica in alveo dei servizi ecosistemici offerti dal fiume Noce ritenuti prioritari dalla Comunità e dagli attori del territorio della Valle di Sole. Tali servizi sono in generale di natura ricreativa, produttiva e di supporto alla biodiversità, e in particolare sono stati descritti attraverso le condizioni di navigabilità sportiva, l'andamento temporale dei prelievi idrici e la qualità dell'habitat idraulico per una specie scelta come rappresentativa della fauna ittica dell'area prioritaria di studio (trota marmorata). È opportuno ricordare che la disponibilità idrica del Noce

in val di Sole è caratterizzata dalla presenza del fenomeno dei deflussi discontinui (o *hydropeaking*), che consiste in una sequenza ripetuta di rapidi aumenti e riduzioni della portata artificialmente provocati dalle restituzioni in alveo delle portate utilizzate dalle centrali idroelettriche per la produzione di energia.

Allo stato attuale (in riferimento al periodo 2001-2006 utilizzato per le simulazioni) il tratto di Noce esaminato offre un habitat mediamente idoneo alla trota marmorata, stadi adulto e giovane, nei mesi invernali e, in parte, autunnali, mentre nei mesi estivi la percentuale di tempo in cui l'habitat è accettabilmente idoneo è piuttosto ridotta, in particolare durante il deflusso delle portate di picco associate ai deflussi discontinui. Lo stesso tratto presenta inoltre condizioni mediamente favorevoli alla navigazione tramite rafting nei mesi tardo-primaverili ed estivi (da maggio a luglio), quasi indipendentemente dal deflusso di portate di base o di picco dovute all'*hydropeaking*. Nei mesi di agosto e settembre, allo stato attuale, invece la navigazione è possibile con continuità solo durante il deflusso in alveo delle portate di picco. Invece le probabilità che con portate di base dei deflussi discontinui si verifichino condizioni minimamente idonee alla navigazione in alveo sono assai basse, al di sotto del 50% in agosto e ancora inferiori in settembre.

Le caratteristiche idromorfologiche del Noce motivano l'interesse di numerosi soggetti a sfruttamenti aggiuntivi rispetto agli attuali. Il tratto compreso nell'area prioritaria di questo studio è infatti soggetto di numerose richieste di concessioni a prelevare per diversi scopi. Secondo i dati forniti dall'Ufficio Gestione Risorse Idriche della P.A.T., le richieste di derivazione numericamente e volumetricamente più consistenti sono quelle con finalità di realizzare piccoli impianti idroelettrici ad acqua fluente, che comportano dunque l'obbligo di un rilascio minimo in alveo nella sezione di prelievo e la restituzione della portata prelevata al corpo idrico alla fine del tratto di interesse.

La produzione di energia idroelettrica è anch'esso un servizio ecosistemico supportato dal corso d'acqua ed è dipendente dalle disponibilità idriche in alveo così come lo sono la capacità del fiume di dare supporto alla biodiversità e ad attività ricreative quali pesca sportiva e rafting, alcune delle quali hanno importanti ripercussioni economiche sullo sviluppo del territorio. Queste tre categorie di servizi sono evidentemente in competizione, poiché a ciascuno di essi è associata una diversa preferenza di disponibilità idrica in alveo. Il soddisfacimento delle richieste idriche associate a ciascun servizio pone un problema di competizione fra gli utilizzi, richiedendo quindi un processo di mediazione e scelte strategiche del territorio.

Il supporto scientifico offerto dal presente studio in merito a questa problematica si concretizza in due elementi principali.

- 1) Il primo è la possibilità di stimare quantitativamente il grado di cambiamento del livello di ciascuno dei servizi considerati in relazione a diversi scenari di gestione delle portate in alveo, fornendo così un quadro di supporto alle decisioni che interessano la convivenza fra i fruitori. Sono stati quantificati i limiti delle disponibilità idriche rilevanti per questa competizione fra usi della risorsa e i margini di coesistenza dei relativi servizi ecosistemici considerati prioritari. In particolare nel Capitolo 6 è stata svolta un'analisi dell'effetto di due diversi prelievi a fini idroelettrici sulle condizioni di navigabilità e sull'habitat idraulico per la specie target (trota marmorata: stadi adulto e giovane). I prelievi esaminati, con portate massime di concessione di 4 e 7 m<sup>3</sup>/s, sono rappresentativi delle richieste di concessione a derivare pervenute all'Ufficio Gestione Risorse Idriche della P.A.T.

L'analisi effettuata nei Capitoli 6.3, 6.4 mostra che gli effetti principali attesi da tali prelievi sono una considerevole riduzione dell'idoneità dell'habitat della specie ittica target nei mesi invernali e un notevole allontanamento dalle condizioni minime necessarie a garantire la navigabilità nei mesi tardo-estivi. Entrambi gli effetti sono particolarmente pronunciati in tutti i momenti della giornata in cui non defluiscono in alveo le portate di picco associate alla produzione delle grandi centrali idroelettriche (scenario denominato no hydropeaking). L'analisi delle tendenze future dei principali parametri idrologici (Capitoli 6.1 e 6.2) mostra inoltre che nei prossimi decenni è da attendersi un leggero calo della disponibilità dovuto ad un anticipo dei massimi primaverili associati allo scioglimento nivale e ad una loro leggera riduzione. È rilevante notare come in alcuni mesi dell'anno (in particolare fra maggio e luglio), su un orizzonte ventennale, tale riduzione è comparabile con le portate di concessione associate alle richieste di prelievo a fini idroelettrici attualmente pendenti sul tratto di studio.

In relazione a questo, sono da considerarsi anche i valori degli indici di qualità ecologica, chimico-fisica e morfologica descritti nei Capitoli 2.4 e 4.2: benché, per la definizione stessa degli indici, non sia possibile sviluppare previsioni quantitative di come tali indici possano cambiare in seguito a prelievi in alveo, i risultati presentati nel Capitolo 4.2 forniscono comunque un quadro di riferimento che può essere incorporato nelle decisioni. Il tratto di Noce su cui attualmente insiste la maggior parte delle richieste di concessione a prelevare è il tratto 4 (a valle della confluenza con il torrente Rabbies); lo stesso tratto è anche quello cui corrisponde la migliore combinazione degli indici di qualità ecologica ed idromorfologica (IBE, Macroper, IFF ed IQM), il che suggerisce comunque una certa cautela nell'introduzione di elementi di artificialità particolarmente in questo tratto.

Tratto considerato	Portate DMV PGUAP (m <sup>3</sup> /s)	Portate limite idoneità rafting (m <sup>3</sup> /s)			Portate limite habitat trota adulta (m <sup>3</sup> /s)	
	Valori invernali	Limite Inferiore	Ottimale	Limite Superiore	Limite inferiore	Limite superiore
1: Vermigliana-Mezzana	1.23	13.5	23	45	2.9	21.8
2: Mezzana-Meledrio	1.36	16.5	25	50	3.1	27.7
3: Meledrio-Rabies	1.65	15.5	25	50	3.9	32
4: Sotto confluenza Rabbies	2.28	17.25	23	65	3.7	27.5
Sottotratto prelievo P4	2.25	12	19	65	3.1	18.3
Sottotratto prelievo P7	2.25	12	20	65	3.3	22.8

Tabella 7-1 Valori limite di portata per i quattro tratti esaminati in relazione a diversi servizi ecosistemici e possibili scenari di gestione.

- Lo studio ha consentito di definire valori di portata necessari a garantire condizioni limite di habitat idoneo per la trota marmorata – stadio adulto e di navigabilità per i diversi tratti in cui è stata suddivisa l'area prioritaria di studio (Tabella 7-1). Tali valori derivano dall'analisi descritta ai Capitoli 2.3.1 e 5.1. Sono anche riportati, per confronto, i valori di portata corrispondenti ai valori attuali del DMV calcolati alle sezioni di chiusura di ogni tratto come definito dal PGUAP (riferiti ai mesi da novembre ad aprile) e i valori che consentono la navigazione in condizioni ottimali. I valori di portata ottenuti dipendono dalla morfologia del tratto cui si riferiscono e il loro calcolo può essere ripetuto per sotto-tratti di particolare interesse in situazioni specifiche, come è stato fatto a titolo

di esempio per i tratti interessati dai prelievi P4 e P7 oggetto di analisi nel Capitolo 6. In generale la Tabella 7-1 evidenzia come il mantenimento delle condizioni anche minime di navigabilità nei mesi estivi richieda portate di rilascio molto maggiori di quelle associate alle condizioni limite per l'idoneità dell'habitat per la fauna ittica, che a loro volta sono invece di poco superiori ai valori del DMV riportato dal PGUAP per i mesi invernali.

Rispetto allo stato attuale dunque, la realizzazione di nuovi prelievi in alveo con portate massime di concessione di alcuni  $m^3/s$  e vincoli di rilascio pari al DMV come attualmente riportato sul PGUAP ha effetti che possono seriamente compromettere la navigabilità soprattutto nei mesi tardo estivi e l'idoneità dell'habitat fluviale per la trota marmorata soprattutto nei mesi invernali. Tali effetti si risentono in particolare in quelle ore del giorno in cui sono presenti in alveo, nel tratto interessato dal prelievo, le portate di base dell'*hydropeaking*, ovvero in media i valori minimi all'interno della giornata.

La possibilità di produrre energia idroelettrica non è comunque da escludersi in senso assoluto, nei limiti di compatibilità con gli altri servizi ecosistemici (ricreativi, biodiversità) ritenuti prioritari. Il progetto di istituzione di un Parco Fluviale può infatti offrire l'opportunità di applicare vincoli di rilascio in alveo calcolati per soddisfare specifici obiettivi strategici del territorio, utilizzando cioè criteri per il rilascio delle portate residue quali il mantenimento di condizioni minime o ottimali di navigabilità e habitat, anziché legati a un contributo di deflusso per unità di area del bacino.

Qualora le scelte degli enti competenti fossero dunque indirizzate a valorizzare, almeno in parte, il potenziale di produzione idroelettrica del fiume Noce in Val di Sole tramite piccole centrali idroelettriche ad acqua fluente, si possono vagliare delle possibilità alternative a quelle più tradizionalmente in uso, in grado di contemplare cioè una definizione dei limiti di rilascio variabile nel tempo e centrate su specifici obiettivi gestionali. A puro titolo di esempio, da intendersi come punto di partenza per la ricerca di soluzioni che rendano compatibili i servizi ecosistemici di natura produttiva, ricreativa e di supporto alla biodiversità, si può formulare un'ipotesi relativa a prelievi con portate massime di concessione di alcuni  $m^3/s$  (metri cubi al secondo)

- (1) nei mesi fra maggio e ottobre consentire il prelievo solo negli orari in cui normalmente non si svolgono le attività di navigazione sportiva nel fiume, indicativamente quindi dalle 18 della sera fino alle 8 della mattina successiva, e imporre nella stessa fascia oraria un rilascio in alveo pari al limite inferiore per l'accettabilità dell'habitat della trota. Questo consentirebbe di mantenere inalterate le probabilità attuali di poter usufruire dei servizi ricreativi di navigabilità sportiva; inoltre i prelievi durante le ore notturne non comporterebbero particolari conseguenze peggiorative sull'habitat della fauna ittica rispetto alle condizioni attuali;
- (2) nei mesi fra novembre ed aprile subordinare il prelievo ad un rilascio in alveo corrispondente alla portata limite inferiore per l'idoneità dell'habitat idraulico, limitando così al massimo gli effetti peggiorativi che emergono dagli scenari analizzati nei mesi invernali in condizioni di portata corrispondente alla portata di base dei deflussi discontinui ("*no hydropeaking*").

In relazione alla convivenza fra i fruitori un altro ambito rilevante è relativo al rapporto fra la gestione delle grandi centrali idroelettriche e le richieste idriche a valle per usi ricreativi e per il supporto alla biodiversità. Su questo aspetto lo studio consente di fare le seguenti considerazioni.

Il principale fattore di rilievo in questo senso per la Val di Sole, così come per la maggior parte dei corsi d'acqua interessati da produzione idroelettrica in Italia, Europa e Nord America, è il fenomeno dei deflussi discontinui (*hydropeaking*), associato alla natura stessa della produzione idroelettrica. L'analisi svolta evidenzia una opposta valenza dell'*hydropeaking* nei confronti della navigabilità e dell'integrità ecologica del corso d'acqua. Da un lato, come rilevato anche da numerosi studi condotti su corsi d'acqua soggetti ad *hydropeaking* nelle Alpi e in altre regioni montuose in Europa e Nord America, l'*hydropeaking* ha una serie di effetti negativi sull'ecosistema fluviale: lo studio mostra che nel caso del Noce in Val di Sole ne risentono fauna ittica, bentonica e iporreica. D'altro canto, sempre nel caso del Noce in Val di Sole, le portate di picco associate all'*hydropeaking* sono invece cruciali per garantire la navigabilità soprattutto nei mesi tardo estivi (in particolare agosto e settembre).

Da un punto di vista ambientale, i risultati dell'analisi delle serie storiche di habitat ricavate alla meso-scala (Capitoli 2.3.2 e 4.1.2), indicano come gli effetti dell'*hydropeaking* sull'habitat della fauna ittica, benché presenti, non siano da considerarsi altrettanto severi come in altri tratti di corsi d'acqua dell'arco Alpino. In particolare, il confronto tra ipotetici scenari di rilascio per il fiume Noce, calibrati sui dati disponibili per il periodo 2001-2006, suggerisce che una riduzione compresa tra il 10% e il 30% dell'intensità dell'*hydropeaking* nel tratto 2 (fra Mezzana e la confluenza con il torrente Meledrio) aiuterebbe lo sviluppo e l'accrescimento gli stadi giovanili della trota marmorata durante il periodo invernale. È noto come nella maggior parte dei casi tali riduzioni possano risultare fattibili, quando ritenute di interesse prioritario, soprattutto attraverso misure di gestione della morfologia fluviale a valle delle restituzioni (si veda anche il capitolo successivo) invece che attraverso misure che modifichino il regime di operazione delle centrali interessate, che risultano eccessivamente onerose per i soggetti gestori. A questo proposito è importante rimarcare come il tratto di Noce attualmente più soggetto agli effetti di *hydropeaking* è il tratto compreso fra la restituzione della Centrale di Cogolo-Pont e la confluenza con la Vermigliana. Questo tratto, esterno all'area prioritaria di studio, dovrebbe essere in futuro meno soggetto agli effetti dell'*hydropeaking* a causa della prevista realizzazione di centraline idroelettriche ad acqua fluente con prelievo diretto dal canale di restituzione della Centrale di Cogolo-Pont. Questo sposterebbe di fatto la sezione di monte in cui si origina il deflusso discontinuo sul Noce presso la confluenza con la Vermigliana, dove l'intensità dell' *hydropeaking*, misurata attraverso la differenza relativa fra portata di picco e portata di base, risulterebbe di conseguenza molto più contenuto grazie a una portata di base molto più elevata e variabile nel tempo dovuta agli apporti della stessa Vermigliana. Tale intervento, oltre a valorizzare il potenziale di produzione idroelettrica di un tratto del Noce, stando alle conoscenze degli autori, costituirebbe anche uno dei primi esempi a livello nazionale di approccio di mitigazione dell'intensità dell'*hydropeaking*, agendo sulla maggiorazione della portata di base del corpo idrico ricettore. Per tale carattere innovativo, e anche per l'attuale limite delle conoscenze che consentano di predire quantitativamente la risposta dell'ecosistema, è raccomandabile che l'evoluzione ecologica del tratto in esame sia seguita da un attento programma di monitoraggio atto a quantificarne la risposta.

Non essendo comunque ipotizzabile, e probabilmente nemmeno desiderabile, un ritorno a condizioni di regime "naturale", ovvero senza modifiche antropiche, che sono presenti nell'arco alpino da numerosi decenni (e, secondo alcuni autori, anche da secoli) il fenomeno dei deflussi discontinui è una "condizione al contorno" della cui esistenza va preso atto nella gestione della risorsa idrica nel Noce, al fine di potenziarne gli effetti positivi e di mitigarne gli effetti avversi sui servizi ecosistemici di interesse prioritario qualora possibile. In questo senso, il rapporto con l'ente responsabile della gestione della centrale di Cogolo-Pont

(attualmente HDE) è da ritenersi un elemento di prioritaria rilevanza. La disponibilità al dialogo emersa in tal senso nell'ambito dello Studio Socio-Economico è un importante punto di partenza in questa direzione.

A partire dalle osservazioni effettuate sul campo, dai risultati dello studio svolto, dalle considerazioni emerse in occasione di incontri pubblici e con i singoli stakeholder e dal confronto con altre situazioni a livello nazionale e internazionale, gli autori dello studio ritengono comunque auspicabile che – qualora gli enti responsabili ritengano strategico valorizzare ulteriormente le sopracitate potenzialità di produzione idroelettrica – i benefici e gli oneri derivanti da questi interventi, comunque limitati in numero, stagionalità di prelievo e portate di rilascio e concessione in funzione degli obiettivi di navigabilità e biodiversità, ricadano il più possibile sugli enti del territorio locale e possano essere condivisi nel modo più equilibrato possibile all'interno della Comunità di Valle e dei comuni che la costituiscono, integrandosi così armonicamente con le necessità di valorizzazione degli usi ambientali e ricreativi altrettanto prioritari in ottica di sviluppo sostenibile del territorio.

## 7.2 Riqualficazione idromorfologica

La seconda categoria di indicazioni gestionali è relativa alle possibilità di riqualficazione fluviale attraverso interventi su tratti di estensione limitata volti a favorire l'auto-ripristino di maggiore diversità morfologica. Questa può a sua volta migliorare localmente la qualità ambientale e aumentare la disponibilità delle zone di calma per attività ricreative. Tali interventi spesso consistono nella realizzazione di allargamenti locali dell'alveo tramite allontanamento degli argini, lasciando così maggiore spazio al fiume per la propria evoluzione morfologica.

Per il Noce, in particolare, l'analisi degli indici di funzionalità fluviale e di qualità idromorfologica (capitolo 4.2) evidenziano una marcata artificializzazione delle rive e delle fasce riparie, suggerendo l'opportunità di una loro riqualficazione ove possibile in considerazione delle ragioni di sicurezza idraulica. I pochi tratti del Noce che ancora mostrano una certa diversità morfologica (si veda ad esempio la Figura 7-3B) rivelano elementi di pregio dal punto di vista ambientale: grazie al locale rallentamento della corrente e alla conseguente creazione di una maggiore varietà di *habitat* fluviali, queste aree sono per esempio le più idonee alla deposizione delle uova da parte delle specie ittiche, come emerso dalle osservazioni sul campo. Interventi volti ad incrementare la diversità morfologica favoriscono infatti lo sviluppo di una adeguata fascia di vegetazione riparia arborea e il ripristino della continuità laterale, elemento particolarmente critico per il tratto di Noce in area prioritaria. Il molteplice ruolo della fascia riparia nella funzionalità ecologica di un corso d'acqua è ampiamente riconosciuto in letteratura. Le fasce riparia funzionano da filtro tra i carichi di nutrienti provenienti dal territorio, in particolare nelle zone agricole. Anche una fascia arborea riparia larga pochi metri è in grado di ridurre in modo significativo il carico di azoto attraverso processi di denitrificazione o bio-accumulo. Gli ambienti ripari vegetati svolgono un ruolo di corridoi ecologici per fauna vertebrata e invertebrata, e l'estensione degli ecotoni ripari è correlata all'abbondanza e diversità della fauna ornitica. Altra importante funzione è di ombreggiare il corso d'acqua in estate e fornire foglie in autunno, base alimentare per la fauna bentonica e quindi per l'ittiofauna. Inoltre le radici esposte in alveo degli alberi tipici della fascia riparia (ontani, salici) rappresentano un *habitat* molto

importante per gli avannotti, che qui trovano protezione dai predatori, acque più lente e abbondanza di macroinvertebrati come fonte trofica.

L'analisi della morfo-dinamica fluviale (capitolo 4.3) ha indicato che il Noce presentava nel passato una morfologia transizionale fra alveo sinuoso – debolmente meandriforme e intrecciato, sviluppando isole, canali secondari, variazioni spaziali della larghezza dell'alveo nei tratti non confinati dai versanti della valle. Tali caratteristiche sono associabili alla presenza di una significativa fascia riparia vegetata e di dinamicità morfologica, ovvero di una capacità di modificare il proprio assetto planimetrico durante gli eventi di piena, pur preservando la stessa morfologia complessiva. L'applicazione di due diversi modelli di previsione (razionale ed empirico) del pattern morfologico confermano che il Noce è potenzialmente in grado di sviluppare la stessa tipologia morfologica osservata nel passato, laddove non costretto da opere di difesa spondale e arginature. In altre parole il Noce è potenzialmente in grado di reagire a interventi di riqualificazione incrementando localmente la diversità morfologica attuale, mantenendo isole e canali secondari, con atteso miglioramento della continuità laterale e della fascia di vegetazione riparia arborea.

Tale tendenza naturale, tuttavia, potrebbe essere in parte inibita da processi recenti di incisione dell'alveo e di riduzione della mobilità del materiale di fondo dei quali sono stati rilevati alcuni segnali descritti nel capitolo 4.3. Il fenomeno di incisione tende infatti a limitare la mobilità laterale, che diventa possibile con portate a tempi di ritorno maggiori rispetto al passato. È emerso inoltre come il corso d'acqua sia in grado di mobilitare il materiale sul fondo su scale temporali più lunghe rispetto a quelle attese in condizioni "naturali" (ovvero più raramente). Benché queste indicazioni scaturiscano da analisi preliminari, scelte anche in base alla compatibilità con i dati morfologici e del sedimento disponibili, il quadro complessivo che ne emerge è coerente con la tipologia di regolazione delle portate solide e liquide presente attualmente nel bacino del Noce in Val di Sole. In particolare la presenza di numerose opere di alterazione della continuità longitudinale (sbarramenti, briglie, dighe) nelle parti alte del bacino comportano una riduzione dell'alimentazione solida all'alveo, che è normalmente causa di fenomeni di incisione. Inoltre il continuo ripetersi del fenomeno di deflussi discontinui (hydropeaking) è ritenuto una possibile causa dei fenomeni di *corazzamento* del fondo spesso riscontrati in corsi d'acqua situati a valle di dighe. Il fenomeno del corazzamento determina infatti una progressiva riduzione della mobilità del letto del corso d'acqua attraverso una progressiva riduzione del materiale di dimensioni sufficientemente ridotte, tali cioè da essere trasportato durante gli eventi di morbida e piena.

All'interno di questo quadro generale, l'analisi dell'evoluzione morfologica recente, unita allo studio dell'uso del suolo nell'area prioritaria di studio, ha consentito di individuare due siti principali su cui focalizzare l'attenzione per l'eventuale realizzazione di interventi di riqualificazione morfologica consistenti in locali allargamenti dell'alveo attivo, qualora ritenuti strategici nell'ambito della realizzazione del Parco Fluviale. I due siti sono situati:

- (1) in prossimità del SIC (Sito di Interesse Comunitario) "Ontaneta di Croviana" (Figura 7-1) e
- (2) immediatamente a valle della confluenza fra il Noce e il Rabbies (Figura 7-2).



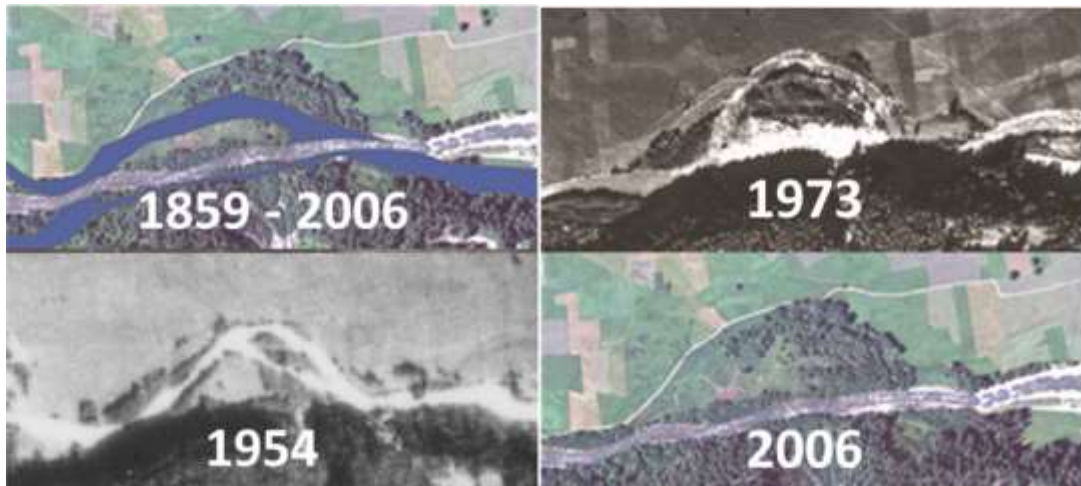


Figura 7-1 Variazioni morfologiche del Noce nella zona dell'ontaneta di Croviana dal 1859 ad oggi (sito 1).



Figura 7-2. La curva situata immediatamente a valle della confluenza con il torrente Rabbies individuata come secondo sito potenzialmente idoneo per eventuali interventi di riqualificazione morfologica. (A) Stato attuale; (B) regioni occupate dall'alveo nel 1859 e non dall'alveo attuale (in blu).

Questi siti sono stati selezionati in quanto rispondenti ai seguenti criteri:

- Ne è documentata la tendenza a sviluppare mobilità laterale nel passato, come risulta dall'analisi morfodinamica (capitoli 2.5 e 4.3).
- Presentano una lontananza sufficiente da centri abitati e interagiscono in modo limitato con altre attività antropiche: in particolare le aree che potrebbero essere "restituite" al fiume per la diversificazione dell'alveo sono soggette ad esondazione solo con periodi di ritorno molto elevati, come apparso dal confronto svolto con i responsabili dello studio sulla sicurezza idraulica.
- Presentano valori buoni o elevati di diversi indici di qualità ecologica, funzionalità fluviale e/o idromorfologica, che ne suggeriscono la potenzialità di rispondere positivamente a interventi di miglioramento della qualità ambientale.

In particolare per il SIC Ontaneta di Croviana anche il Servizio Conservazione della Natura e Valorizzazione Ambientale evidenzia criticità in atto rappresentate dalla riduzione delle formazioni tipiche delle aree di

piena a vantaggio di formazioni tipiche di situazioni più stabili (in particolare mancano quasi del tutto i saliceti). Tali criticità potrebbero essere in parte superate da interventi che consentono il ripristino di una maggiore diversità morfologica, che a sua volta favorisce una diffusione più estesa della vegetazione riparia arborea.

Eventuali interventi di riqualificazione morfologica che interessino questi tratti dovranno comunque prevedere una progettazione di dettaglio che tenga adeguatamente conto del bilancio di sedimenti dell'area interessata, dei processi associati al trasporto solido, al fine di prevederne il più accuratamente possibile il potenziale di auto-sostenibilità e le ricadute sulla sicurezza idraulica delle aree potenzialmente interessate. Da un punto di vista della convivenza fra i fruitori andranno inoltre considerati i possibili effetti sulle condizioni di navigabilità locale e sulla riduzione locale degli effetti ecologici di *hydropeaking*.

### 7.3 Potenziamiento dell'accessibilità

L'analisi descritta al capitolo 5.2 mostra come complessivamente il Noce sia un fiume di non facile accesso in buona parte del suo corso, soprattutto per la presenza di difese di sponda, argini e sponde naturalmente ripide che rendono difficoltoso il raggiungimento dell'alveo in molti tratti. L'analisi sull'accessibilità idromorfologica descritta al capitolo 5.2 fornisce due tipologie di indicazioni ai fini gestionali:

- 1) Localizzazione delle aree potenzialmente valorizzabili dal punto di vista turistico – ricreativo;
- 2) Supporto alle richieste di realizzazione di imbarchi riportate nella Relazione Socio-Economica

Le regioni spondali *accessibili* (da un punto di vista idromorfologico) sono indicate con il colore verde nelle immagini da Figura 5-10 a Figura 5-25. In particolare, lo studio ha consentito di effettuare una prima selezione delle aree *accessibili* anche per valori di portata rappresentative delle portate elevate in condizioni estive (scelta pari a  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ , v. capitolo 5.2). Tali regioni di sponda possono pertanto essere considerate per il progetto di interventi di potenziamento dell'accessibilità al corso d'acqua a fini turistici. In particolare, si ritiene di esprimere le seguenti considerazioni relative a due aree specifiche.

La regione in sponda sinistra idrografica nel tratto compreso fra Pellizzano e Mezzana, indicata con la linea bianca tratteggiata in Figura 7-3A, presenta una elevata accessibilità idromorfologica, anche a portate elevate, grazie al locale allargamento dell'alveo in prossimità della curva orientata verso destra. Tale area è anche estremamente gradevole dal punto di vista paesaggistico ma è attualmente poco fruibile con le infrastrutture di accesso esistenti. Rappresenta perciò uno degli esempi più evidenti di zona con elevato potenziale di fruibilità a scopo ricreativo che potrebbe essere oggetto di interventi migliorativi.

La zona situata a valle di Almazzago e a monte del Centro Raccolta Materiali di Dimaro (Figura 7-3B) risulta facilmente accessibile in destra orografica (fascia verde), ma presenta un'arginatura che ne compromette l'accessibilità idromorfologica in sponda sinistra (fascia rossa: si vedano anche Capitoli 5.2). Questo tratto è uno dei pochi tratti morfologicamente più diversificati dell'intero corso d'acqua, dove l'accessibilità idraulica è garantita anche a portate medio – alte: rappresenta quindi un'area con potenzialità ricreative che potrebbero essere maggiormente valorizzate. Compatibilmente con i prioritari vincoli della sicurezza

idraulica, a partire dall'analisi svolta si suggerisce di valutare eventuali sistemazioni dell'argine in sinistra idrografica, per potenziare l'accessibilità reale al fiume da entrambe le sponde valorizzandone così le potenzialità ricreative.

L'accesso è anche importante per chi al fiume deve poter arrivare con mezzi di trasporto, come canoisti e rafters. La relazione socio-economica ha individuato e proposto alcune aree per la realizzazione e il miglioramento di pontili e imbarchi. Si è deciso per ciò di valutare più in dettaglio l'accessibilità di queste aree, già provviste di accesso stradale. In diversi dei punti individuati, questo indicatore risulta già buono e fornisce pertanto ulteriore supporto alle richieste avanzate. In particolare per gli imbarchi suggeriti in località Cusiano, Ponte delle Capre (se si esclude il tratto dove sorge la struttura del ponte), Mezzana Centro Sportivo, Piano di Commezzadura, Mestriago di Commezzadura, Dimaro, Monclassico, Croviana, Molini di Terzolas, Le Contre, Ponte Stori l'accesso risulta quasi sempre ottimale e in alcuni casi difficoltoso, ma mai impedito. Per quanto riguarda l'imbarco di Malè, il tratto presenta difese spondali con pendio naturale, ma l'esistenza di una strada agricola e una rampa di accesso al fiume permettono comunque l'accesso all'alveo.

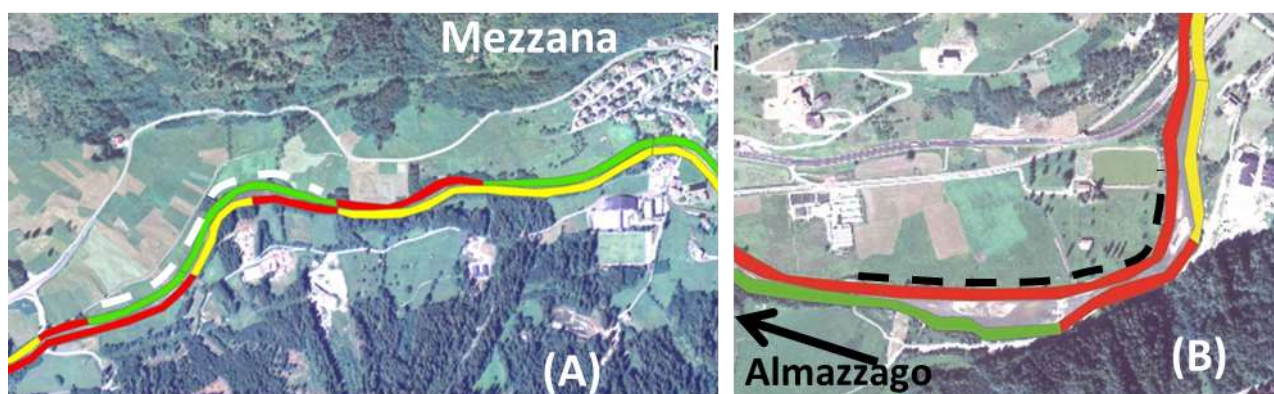


Figura 7-3. Indicazione di due aree la cui accessibilità a fini ricreativi può essere migliorata tenuto conto delle condizioni idromorfologiche. (A) Tratto compreso fra Pellizzano e Mezzana e (B) tratto nei pressi di Almazzago (briglia di Dimaro).

## 7.4 Altre considerazioni e possibilità di intervento nel bacino

Le ultime due indicazioni gestionali che emergono dal presente lavoro hanno carattere più qualitativo e riguardano in generale la qualità fisico-chimica e biologica delle acque nel bacino.

- 1) Le analisi della qualità fisico-chimica riportata nel capitolo 4.2.3 indicano la presenza di ancora alcune criticità in un quadro generale piuttosto positivo ed in costante miglioramento. Al 2011, il 6% della popolazione della comunità della Val di Sole (Agenzia Provinciale per la protezione dell'ambiente – Provincia Autonoma di Trento, 2012) risultava sprovvista di depuratore. Il quarto aggiornamento del piano provinciale di risanamento delle acque pubbliche della Provincia di Trento, approvato con deliberazione della Giunta Provinciale n. 1230 del 15 giugno 2012, prevede modifica agli impianti esistenti nel bacino del fiume Noce. Le vasche Imhof di Bolentina e Montes

nel comune di Malè verranno quindi dismesse e i reflui convogliati nel nuovo depuratore a Cis. La qualità chimica e biologica dei tratti posti in prossimità dei centri abitati dovrebbe di conseguenza migliorare attraverso questi interventi già pianificati. Un ulteriore intervento “diffuso” sul territorio che viene suggerito è legato alla necessità di porre attenzione allo stoccaggio di letame proveniente da attività zootecniche. Questi depositi devono essere posti a opportuna distanza dal corso d’acqua e in aree provviste di fasce riparie, non sempre pienamente sviluppate e funzionali nell’area prioritaria di studio, che possano agire da filtro tra il carico di azoto generato dai depositi e il fiume.

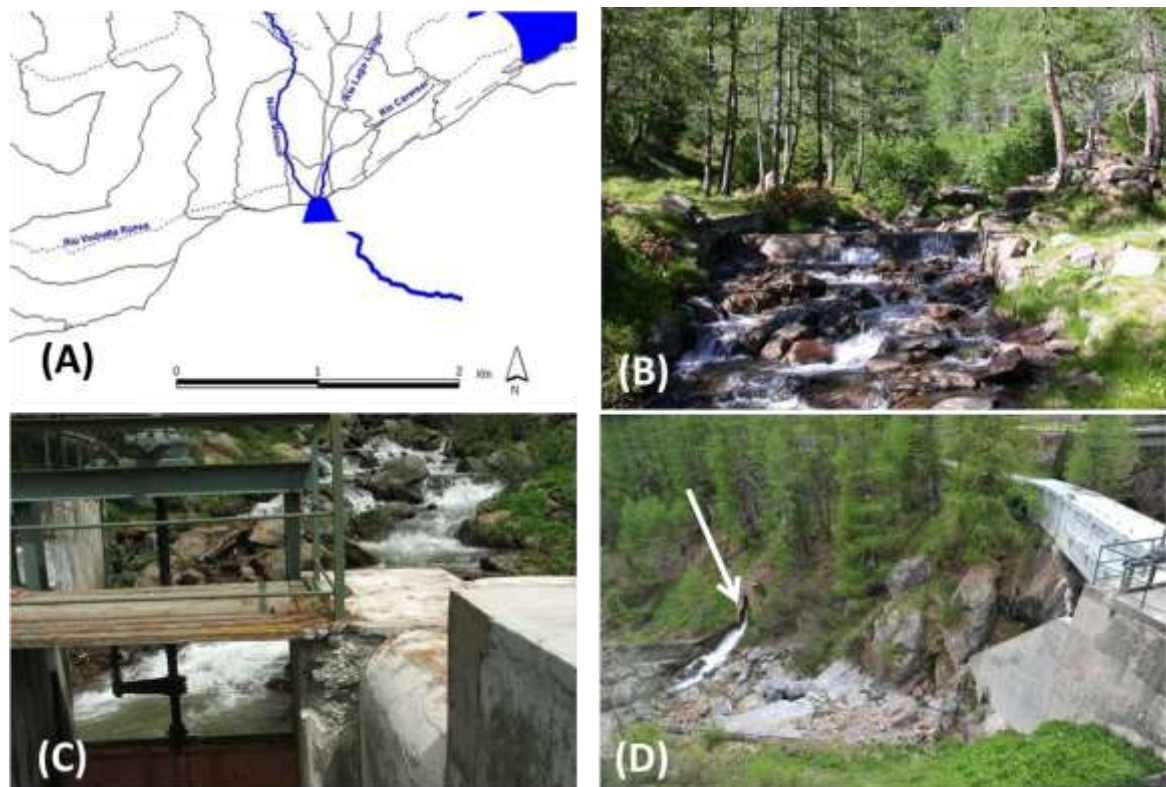


Figura 7-4. (A) Schema dei corsi d'acqua captati verso l'invaso di Malga Mare; (B) Visuale del Rio Careser a monte della captazione; (C) opera di captazione del Rio Careser dove si propone di rilasciare il DMV; (D) attuale posizione del rilascio del DMV a valle dell'invaso di Malga Mare (freccia). Si nota in primo piano il tratto di alveo in secca del Noce Bianco che interrompe la continuità longitudinale.

- 2) Gli studi svolti in progetti precedenti (si veda in particolare il capitolo 2.4.2) hanno evidenziato una particolare ricchezza ecologica e biocenosi associate nelle tipologie fluviali esistenti nell'alto bacino del Noce Bianco. Un intervento che si considera molto importante, sia per gli attesi effetti ecologici che per il rapporto costi-benefici apparentemente molto favorevole, è una variazione del posizionamento della sezione di rilascio del Deflusso Minimo Vitale dell'invaso di Malga Mare. Allo stato attuale tutti i corsi d'acqua presenti alla chiusura del bacino di Val Venezia (rio Vedretta Rossa, Noce Bianco, rio Careser) vengono convogliati nell'invaso di Malga Mare (Figura 7-4A). L'invaso di Malga Mare rilascia quindi il Deflusso Minimo Vitale richiesto per legge poco a valle dell'invaso stesso tramite una condotta (Figura 7-4D). Il vecchio alveo tra la diga e la condotta è quindi in secca (Figura 7-4D) e ciò crea una interruzione della continuità fluviale e la perdita del ricco patrimonio biologico che i corsi d'acqua trasportano in misura diversa. Si può affermare che il

Noce Bianco “riparta da zero” dal punto di vista biologico e la piena colonizzazione da parte della flora e della fauna acquatica avviene ad una notevole distanza a valle.

Dei corsi d'acqua derivati in questo punto, il rio Careser (Figura 7-4B) è quello con il più abbondante e ricco carico biologico. La derivazione è operata mediante una chiusa che devia il corso d'acqua verso l'invaso di Malga Mare (Figura 7-4C). La proposta di intervento è che il Deflusso Minimo Vitale venga rilasciato a partire dalla sezione dove viene attualmente captato il Rio Careser (Figura 7-4C), anziché direttamente dall'invaso di Malga Mare, consentendo così di far defluire la portata ed il ricco carico biologico del Rio Careser nel vecchio alveo del Noce Bianco attualmente in secca. Questo consentirebbe di ripristinare la continuità fluviale riconnettendo il tratto di valle del Noce Bianco con il Rio Careser a monte e con il suo prezioso carico biologico. Dal punto di vista ecologico ciò può comportare notevoli vantaggi per tutto il tratto del Noce Bianco fino alla centrale di Pont, migliorando anche le condizioni trofiche per la fauna ittica che popola il tratto inferiore. Ulteriori miglioramenti si avrebbero attraverso la prevista modulazione stagionale del DMV. La concreta fattibilità di tale intervento dovrà essere discussa e valutata nel dettaglio congiuntamente con il detentore degli impianti di derivazione al fine di concordare una soluzione che risulti ottimale per tutte le parti coinvolte.

## 8 Ringraziamenti

Il presente studio è stato possibile principalmente attraverso il supporto finanziario della Comunità della Valle di Sole, nell'ambito dell'Accordo di programma sottoscritto tra la Comunità stessa e la Provincia Autonoma di Trento nel 2011. Lo studio ha inoltre fortemente beneficiato di una serie di collaborazioni da parte di numerosi soggetti che gli autori dello studio intendono ringraziare vivamente per il supporto fornito. In particolare si ringraziano i seguenti enti e il relativo personale:

- Hydro Dolomiti Enel (HDE) per aver assicurato su richiesta alcuni periodi di fermo impianto al fine di consentire rilievi in campo in condizioni di sicurezza per gli operatori nell'alveo del Noce;
- Il Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento (PAT) per la fornitura di misure delle sezioni dell'alveo e relativi rilievi granulometrici;
- L'Agenzia Provinciale Protezione Ambiente (APPA) della PAT per la fornitura e condivisione di dati relativi alla qualità chimico-fisica, biologica ecologica e idromorfologica del corso d'acqua;
- L'Ufficio Gestione Risorse Idriche della PAT per la fornitura di dati idrometrici e di informazioni relative alle richieste di concessione a derivare insistenti sul corso d'acqua;
- L'Ufficio Dighe – Servizio Prevenzione Rischi del Dipartimento Protezione Civile della PAT per la fornitura di dati idrometrici
- Centri rafting della Val di Sole per informazioni fornite in relazione alle condizioni di navigabilità del corso d'acqua;
- L'ing Silvano Pisoni, Tera Ingegneria – per lo scambio di informazioni relativo al problema della sicurezza idraulica del corso d'acqua;
- La Cooperativa Quater (Dr. Riccardo Acerbi) e la Fondazione S. Vigilio (in particolare il dr. Manuel Panizza) per la collaborazione che ha consentito di mantenere un continuo coordinamento con lo studio socio-economico
- La Dott. Elena Daiprà e il dott. Marco Mastronunzio del Dipartimento di Lettere e Filosofia dell'Università degli Studi di Trento per la messa a disposizione della cartografia georeferenziata del catasto austriaco del 1859.

## 9 Bibliografia

Acreman MC, Dunbar MJ (2004) Defining environmental flow requirements: a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 8: 861-876.

Agenzia Provinciale per la protezione dell'ambiente – Provincia Autonoma di Trento. 2008. Rapporto sullo stato dell'ambiente della Prov. di Trento– 6 – 2008. <http://www.appa.provincia.tn.it/appa/pubblicazioni/-RSA%202008%20VI%20Edizione%20/>

Agenzia Provinciale per la protezione dell'ambiente – Provincia Autonoma di Trento. 2012. Rapporto sullo stato dell'ambiente della Prov. di Trento 7/12 [http://www.appa.provincia.tn.it/rapporto\\_ambiente\\_2012/](http://www.appa.provincia.tn.it/rapporto_ambiente_2012/)

APAT, IRSA-CNR, 2003. Metodi analitici per le acque. Volume 3, Sezioni 6000-7000-8000-9000. Manuali e Linee Guida APAT n. 29: 843-1153.

APAT, Manuali e Linee Guida 29/2003) Metodi analitici per le acque Indice biotico esteso (I.B.E.)

Armstrong, J., Kemp, P., Kennedy, G., Ladle, M., & Milner, N. (2003). Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research*, Volume 62.

Assessorato Urbanistica e Ambiente, Provincia Autonoma di Trento 2003. Rapporto sullo stato dell'ambiente della provincia di Trento – n. 5 – 2003

Blaschke A.P., Steiner K.-H., Schmalfluss R., Gutknecht D. and Sengschmitt D., 2003. Clogging Processes in Hyporheic Interstices of an Impounded River, the Danube at Vienna, Austria. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 88, 397–413.

Boulton A.J., Findlay S., Marmonier P., Stanley E., and Valett H.M., 1998. The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 29, 59–81.

Bovee KD (1982) A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology.

Brunke M. and Gonser T., 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biol.*, 37, 1–33.

Bruno M. C., B. Maiolini, M. Carolli, L. Silveri. 2010. Short time-scale impacts of hydropeaking on benthic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). *Limnologica*, 40: 281–290.

Bruno M. C., B. Maiolini, M. Carolli, L. Silveri: 2009. Hydropeaking impact on hyporheic invertebrates of an Alpine stream (Trentino, Italy). *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 45 (2009) 1–14.

Bruno M. C., Siviglia A., Carolli M., and Maiolini B, 2013. Multiple drift responses of benthic invertebrates to interacting hydropeaking and thermopeaking waves: *Ecohydrology*, 6, 511–522.

Cainelli, O., Bellin, A., Brentari, G. e Alberici, D. (2009) Bilanci idrologici del trentino occidentale: Chiese, Sarca e Noce. Rapporto interno per la Provincia Autonoma di Trento.

- Carolli M., Bruno M. C., Siviglia A., and Maiolini B. 2012. Responses of benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. *River Research and Application*, 28(6): 678-691.
- Colombini, M., Seminara, G. and Tubino, M. 1987. Finiteamplitude alternate bars. *Journal of Fluid Mechanics* 181:213–232.
- CNR-IRSA, 2007. Macroinvertebrati acquatici e direttiva 2000/60/EC (WFD). IRSA-CNR Notiziario dei Metodi Analitici, Marzo 2007 (1): 118 pp.
- Crosato, A., and E. Mosselman (2009), Simple physics-based predictor for the number of river bars and the transition between meandering and braiding, *Water Resour. Res.*, 44, W03424.
- Dumnicka E., 2010 -The new freshwater enchytraeids species (*Oligochaeta*) from Italian Alps. *Italian Journal of Zoology* 77(1): 38-43.
- Fette M., Weber C., Peter A., Wehrli B., 2007. Hydropower production and river rehabilitation: A case study on an alpine river. *Environmental Modelling and Assessment*, 12, 257–267.
- Foufoula-Georgiou, E. & Kumar, P. (1995) *Wavelets in Geophysics*. Academic Press., 373 pp.
- Friedl G., Wüest A., 2002. Disrupting biogeochemical cycles Consequences of damming. *Aquatic Sciences*, 64, 55-65.
- García A, Jorde K, Habit E, Caamaño D, Parra O (2011) Downstream environmental effects of dam operations: Changes in habitat quality for native fish species. *River Res Appl* 27:312-327
- Gibert J., Stanford J., Dole-Olivier M.-J. and Ward J.V., 1994. Basic attributes of ground water ecosystems and prospects for research. In: Gibert J., Danielopol, D.L. and Stanford J. (eds.). *Ground water ecology*, Academic Press, San Diego, 7–40.
- Jorde, K., Schneider, M., & Zollner, F. (2000). *Analysis of Instream Habitat Quality - Preference Functions and Fuzzy Models*. Rotterdam: *Stochastic Hydraulics 2000*, Wang & Hu (eds.), Balkema, Rotterdam,.
- Kendall, M.G. (1955) *Rank Correlation Methods*. Griffin.
- Kleinhans, M. G., and J. H. van den Berg (2011), River channel and bar patterns explained and predicted by an empirical and a physics-based method, *Earth Surf. Processes Landforms*, 36(6), 721–738.
- Le Coz, J., Camenen, B., Peyrard, X., & Dramais, G. (2012). Uncertainty in open-channel discharges measured with the velocity–area. *Irstea (Cemagref), UR HHLY, Hydrology-Hydraulics*.
- Lencioni V. & B. Maiolini (a cura di), 2002 - L'ecologia di un sistema acquatico alpino (Val de la Mare, Parco Nazionale dello Stelvio). *Natura alpina*, 54 (4): 1-96.
- Lencioni V. & Marziali L., 2005 - A new species of *Macropelopia Thienemann* (Diptera: Chironomidae) from the Italian Alps. *Italian Journal of Zoology*, 72 (4): 317-320.
- Leopold L.B., Wolman M.G. & Miller J.P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. Freeman, S. Francisco.



- Maiolini B., Tubino M., Zolezzi G., Sartori P., Bruno M.C., Siviglia A. 2009. DOSSIER: Progetto "Report" regolazione delle portate, ecosistemi e dinamica fluviale: linee guida per una gestione eco-compatibile. *Adige-Etsch*, 3, (1-2): I-IIIIV.
- Majone, B., Bertagnoli, A. Bellin, A. (2010) A non-linear runoff generation model in small Alpine catchments, *Journal of Hydrology*, Volume 385, Issues 1–4, 7, Pages 300-312
- Mann, H.B. (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13:245\_259.
- Martinelli, T., Cainelli, O., Bellin, A., Paoli, N. e Trenti, A. (2010) Ricostruzione ed analisi della serie storica delle portate del torrente glaciale Careser a Baia. In XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17 settembre.
- Meile T., Boillat J. L., Schleiss A. J., 2010. Hydropeaking indicators for characterization of the Upper-Rhone River in Switzerland. *Aquatic sciences* 73, 171–182.
- Milhous R, Bartholow J, Updike M, Moos A (1990) Reference Manual for Generation and Analysis of Habitat Time Series. U.S. Fish and Wildlife Services.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. Copyright © 2005 World Resources Institute.
- Maiolini B. & V. Lencioni, 2001 - Longitudinal distribution of macroinvertebrate assemblages in a glacially influenced stream system in the Italian Alps. *Freshwat. Biol.*, 46 (12): 1625-1639.
- Moog O., 1993. Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts. *Regul. Rivers, Research Management*, 8, 5–14.
- Parasiewicz P (2007a) The MesoHABSIM model revisited. *River Res Appl* 23:893-903
- Parasiewicz P (2007b) Using MesoHABSIM to develop reference habitat template and ecological management scenarios. *River Res Appl* 23: 924-932.
- Parasiewicz P, Ryan K, Vezza P, Comoglio C, Ballestero T, Rogers JN (2012) Use of quantitative habitat models for establishing performance metrics in river restoration planning. *Ecohydrology* DOI: 10.1002/eco.1350
- Parasiewicz, P. (2001). MesoHABSIM: a concept for application of instream flow models in river restoration planning. *Fisheries* 26: 6–13
- Petersen R.C. 1992. The RCE: A Riparian, Channel, and Environmental inventory for small streams in agricultural landscape. *Freshwater Biology*, 27: 295-306.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. 2011, *Manuale tecnico – operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d’acqua – Versione 1*, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, 232 pp.
- Servizio Ripristino e Valorizzazione Ambientale. Trento: 147-177.

Seminara, G., and M. Tubino (1992), Weakly nonlinear theory of regular meanders, *J. Fluid Mech.*, 244, 257–288.

Siligardi M. e Maiolini B. 1990. Prima applicazione di un nuovo indice di qualità dell'ambiente fluviale. In: P. La Spada (Ed.). *Atti del Convegno "AMBIENTE '91"*. 4-5 ottobre 1990, Terme di Comano (TN). Provincia Autonoma di Trento.

Siligardi M. e Maiolini B. 1993. L'inventario delle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua alpini: guida all'uso della scheda RCE-2. *Biologia Ambientale*, VII, (2):18-24.

Torrence, C. & Compo, G.P. (1998) A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 79:61\_78.

Tuhtan J, Noack M, Wieprecht S (2012) Estimating stranding risk due to hydropeaking for juvenile European grayling considering river morphology. *KSCE J Civ Eng* 16:197-206

Veza P, Parasiewicz P, Calles O, Spairani M, Comoglio C (2013a) Modelling habitat requirements of bullhead (*Cottus gobio*) in alpine streams. *Aquat Sci* In press

Veza P, Parasiewicz P, Rosso M, Comoglio C (2012) Defining minimum environmental flows at regional scale: application of mesoscale habitat models and catchments classification. *River Res Appl* 28:675-792

Veza P, Parasiewicz P, Spairani M, Comoglio C (2012b) La modellazione a meso-scala per la valutazione e quantificazione dell'habitat in torrenti e fiumi alpini. In *Riquilificazione fluviale e gestione del territorio*, (Ed Trentini G. et al.). 183-192 p.

Veza P, Parasiewicz P, Spairani M, Comoglio C (2013) Habitat modelling in high gradient streams: the meso-scale approach and application. *Ecol Appl*: In press.

Zolezzi, G. and Seminara, G. 2001. Downstream and upstream influence in river meandering. Part 1. General theory and application of overdeepening. *Journal of Fluid Mechanics* 438: 183–211.

Zolezzi, G., Bellin A., Bruno M. C., Maiolini B., Siviglia A., 2009. Assessing hydrological alterations at multiple temporal scales: Adige River, Italy. *Water Resour. Res.*, 45, W12421, doi:10.1029/2008WR007266.

Zolezzi G, Siviglia A, Toffolon M, Maiolini B. 2011a. Thermopeaking in alpine streams: event characterization and time scales. *Ecohydrology* 4, 564–576 (DOI: 10.1002/eco.132).

Zolezzi, G. Zamler, D., Laronne, J.B., Salvaro, M., Piazza, F., Le Coz, J., Welber, M., Dramais, G. 2011b. A systematic test of surface velocity radar (SVR) to improve flood discharge prediction. Abstract H511-1332 presented at 2011 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 5-9 Dec.