



Università  
Ca' Foscari  
Venezia

## Corso di Laurea magistrale in Scienze Ambientali

### Tesi di Laurea

—

Ca' Foscari  
Dorsoduro 3246  
30123 Venezia

# Validazione idromorfologica dei siti di riferimento fluviali in Friuli Venezia Giulia e sviluppo di una metodologia sperimentale per la valutazione della qualità morfologica dei corsi d'acqua di risorgiva

#### **Relatore**

Ch. Prof. Andrea Pilli

#### **Correlatrice**

Dott.ssa Valentina Stocca

#### **Laureando**

Luca De Marchi  
Matricola 840341

**Anno Accademico**  
**2013/ 2014**

# INDICE

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GENERALE.....</b>	<b>7</b>
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	7
2.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO.....	7
2.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	10
2.3.1 Geologia delle zone montane.....	10
2.3.2 Idrografia delle zone montane.....	14
2.3.3 Geologia del Carso classico.....	17
2.3.4 Idrografia del Carso classico.....	17
2.3.5 Geologia della Pianura Veneto-friulana.....	18
2.3.6 Idrografia della pianura.....	21
<b>3. METODOLOGIA DI SELEZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO FLUVIALI.....</b>	<b>25</b>
3.1 ASPETTI PRINCIPALI E QUADRO NORMATIVO.....	25
3.2 TIPIZZAZIONE DEI CORPI IDRICI.....	26
3.2.1 Regionalizzazione.....	27
3.2.2 Definizione di una tipologia di massima.....	28
3.2.2.1 <i>Perennità e resistenza</i> .....	29
3.2.2.2 <i>Origine del corso d'acqua</i> .....	29
3.2.2.3 <i>Distanza dalla sorgente</i> .....	30
3.2.2.4 <i>Morfologia dell'alveo</i> .....	31
3.2.2.5 <i>Influenza del bacino a monte</i> .....	31
3.2.3 Definizione di una tipologia di dettaglio.....	32
3.2.4 Risultati della tipizzazione.....	32
3.2.5 Analisi del rischio dei corpi idrici.....	35
3.3 MONITORAGGIO BIOLOGICO.....	36
3.3.1 STAR_ICMi, ICMi, RQE_IBMR, LIMeco e ISECI.....	38
3.3.2 Lo stato ecologico in Friuli Venezia Giulia.....	41
3.4 SELEZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO.....	43
3.4.1 Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali.....	43
3.4.2 Valutazione dei criteri.....	46
<b>4. VALIDAZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO: VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MORFOLOGICA.....</b>	<b>50</b>
4.1 ASPETTI TEORICI DEL SISTEMA FLUVIALE.....	50
4.1.1 Connettività dei processi.....	50
4.1.2 Forme fluviali.....	52
4.1.3 Variazioni morfologiche.....	55
4.2 IDRAIM.....	57
4.2.1 Suddivisione del corpo idrico.....	58

4.2.1.1	<i>Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche</i> .....	58
4.2.1.2	<i>Definizione del grado di confinamento</i> .....	59
4.2.1.3	<i>Definizione della morfologia dell'alveo</i> .....	60
4.2.1.4	<i>Suddivisione finale in tratti</i> .....	65
4.2.2	Classificazione dello stato morfologico attuale.....	66
4.3	MATERIALI.....	69
4.3.1	Programmi informatici.....	69
4.3.2	Materiale informatico.....	70
4.4	RISULTATI OTTENUTI E APPLICAZIONI RAPPRESENTATIVE.....	71
4.4.1	Tratto iniziale del Torrente Resia.....	74
4.4.2	Torrente Fulin presso il Rifugio Tolazzi.....	76
4.4.3	Rio Santa Maria nel Parco delle Dolomiti Friulane.....	78
4.4.4	Torrente Natisone presso Pulfero.....	79
<b>5.</b>	<b>INDICE DI QUALITÀ MORFOLOGICA DEI FIUMI DI RISORGIVA.....</b>	<b>81</b>
5.1	GUIDA ALLE RISPOSTE.....	81
5.1.1	Suddivisione in tratti.....	83
5.1.2	Funzionalità.....	83
5.1.3	Artificialità.....	92
5.1.4	Variazioni legate all'antropizzazione.....	101
5.2	SCHEDA DI VALUTAZIONE.....	105
5.3	RISULTATI OTTENUTI E APPLICAZIONI SIGNIFICATIVE.....	111
5.3.1	Fiume Stella a Sterpo.....	113
5.3.2	Il tratto iniziale del Fiume Torsa.....	116
5.3.3	Roggia Mulignan Gravotti nel SIC IT3310010.....	117
5.3.4	Fiume Noncello alla confluenza con il Fiume Meduna.....	119
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONI E PROSPETTIVE DI APPROFONDIMENTO.....</b>	<b>122</b>
6.1	SITI DI RIFERIMENTO VALIDATI.....	122
6.2	TIPIZZAZIONE DI TERZO LIVELLO PER I CORPI IDRICI 02SS1T.....	123
6.3	PROTEZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO.....	124
6.4	LA QUALITÀ MORFOLOGICA PER LA SELEZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO.....	125
6.5	QUALITÀ MORFOLOGICA DEI CORSI D'ACQUA DI RISORGIVA .....	127
6.6	POSSIBILI SVILUPPI DEL METODO IQM PER I CORSI D'ACQUA DI RISORGIVA.....	129
6.7	CONSIDERAZIONI GENERALI.....	131
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>134</b>

# 1. INTRODUZIONE

La Direttiva Quadro Europea sulle Acque (*Water Framework Directive, WFD 2000/60/EC*), pubblicata nell'ottobre 2000, definisce un elenco di criteri innovativi per la classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici europei e propone una serie di azioni necessarie per la loro protezione e gestione, con l'intento di migliorarne lo stato qualitativo complessivo. Tale direttiva prevede di valutare lo stato ecologico come combinazione di diversi aspetti: fisico-chimici, biologici e, in modo innovativo, idromorfologici.

Per una corretta classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici la Direttiva prevede il confronto con una condizione “di riferimento” teoricamente indisturbata, equivalente ad una situazione priva di, o con minimo, impatto antropico. La definizione dei “siti di riferimento”, da effettuare per tutte le tipologie di corpi idrici individuate, risulta quindi una condizione necessaria alla valutazione della qualità ecologica. Per agevolare la comprensione dello svolgimento dei procedimenti derivanti e analizzarne le problematiche, è stato necessario descrivere preliminarmente l'area di studio, la regione Friuli Venezia Giulia (Capitolo 2).

È stato poi possibile passare alla discussione delle modalità di definizione dei “siti di riferimento”, descritte nel Capitolo 3. Esse sono state recepite in Italia con l'introduzione del D.M. 260/2010, nel quale sono illustrati i “*Criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali*”.

Successivamente all'entrata in vigore di questa disposizione, l'ARPA del Friuli Venezia Giulia ha messo in opera una serie di campionamenti, al fine di giungere alla definizione delle condizioni di riferimento e alle successive valutazioni ecologiche di tutti i corpi idrici della Regione. La prima fase è stata la tipizzazione, ovvero una divisione e catalogazione in tipologie di tutti i corpi idrici della Regione; la seconda ha visto la creazione di una dettagliata rete di monitoraggio biologico e chimico-fisico in grado di fornire una classificazione basata sugli standard forniti dalla letteratura. Questa è stata inoltre supportata dalla valutazione di un “giudizio esperto”, ovvero un giudizio ecologico basato sulle conoscenze e sulle valutazioni

dei tecnici ARPA. Tra tutti i corpi idrici in cui il “giudizio esperto” si è rivelato ELEVATO o BUONO, ARPA ne ha selezionati alcuni su cui applicare i “*Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali per la direttiva 2000/60/EC*” (Buffagni et al., 2008a), pubblicati dall'IRSA-CNR. Come ultimo step, per tutti i corpi idrici che hanno soddisfatto questi criteri, la Direttiva prevede di poter applicare una metodologia per la valutazione della qualità idromorfologica che, laddove risulti ELEVATA, permette di validare il tratto a “sito di riferimento”.

Quest'ultimo passo, il quale prevede l'applicazione del metodo IDRAIM (sistema di valutazione IDRomorfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua) per il calcolo dell'Indice di Qualità Morfologica (Rinaldi et al., 2011), è oggetto della prima parte sperimentale di questa tesi ed è stato trattato nel Capitolo 4. Il metodo, sviluppato da ISPRA per lo specifico contesto italiano, si basa sulla valutazione degli impatti e delle pressioni sui processi geomorfologici e, quindi, oltre a una classificazione, rende possibile la comprensione dei processi e delle cause che portano alle alterazioni morfologiche. L'applicazione comporta la compilazione di un'apposita scheda, composta da una serie di indicatori specifici: per ogni corpo idrico, la prima fase è stata dunque la raccolta dei dati necessari alla valutazione, la successiva elaborazione degli stessi in ambiente GIS e infine una serie di uscite sul terreno durante le quali sono stati ricontrollati tutti gli indicatori e le schede di valutazione completate. Gli scostamenti registrati hanno permesso quindi il calcolo dell'IQM e l'assegnazione del tratto studiato ad una classe di qualità morfologica.

L'applicazione del procedimento descritto ha permesso la definizione di almeno un sito di riferimento per ciascuna tipologia di corpi idrici più rappresentati, eccettuati quelli della pianura, per i quali i “*Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali per la direttiva 2000/60/EC*” (Buffagni et al., 2008a) si sono dimostrati troppo restrittivi. In tali casi, la metodologia prevede una procedura di eccezione per la definizione di soglie più alte, da studiare e proporre caso per caso.

Dall'analisi del metodo applicato, con l'individuazione, nella fase della validazione idromorfologica, delle sue criticità e problematiche, è nata l'idea di impostare la ricerca dei siti di riferimento in pianura valutando *in primis* le condizioni

morfologiche, e solo nel caso in cui queste risultassero elevate, passare allo sviluppo di una procedura alternativa al metodo *Buffagni et al.* Le prime applicazioni dell'IQM nei corsi d'acqua più numerosi e rappresentativi della pianura, quelli di risorgiva, si sono rivelate difficoltose e spesso non possibili. Il metodo IDRAIM, infatti, è stato sviluppato partendo dalle dinamiche dei corsi d'acqua con bacino montano e non è, pertanto, adatto a rappresentare le forme ed i processi tipici di alvei di dimensioni ridotte alla testata dei bacini, o aste di primo ordine (*Rinaldi et al., 2011*). Nella bassa pianura, invece, sono proprio i piccoli alvei di risorgiva a costituire la grandissima parte della rete idrografica. Questi caratteristici e delicati ecosistemi presentano dinamiche legate ad un bacino piccolo e senza pendenze rilevanti, con conseguenti piene di piccolissima entità (non considerabili “piene formative”), trasporto solido molto scarso e ricarica di sedimenti molto ridotta. Inoltre, i fiumi di risorgiva scorrono spesso in alvei incisi da fiumi di portata molto maggiore che, una volta abbandonati, sono stati occupati dalle acque di falda: hanno quindi ereditato (e parzialmente modificato) delle morfologie che il metodo IQM “classico” rilevarebbe erroneamente come alterate.

L'obiettivo principale della seconda parte di questa tesi, sviluppato nel quinto capitolo, è stato dunque di modificare e adattare l'indice IQM alle caratteristiche di questi corsi d'acqua. La gran parte degli indicatori sono stati rivisti e modificati nella loro descrizione, nel campo e modalità di applicazione e infine nei punteggi degli scostamenti legati alle alterazioni. Sono inoltre stati sviluppati due indicatori specifici per il particolare contesto studiato. Il metodo è stato quindi applicato su 28 tratti ritenuti rappresentativi delle possibili situazioni di alterazione della morfologia che si possono incontrare nella zona di studio. In questa fase sono state raccolte numerose informazioni, frutto di ricerche bibliografiche, analisi GIS e osservazioni sul terreno, utili sia alla descrizione delle maggiori cause di antropizzazione impattanti sulle forme e sull'ecologia di questi corsi d'acqua peculiari della bassa pianura, sia alla futura definizione dei siti di riferimento per le tipologie di corpi idrici rappresentati.

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Regione Friuli Venezia Giulia si trova tra il sistema alpino e l'Adriatico, fra la Pianura Padano-Veneta e la Penisola Balcanica, in una posizione di grande significato geografico, poiché rappresenta uno dei maggiori crocevia europei. La particolarità di quest'area è riconducibile anche alle sue caratteristiche fisiche e naturali in quanto, essendo presente una grandissima varietà di terreni, di forme, di climi, di flora e di fauna, non è possibile definirne dei tratti omogenei: all'interno di questo territorio si possono quindi incontrare i caratteri di più regioni naturali.

Essi non sono rappresentativi esclusivamente del Friuli Venezia Giulia, ma ricorrono anche nelle aree circostanti, fino alla Lombardia e al Piemonte ad Ovest e nella Slovenia e nell'Istria a Est (*Valussi, 1971*). Le prime definizioni di queste aree naturali sono state date da alcuni grandi geografi degli inizi del secolo scorso (*Lorenzi, 1914; Marinelli, 1918 in Bribaudi, 1949*) fino alla generale, ed ancora attuale, divisione di *Sestini (1963)*: paesaggi padani (paesaggio lagunare, bassa Pianura Friulana, alta Pianura Friulana e paesaggio delle bonifiche "moderne"), paesaggi subalpini e prealpini (colline subalpine, anfiteatri morenici, altopiani carsici giuliani, colline e litorali dell'Istria) e paesaggi alpini (Alpi Carniche e Alpi Giulie).

La varietà di queste aree naturali è protetta da due parchi naturali regionali, quello delle Dolomiti Friulane e quello delle Prealpi Giulie (che coprono oltre 45.000 ha), da un'area marina protetta e da due riserve statali. Le riserve regionali coprono poi circa 8.500 ha e sono attualmente stati istituiti 63 siti Natura 2000 (*Regione Autonoma FVG, 2011*).

### 2.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO

Il Friuli Venezia Giulia è compreso nella zona climatica temperato-umida, definita anche marina-mediterranea (*Polli, 1971*) ma, nonostante le sue piccole dimensioni, presenta numerose varietà climatiche, passando dal clima costiero (mediterraneo nella zona di Trieste) a quello alpino delle zone montuose.

La pianura, essendo aperta verso la Pianura Padana, risulta soggetta alle circolazioni d'aria da ovest, mentre la catena alpina la ripara dall'influsso freddo proveniente dal nord. Le Alpi esercitano una notevole influenza anche sulla piovosità della Regione: le masse d'aria calda e umida precipitazioni provenienti dal Mare Adriatico vengono bloccate dai rilievi e, raffreddandosi e condensando, danno luogo a intense precipitazioni (Fazzini et al., 2005). Il Friuli Venezia Giulia presenta valori di piovosità tra quelli massimi europei e, anche se la tendenza degli ultimi due decenni vede una diminuzione delle medie, nel 2008 si è registrato il picco più alto degli ultimi 80 anni [4.400 mm alla stazione di Musi (Cicogna, 2008)]. Come è possibile osservare in Fig. 2.1, le precipitazioni presentano valori crescenti partendo dal mare fino a raggiungere i valori massimi nei versanti sud delle Prealpi, spostandosi poi verso settentrione dove gradualmente diminuiscono.

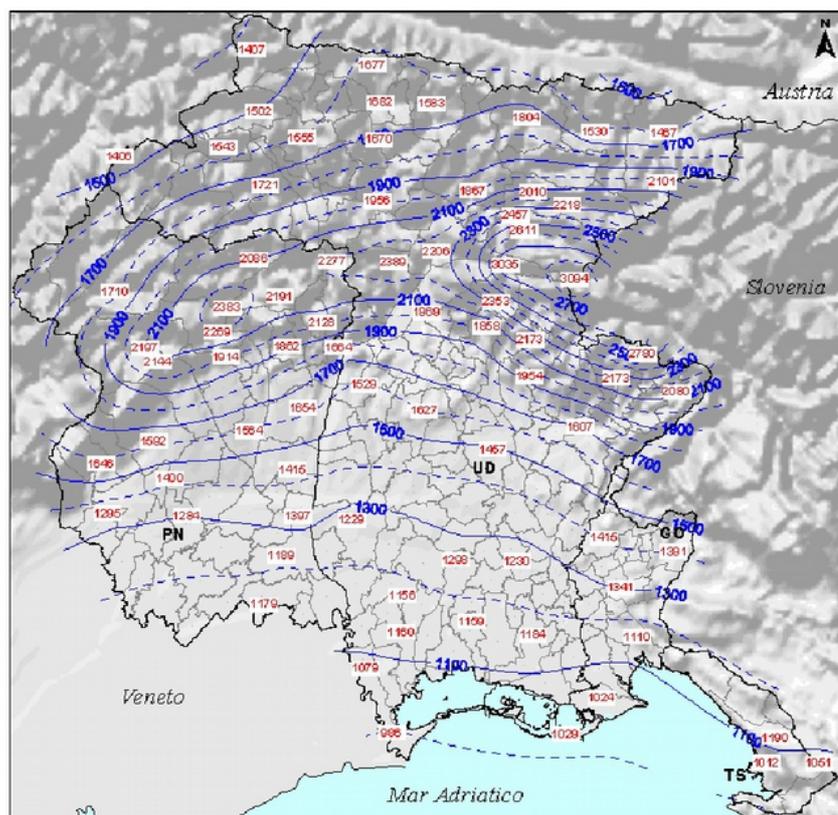


Figura 2.1 – Media piovogge 1961-2000 (da: Cicogna, 2008).

L'andamento annuo della piovosità vede due picchi, uno in autunno e uno in primavera, come è tipico della fascia climatica temperata. La temperatura dell'aria tendenzialmente diminuisce con l'aumentare della latitudine e dell'altitudine: in

Regione si hanno piccole variazioni spostandosi verso nord (max 1°C) ma notevoli e rapidi cali di temperatura con l'altezza (circa 0,6°C ogni 100m) (Polli, 1974). Le temperature maggiori vengono registrate, solitamente in luglio, nella zona costiera tra Trieste e Monfalcone, più calda rispetto alle altre zone litorali che sono più favorite dalle brezze. Le temperature medie della pianura sono di circa 13,5°C, con un'escursione termica media annua di 21°C (Veneto Agricoltura, 2001), come anche per le altre aree il mese più caldo è luglio e quello più freddo gennaio. La zona prealpina è soggetta ad un riscaldamento diurno abbastanza rilevante e a un forte raffreddamento notturno a causa delle brezze di monte, motivo per cui l'area presenta le escursioni termiche annue più alte (23°C). Le temperature più basse vengono registrate nelle zone alpine, dove si possono raggiungere temperature fino ai -30°C, e si registrano le escursioni termiche diurne più elevate, 20°C nella conca di Fusine (Fig. 2.2) (Polli, 1971).

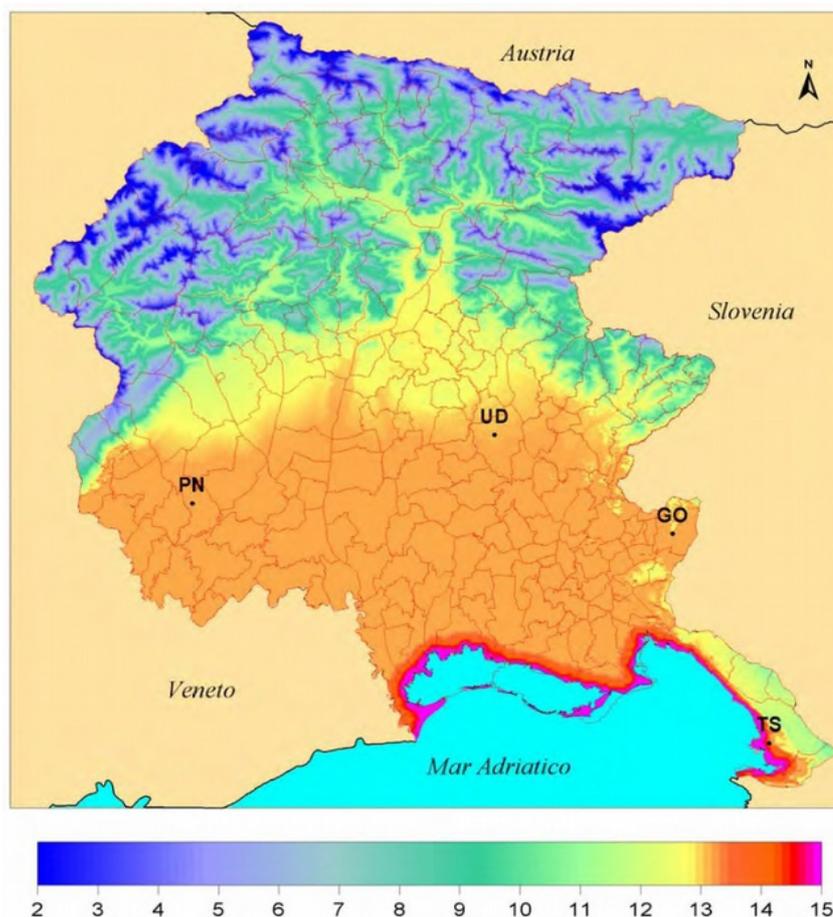


Figura 2.2 – Temperature medie annue 1997-2006 (da: Cicogna, 2008).

Il vento costituisce una componente molto importante per il clima friulano. La Bora, un forte vento proveniente da NE, è probabilmente quello che ha i maggiori effetti: in generale apporta masse d'aria secche di origine continentale, abbassa le temperature durante l'inverno e d'estate può avere effetto föhnizzante, contribuendo all'aumento della temperatura. Forti impatti sono anche quelli dati dallo Scirocco e dalle brezze: il primo, proveniente da SE, è quasi sempre accompagnato da perturbazioni, spesso anche molto intense sull'alta pianura; le seconde, invece, riflettendo la complessità orografica del terreno, sono molto diversificate nell'orientamento e nell'intensità e assumono caratteristiche differenziate nelle varie aree. Meno frequenti, o con minori effetti sul clima, sono il Libeccio, l'Ostro, il Ponente, il Maestrone, la Tramontana e il Grecale (*Stefanuto, 2003*).

## **2.3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

Il Friuli Venezia Giulia ha una geologia molto varia poiché in essa affiorano rocce molto diverse per origine, caratteri ed età. Queste sono il frutto di una storia geologica complessa, che ha visto la regione invasa dal mare molte volte e l'instaurarsi di ambienti sedimentari molto diversi nel tempo e nello spazio (*Martinis, 1971*). La "pila" di rocce generatasi in 460 milioni di anni è stata quindi soggetta a numerosi agenti legati ai cambiamenti climatici, ai sollevamenti tettonici e alle variazioni del livello del mare, i quali hanno contribuito a modificare il territorio fino all'attuale conformazione. Il principale agente costruttore del paesaggio come attualmente lo conosciamo è l'acqua: questa infatti continua a modificare le forme erodendo, esarando (ghiacciai) e dissolvendo le rocce, per poi riprenderle in carico, spostandole e creare nuovi ambienti sedimentari e accumuli (*Venturini, 2009*).

### **2.3.1 Geologia delle zone montane**

Le zone montuose del Friuli Venezia Giulia, tutte facenti parte delle Alpi Sud-orientali, sono tradizionalmente distinte in Alpi e Prealpi; queste complessivamente occupano il 42.5% della superficie e costituiscono un grande arco che si estende dal Cansiglio ad ovest fino al Carso ad est. Alpi e Prealpi sono entrambe suddivise in

Carniche e Giulie. Le Prealpi Carniche sono delimitate dalla linea ideale che percorre la bassa valle del Fella fino alla Confluenza con il Tagliamento, mentre le seconde sono separate dalla Val Tagliamento (Cucchi, 2009).



Figura 2.3 – La suddivisione geografica del Friuli Venezia Giulia proposta da Marinelli e Gortani (da: Cucchi, 2009).

Dal punto di vista più strettamente geologico, i rilievi regionali appartengono quasi interamente alla grande unità strutturale del Dominio Sudalpino. Le rocce affioranti nel territorio friulano sono appartenenti ad una successione stratigrafica risalente ad un periodo di tempo che va dai 460 milioni di anni fa ad oggi. Le rocce paleozoiche più antiche (Ordoviciano inferiore) sono affioranti a nord nella Catena Carnica; procedendo verso sud, anche se in maniera irregolare a causa dei disturbi tettonici, affiorano quasi tutti i terreni rappresentativi della scala dei tempi geologici fino ai depositi quaternari della pianura. Immaginando questa sequenza di terreni idealmente sovrapposti l'uno sull'altro si otterrebbe una colonna stratigrafica,

spessa oltre 15.000 metri e contenente l'intera storia geologica della Regione (Venturini, 2009).

Le rocce più presenti sono essenzialmente quelle sedimentarie, mentre vi è la totale assenza di rocce intrusive. Sono quindi molto diffuse rocce terrigene (arenarie, argilliti, siltiti, conglomerati e brecce) rocce carbonatiche (calcari e dolomie), in minore parte si possono trovare rocce evaporitiche.

Nella porzione friulana delle Alpi Carniche, soprattutto in quella più settentrionale, composta dalla Catena Carnica e dalle Dolomiti Pesarine, si trovano i rilievi più elevati e complessi (tra cui il Monte Coglians, 2780 m, il più elevato della Regione e composto in buona parte da resti di scogliera devoniani), mentre nella parte austriaca il territorio degrada più dolcemente, caratterizzato da monti inerbiti costituiti dalla grigio-nerastra Formazione dello Hochwipfel (Carbonifero, presente anche in Friuli fra Forni Avoltri e Paularo). Altro importante e caratteristico rilievo delle Alpi Carniche, anch'esso formato prevalentemente da depositi di scogliera (ma di tempi più recenti, Permiano inferiore) è la Creta d'Aip. La parte meridionale delle Carniche è costituita dalle Alpi Tolmezzine, che rappresentano l'area di dominanza dei sedimenti mesozoici (soprattutto del Triassico) con estesi affioramenti di rocce clastiche, calcareo-marnose, calcareo-dolomitiche fino alle dolomie (Martinis, 1971). Tutte le formazioni qui presenti sono caratterizzate dalle variazioni del livello del mare. La più importante e caratteristica di tutto il Sudalpino coincide con quella creata dall'instaurarsi di un grande bacino evaporitico: la formazione norica della Dolomia Principale, di cui, all'interno del settore Tolmezzino, si ha testimonianza nel gruppo del Sernio-Grauzaria e nel Monte Amariana (Carulli, 2006).

Le Alpi Giulie, estremo lembo orientale della catena alpina, interessano solo in piccola parte il territorio italiano con i gruppi del Monte Mangart, Jof di Montasio, Jof Fuart e Canin: la loro cima più alta, il Monte Tricorno (2863 m), è infatti slovena. In quest'area affiorano per la maggior parte rocce sedimentarie mesozoiche, con il prevalente sviluppo di Dolomia Principale appoggiata sulla Formazione del Dachstein (calcari dolomitici), come è ben visibile sulle principali cime italiane citate sopra, sul Cimone e sul Zuc dal Bor. In questa regione si trovano ancora dei piccoli

ghiacciai e degli interessanti laghi di origine glaciale, risultano inoltre molto numerosi i fenomeni carsici (*Carulli, 2006*).

Le Prealpi Carniche costituiscono la maggior parte del settore prealpino regionale, sono convenzionalmente divise in tre settori (gruppo del Monte Cavallo e Cansiglio, Prealpi di Claut e Tramonti, Prealpi dell'Arzino e Cavazzo). Alcune cime di quest'area raggiungono quote molto elevate come per esempio la Cima dei Preti, 2703 m. La successione dei terreni presenti va dal Triassico al Miocene superiore e inizia con la Dolomia di Forni, sostituita, in destra Tagliamento, dalla Dolomia Principale. Più a Sud, nella zona dei Gruppi del Cridola, dei Monfalconi e del Pramaggiore, riaffiora la formazione del Norico delle Dolomiti friulane. Successivamente alle dolomie ci fu la deposizione dei calcari giurassici, la cui variabilità nei confronti delle formazioni precedenti è testimonianza delle forti modifiche paleogeografiche che hanno interessato l'area in quell'era geologica. Nel Cretacico si ha invece la formazione di scogliere organogene (i cui resti si possono osservare nel Cansiglio e nel Piancavallo fino a Barcis) che i successivi spostamenti tettonici hanno portato al sollevamento, al parziale smantellamento e deposizione nei bacini profondi: tali depositi sono stati cementati nell'Eocene dalla deposizione di marne ed arenarie, il flysch formatosi è quello attualmente evidente nelle conche di Claut, Barcis, Anduins e Frisanco. Dall'Oligo-Miocene iniziano a venire a meno le deposizioni legate ad ambienti marini: le catene montuose sono ormai emerse e si sono creati dei bacini poco profondi ai margini, in cui si formano, dal materiale trasportato in essi, dei depositi molassici che ora affiorano nei colli tra Maniago e l'anfiteatro morenico del Tagliamento; il definitivo allontanamento del mare avviene nel Neogene ad opera di forti spinte di sollevamento che delineano l'orografia attuale (*Cucchi, 2009*).

Le Prealpi Giulie si trovano principalmente in Italia e si estendono tra il Fiume Tagliamento e il Carso goriziano; sono per lo più formate da montagne con quote abbastanza ridotte (quella massima, 1958 m, è toccata dal Monte Plauris). Geologicamente esse rappresentano la continuazione delle Prealpi Carniche, da cui infatti non si differenziano molto, se non per la maggiore estensione delle rocce

cenozoiche. Le dolomie e i calcari caratteristici delle Alpi Giulie affiorano sulla maggior parte della catena dei Musi, mentre la più grande estensione è quella dei depositi eocenici in facies di flysch: testimoni di enormi frane sottomarine, essi sono presenti dai colli di Gemona fino al limite a sud-est della Regione (Cucchi, 2009).

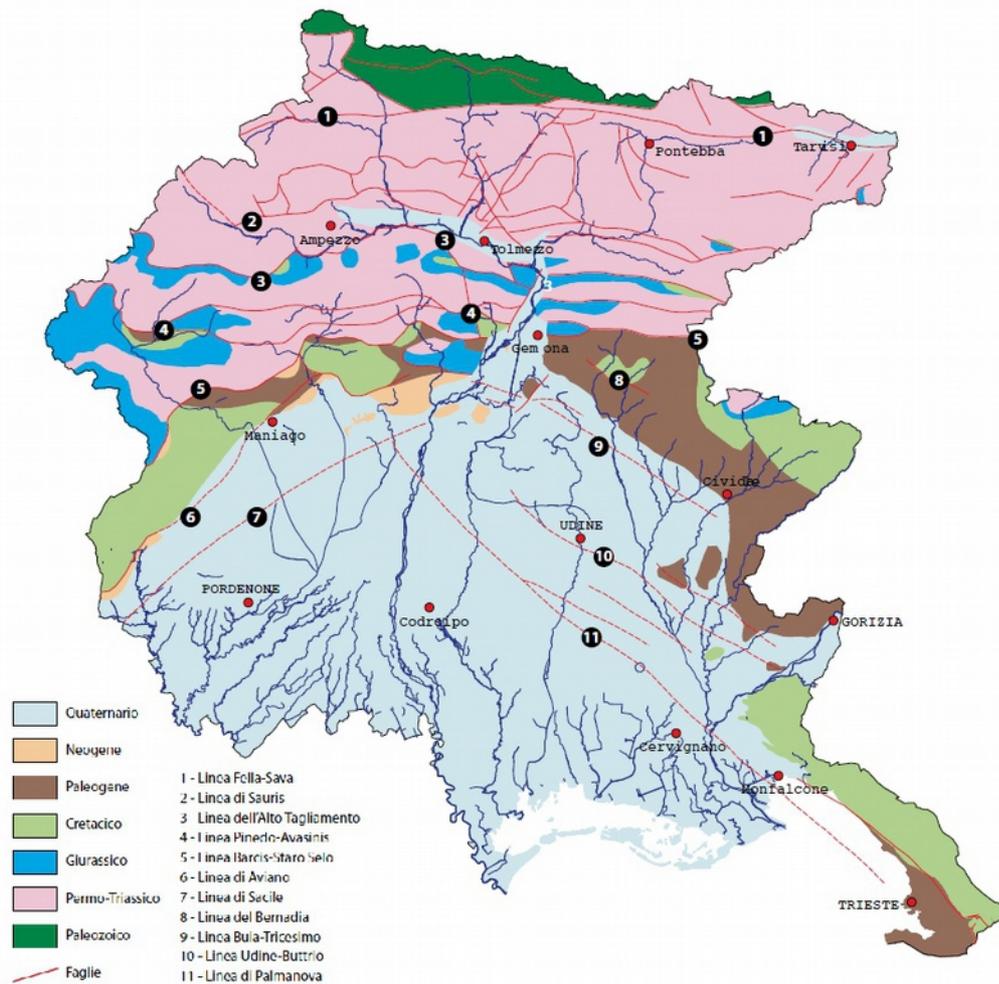


Figura 2.4 – Carta geologica semplificata del Friuli Venezia Giulia (da: Cucchi, 2009).

### 2.3.2 Idrografia delle zone montane

L'acqua ha un ruolo fondamentale nel modellamento della superficie terrestre, strettamente legate a questa sua attività sono le evoluzioni delle condizioni climatiche e le vicende geologiche dell'area, i cui processi hanno condizionato la morfologia e creato le caratteristiche litologiche della zona stessa. Queste caratteristiche permettono quindi di delimitare i bacini di raccolta delle precipitazioni, per cui le acque che cadono in una determinata superficie vengono

tutte convogliate in un canale principale da una serie di corsi minori. Per l'azione erosiva esercitata dall'acqua di una precipitazione, la quale scorre lungo i versanti di un bacino, il materiale solido che lo costituisce viene portato a valle; la dimensione e la quantità di sedimento movimentato sono dipendenti dalla forza, dalla quantità e dalla velocità dell'acqua che, a sua volta, sono influenzate dalla pendenza del bacino e dalla quantità di piogge. Il bacino idrografico, che nelle montagne friulane presenta solitamente un reticolo dendritico parallelo, è diviso dagli altri bacini dalla linea spartiacque o di displuvio (*Marchetti & Panizza, 2001*).

L'alimentazione dei corsi d'acqua montani è un parametro importante sia per la caratterizzazione della quantità e della qualità delle acque, sia per la morfologia dello stesso. In Friuli Venezia Giulia l'alimentazione è solitamente di tipo pluviale. I corsi d'acqua sono soggetti quindi a piene in concomitanza dei periodi piovosi e a momenti di magra nei periodi secchi.

La caratteristica generale dei tratti montani dei corsi d'acqua della Regione è quella di scorrere in un solco inciso nella roccia, oppure nelle alluvioni antiche o nelle morene glaciali, e di trovarsi sempre in fase erosiva. Segue più a valle un tratto costituito da un letto con depositi alluvionali grossolani, accumulati nella fase di decrescita delle piene, e spesso costituenti delle barre longitudinali (o a losanga) nel centro del canale. In corrispondenza dello sbocco vallivo, dove generalmente si forma il conoide di deiezione, il letto è caratterizzato da una distesa di alluvioni ciottolose solcate da una rete di canali (tratti anastomizzati) che costituiscono il letto di magra. Nei periodi di minori precipitazioni il deflusso superficiale spesso scompare e la circolazione si limita al subalveo, facilitata dall'estrema permeabilità del materiale ghiaioso. Alcuni corsi d'acqua della Regione sono solitamente definiti fiumi anche se sono più propriamente dei torrenti, intendendo con tale termine un corso d'acqua permanente o temporaneo caratterizzato da alte velocità medie della corrente, con regimi delle portate molto variabili, caratterizzati da forti e improvvise piene e da periodi di magra (*Negrinis & Stefanini, 1971*).

I corsi d'acqua principali della Regione, i cui bacini occupano quasi tutta la zona montuosa, sono il Livenza, il Tagliamento e l'Isonzo. Il primo è caratterizzato dalla

sovrapposizione di un regime prettamente sorgentifero dell'asta principale al regime torrentizio dei suoi due più grossi affluenti: il Cellina, che convoglia anche le acque del Cimoliana e del Settimana per un totale di 450 km<sup>2</sup> drenati, e il Meduna, che allo sbocco in pianura, dopo aver drenato 250 km<sup>2</sup> di bacino montano, riceve anche le acque del Noncello. Il Tagliamento è il principale e più caratteristico fiume friulano, nasce sotto il Passo della Mauria e nei primi 60 km riceve (sempre in sponda sinistra) il Lumiei, il Degano, il But e il Fella, l'affluente principale. Raggiunto Pinzano, il Tagliamento, dopo aver ricevuto anche gli affluenti secondari Leale, Arzino, Venzonassa, Cosa e Ledra, ha drenato una superficie di ben 2.400 km<sup>2</sup>.

Caratteristica geologica del suo bacino è quella di essere in buona parte composto da calcari e dolomie, rocce che ben si prestano alla disgregazione e alla formazione di molti detriti. Grande importanza è rivestita anche dalla permeabilità del bacino montuoso: questo risulta permeabile solamente per il 59%, motivo per il quale buona parte degli affluenti presentano un alto grado di perennità. L'Isonzo, il quale nasce da sorgenti di tipo carsico nelle Alpi Giulie, ha un bacino montano che interessa la Slovenia e in minor parte l'Italia. Tra i suoi affluenti principali in Regione troviamo il Torre (con i subaffluenti Malina, Judrio e Versa), il Natisone (con il subaffluente Cosizza) e il Vipacco. Il bacino di questo fiume è quello interessato dalle precipitazioni più elevate, caratteristica che si riflette nelle sue forti piene e, indirettamente, nelle numerose opere antropiche di protezione costruite nel suo alveo e in quello dei suoi affluenti (*Negrisin & Stefanini, 1971*). È da notare che una piccola parte della Regione, ovvero la zona del tarvisiano, è interessata dal bacino dello Slizza, piccolo torrente subaffluente del Fiume Danubio.

Le parti montane dei principali bacini risultano spesso sfruttate da grossi impianti idroelettrici, alcuni costruiti già agli inizi del 1900. Tali opere, assieme a quelle costruite per prevenire dissesti idrogeologici e per la sicurezza idraulica, hanno un notevole impatto sulle morfologie dei corsi d'acqua e sulla loro evoluzione.

### **2.3.3 Geologia del Carso classico**

In Friuli Venezia Giulia, grazie ai circa 1.900 km<sup>2</sup> di affioramenti di rocce carbonatiche, sono molto comuni le aree fortemente carsificate (*Cucchi et al., 2010*). Il Carso in senso stretto coincide con la vasta unità che si estende dall'Isonzo fino a Postumia: con una superficie di circa 600 km<sup>2</sup>, ha una forma quasi rettangolare e presenta uno spessore carsificato di almeno 500/600 metri. Appartiene alla piattaforma carbonatico carsico-friulana, ovvero una potente successione di rocce prevalentemente carbonatiche, datate dal Triassico all'Eocene, sovrastata da flysch: tale serie è rappresentativa di condizioni di mare basso, caldo, ben ossigenato e ricco di organismi biocostruttori il cui sviluppo è stato arrestato dall'arrivo di correnti torbide legate a grandi frane sottomarine responsabili della sedimentazione di arenarie e marne (*Cucchi, 2009*). Il Carso classico è espressione di un carsismo relativamente maturo in cui le forme di superficie iniziali non sono quasi più riconoscibili e le cavità preservano molto raramente le morfologie primarie sia per la presenza di materiali di riempimento e concrezioni, sia per variazioni del livello di base e adattamenti ai movimenti tettonici (*Zini, 2010*).

### **2.3.4 Idrografia del Carso classico**

Il modello idrogeologico della zona è riassumibile in tre settori: uno in cui le acque passano da epigee ad ipogee e vanno ad alimentare le acque di fondo carsiche, uno in cui queste acque scorrono in profondità con articolati percorsi e uno in cui le acque vengono alla luce e defluiscono al mare. Quest'ultimo settore è quello che comprende il sistema sorgentifero del Timavo, i Laghi di Doberdò e Pietrarossa e delle sorgenti minori che alimentano i canali Lisert e Moschenitze (*Zini, 2010*).

Ai confini a sud del Carso vi è l'unico esempio di valle fluviocarsica con idrografia superficiale della Regione: la Val Rosandra. Il torrente omonimo ha dato origine a un bellissimo esempio di erosione selettiva al passaggio tra flysch e calcari del Terziario; all'entrata della valle, subito dopo la confluenza di due corsi d'acqua sloveni, il Torrente Rosandra ha formato uno spettacolare salto d'acqua di circa 30 metri, per poi scorrere in forra per alcuni chilometri fino all'inizio delle perdite di subalveo. Il

torrente continua a scorrere, incidendo le sue alluvioni, fino a sfociare nella Baia di Muggia (Zini, 2010).

### **2.3.5 Geologia della Pianura Veneto-friulana**

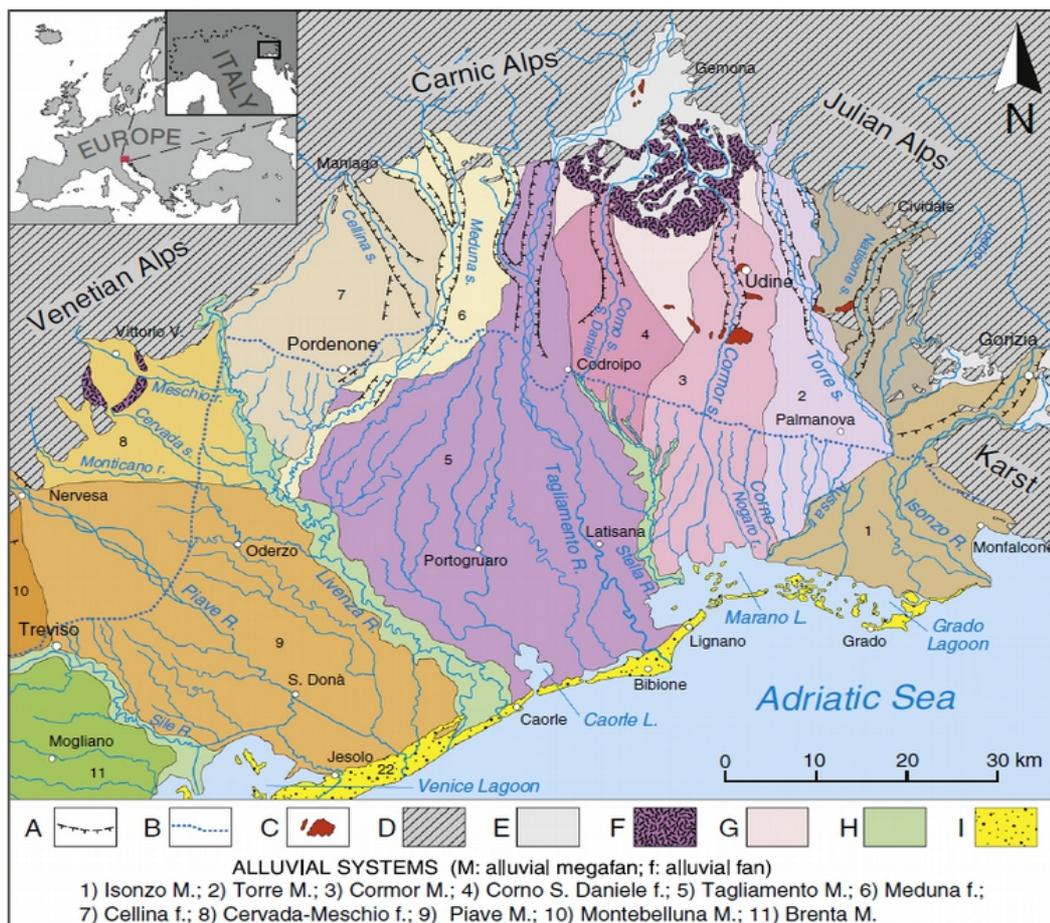
La Pianura Veneto-friulana, pur appartenendo geograficamente alla Pianura Padana, si differenzia presentando delle importanti specificità. La prima è che il suo sistema idrografico non è tributario del Fiume Po ma si riversa direttamente nel Mare Adriatico, la seconda è la breve distanza che esiste tra la catena alpina e la linea di costa (la quale diminuisce progressivamente andando verso est). Quest'ultima caratteristica fa sì che le granulometrie dei depositi fluviali della bassa pianura, sia attuali che pleistoceniche, siano di dimensioni progressivamente maggiori fino a raggiungere il Fiume Isonzo dove le ghiaie arrivano al mare (Venturini, 2003).

Fattori determinanti per l'evoluzione della pianura sono stati il forte apporto di materiale da parte delle Alpi Orientali, legato alla loro attività tettonica (Castiglioni, 2001) e le variazioni ambientali del Pleistocene superiore e dell'Olocene che hanno controllato le modalità di aggradazione dei sistemi fluviali (glaciazioni e innalzamento eustatico del livello marino) (Fontana et al., 2004).

I depositi glaciali connessi alle varie fasi sono presenti in tutta la pianura, quelli più evidenti sono legati all'ultima glaciazione (Würm), il cui massimo avanzamento si è verificato circa 24.000 - 15.000 anni (LGM) B.P. e la cui estensione ha quasi sempre coperto i depositi delle fasi antecedenti. Oltre ai 3 cerchi morenici depositatisi sul fronte del ghiacciaio würmiano, ben evidenti sono le strutture costituenti la morfologia della pianura attuale, ovvero i livelli di depositi fluvio-glaciali collegati al postglaciale (post LGM, *Last Glacial Maximum*, ultimi 17.000 anni): in questi anni si sono formati i bacini fluviali attuali, i quali hanno iniziato a trasportare il materiale prodotto dalla disgregazione delle Alpi, andando a formare accumuli a granulometria sempre più fine man mano che, avvicinandosi al mare, l'acqua perdeva la capacità di trasporto. Già in periodo pleistocenico i fiumi divagavano nella pianura da essi formata, abbandonando ripetutamente i loro alvei. Allo sbocco vallivo la sedimentazione delle parti di detrito più grossolane ha formato dei sistemi

deposizionali a forma di ventaglio che si estendono fino alla linea di costa, zona in cui si sono depositate le porzioni più fini.

Attualmente i maggiori fiumi della Pianura Veneto-friulana (Tagliamento, Piave e Brenta) presentano nella zona iniziale un letto molto largo a canali intrecciati, mentre poco più a sud della linea delle risorgive diventano monocorsuali (prima ad isole fluviali e poi meandriformi), con canali profondi svariati metri e con un'ampia zona di esondazione. Nei loro tratti terminali questi fiumi diventano pensili rispetto alla loro pianura e si ha la formazione di dossi fluviali. L'estensione di queste strutture deposizionali, i bassi gradienti topografici della bassa pianura e la selezione granulometrica che li contraddistingue li rendono piuttosto diversi dai conoidi alluvionali "classici" descritti in letteratura (*Bull, 1977; Kelly & Holsen, 1993*). Il termine conoide, quindi, descrive bene solamente le porzioni di alta pianura di queste strutture, mentre per la descrizione dell'intera forma deposizionale risulta molto più adeguata la definizione di *megafan* ("megaconoide") (*Geddes, 1960; Gohain & Parkash, 1990*) coniata per le strutture pede-himalayane. Quasi tutti i megaconoidi della Pianura Veneto-friulana risultano incisi nella loro parte superiore (corrispondente alla fase pleniglaciale) e ricoperti in quella inferiore da corpi deposizionali più recenti e di minori dimensioni (*Fontana et al., 2004*).



*Figura 2.5 – Sistema deposizionale del Tardo Quaternario della pianura Veneto-friulana: (A) scarpata fluviale, (B) limite superiore delle risorgive, (C) terrazzi tettonici, (D) montagne e colline, (E) depositi intramontani, (F) morene terminali, (G) depositi intrafan, (H) corsi d'acqua di risorgiva, (I) sistema di delta costali e lagune (da: Fontana et al., 2014).*

Per le caratteristiche di queste strutture deposizionali si sono venute così a delineare un'alta e una bassa pianura aventi caratteristiche litologiche e idrologiche nettamente distinte: la prima, omogenea e ad alta permeabilità, costituita principalmente dalle alluvioni ghiaiose o ghiaioso-sabbiose degli scaricatori glaciali, con una pendenza compresa tra il 3 e il 17‰ e con la presenza costante di una falda freatica, e la seconda, con una stratigrafia molto più complessa costituita da sabbie (corpo di canale), limi e argille (esondazioni) localmente intersecati da strati ghiaiosi, a testimonianza di periodi in cui le correnti dei fiumi erano di maggiore intensità.

La separazione tra alta e bassa pianura è ben evidente in superficie ed è in questa zona che si forma uno degli elementi più caratteristici della Pianura Veneto-friulana: le risorgive. Questo fenomeno è dovuto alla venuta a giorno della falda

freatica, alimentata in continuo dagli apporti meteorici e dagli spandimenti fluviali, la quale si verifica lungo una fascia di larghezza variabile (anche in funzione delle condizioni di alimentazione) tra i 2 e 10 km ed è individuata da un limite superiore e da uno inferiore. In questa fascia, gli orizzonti impermeabili, costituiti principalmente da argilla, costringono parte della falda freatica a emergere in superficie mentre la porzione rimanente continua a scorrere verso valle formando un sistema di falde confinate in pressione (falde artesiane).

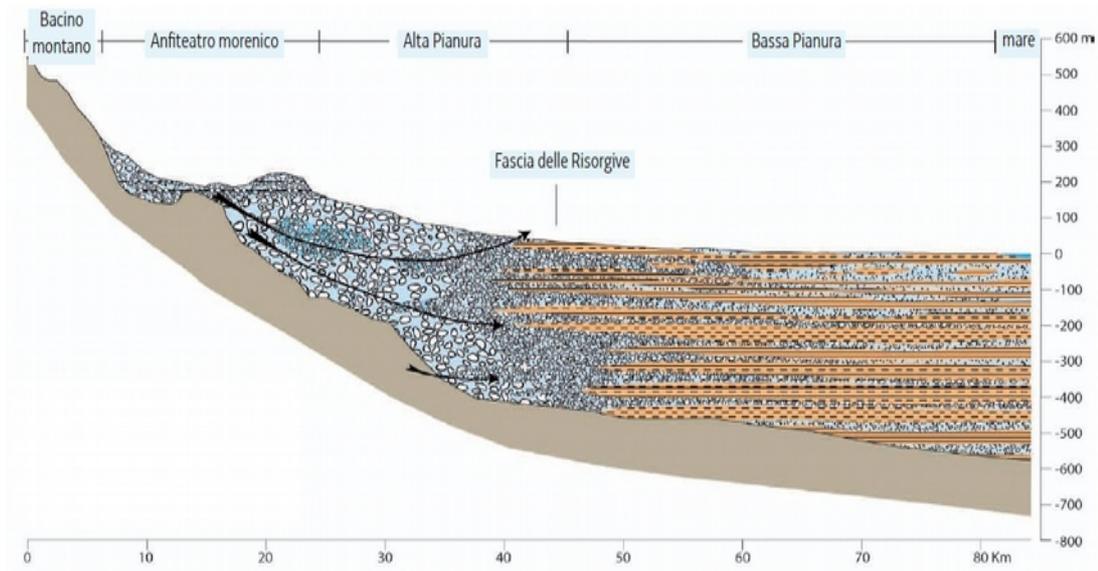


Figura 2.6 – Schema illustrante l'idrogeologia della Pianura Friulana (da: Zini, 2011).

### 2.3.6 Idrografia della pianura

L'idrografia della bassa Pianura Veneto-friulana è caratterizzata da molti piccoli corsi d'acqua di risorgiva, i quali formano una rete ben definita e sviluppata; spesso le aste si riuniscono a ventaglio andando a formare un fiume di maggiori dimensioni. Va precisato che, in condizioni di magra, anche le acque dei principali fiumi alpini di quest'area devono essere annoverate come acque di risorgiva in quanto riemergono negli alvei dopo lo stesso percorso sotterraneo e gli stessi processi descritti nel paragrafo precedente (Novelli, 1990). L'alta pianura è invece caratterizzata dalla presenza dei fiumi alpini, che in questa zona si comportano come torrenti, e, così come nell'anfiteatro morenico, dalle "lavie": corsi d'acqua effimeri, con un bacino molto limitato, che recapitano le loro acque in vaste aree di pianura senza mai defluire in altri corsi o in mare (Tubaro, 2004).

La fascia delle risorgive si estende in maniera quasi continua ai piedi delle Alpi. Nella porzione della Pianura Veneto-friulana si origina nella zona delle foci del Fiume Isonzo e risale fino alle risorgive dello Stella, all'altezza di Codroipo, passa nei pressi di Pordenone e continua fino alle basi dell'Altopiano del Cansiglio. Le risorgive si spostano poi in basso fino alla risorgive del Sile nella zona di Treviso e proseguono verso ovest per interrompersi in corrispondenza con i Monti Lessini. Ricompaiono, anche se con caratteristiche leggermente diverse, in destra idrografica del Fiume Adige e proseguono fino a Torino e, in maniera frammentata, anche nella zona di Cuneo e nella fascia pedeappenninica presso Piacenza, Parma, Modena e Bologna (Muscio, 2002).



Figura 2.7 – Andamento della linea delle risorgive (in rosso) (da: Muscio, 2002).

I corsi d'acqua di risorgiva si differenziano da quelli alpini per il loro regime idrologico quasi costante (Fig. 2.8) caratterizzato da portate ridotte [stimate, in sinistra Tagliamento, tra gli  $1,3 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{km}$  e i  $1,43 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{km}$  alle sorgenti (Novelli, 1990)] e dalla mancanza di materiale erosivo dai monti; queste peculiarità, legate alle naturali basse pendenze delle loro aste, comportano che questi corpi idrici abbiano svolto una limitata attività morfogenetica e che tuttora la loro capacità di

erosione e trasporto sia molto limitata, soprattutto come trasporto al fondo. In Friuli Venezia Giulia la maggior parte di questi corsi d'acqua hanno quindi avuto un'evoluzione morfologica che si è limitata alla creazione di alvei stretti e poco incisi e all'erosione di piccoli terrazzi. L'incisione, che risulta comunque superiore alle dimensioni del letto, è causata quasi sempre dalla divagazione del corso all'interno della sua "valle" (Fontana & Bondesan, 2006); si differenziano, scorrendo su vallate ampie, lo Stella, il Corno di Nogaro, il Lemene, il Reghena, l'Arcon, il Fiume e il Sile (Fontana, 2006).

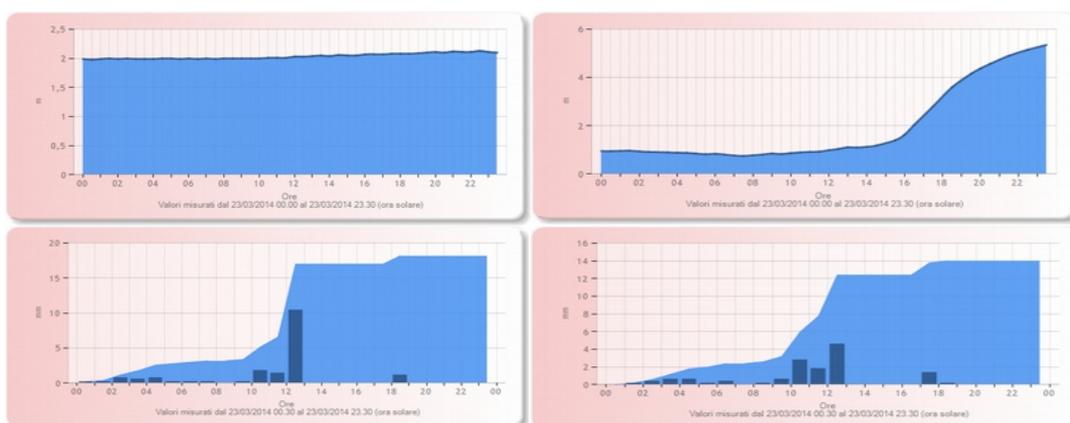


Figura 2.8 – A sinistra, grafico idrometrico (in alto) e pluviometrico (in basso) del Fiume Stella a Pocenia; a destra, grafico idrometrico della stazione di Latisana (in alto) e pluviometrico (in basso) nel medio bacino del Fiume Tagliamento. Vista l'estensione del bacino del Tagliamento, i dati di un solo pluviometro sono da considerarsi meno rappresentativi (dati del 23/03/2014, fonte: Protezione Civile).

Questi corpi idrici si sono instaurati su depressioni presenti nella pianura preesistente, avendo quindi un ruolo passivo: alcuni di essi si sono instaurati nelle zone di contatto dei *megafan* dei principali corsi d'acqua con bacino montano (ad esempio lo Stella scorre nell'avvallamento tra il *megafan* del Tagliamento e quello del Cormor), mentre molti altri hanno sfruttato alvei abbandonati dei fiumi alpini (Fontana, 2006).

È importante sottolineare come buona parte del drenaggio attuale, soprattutto in zona perilagunare e nella zona a ridosso della fascia delle risorgive, sia sostenuta da una fitta rete di canali artificiali, scoline e fossi. Questa ha consentito la bonifica di tali territori ed è l'attività umana che più ha influito sulle modifiche della zona. Le opere di scavo sono iniziate in tempi romani e proseguite durante la dominazione

veneziana e il periodo austroungarico, venendo ultimate con massicce opere tra gli anni '20 e '50 del secolo scorso (*Fontana, 2006*). Forti impatti sono stati dati anche dalla meccanizzazione dell'agricoltura, la quale ha notevolmente accelerato la modifica delle morfologie legate alle forme fluviali (*Tirelli, 2009*), e dalla forte crescita delle città e degli insediamenti, che hanno condotto all'isolamento delle superfici dall'esterno (*soil sealing*) (*Fontana et al., 2004*). La costruzione dei bacini idroelettrici nelle aree montane, che ha limitato le portate liquide disponibili, unita alla forte escavazioni di inerti, hanno ridotto le quantità di sedimento trasportabile provocando notevoli variazioni (restringimento e incisione) sulle parti di pianura delle aste fluviali alpine (*Surian & Rinaldi, 2003*). I corsi d'acqua di risorgiva risultano mediamente poco antropizzati, a differenza delle porzioni di bassa pianura dei fiumi alpini sono quasi sempre stati bloccati planimetricamente da protezioni di sponda e "canalizzati" con alti argini a poca distanza dall'alveo.

# 3. METODOLOGIA DI SELEZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO FLUVIALI

## 3.1 ASPETTI PRINCIPALI E QUADRO NORMATIVO

L'entrata in vigore della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (*Water Framework Directive, WFD*), recepita in Italia con il D. Lgs. 152/2006, ha determinato una forte trasformazione nelle modalità di controllo e classificazione dei corpi idrici. Questa è finalizzata al raggiungimento di uno stato sostenibile dei diversi ambienti acquatici e individua gli obiettivi che gli Stati Membri devono conseguire, tra questi il raggiungimento dello stato ecologico BUONO per tutti i corpi idrici entro il 2015. Gli aspetti principali che definiscono la sua applicazione pratica sono:

- tipizzazione: basandosi su parametri geografici e idromorfologici si devono identificare dei tratti distinti e significativi;
- condizioni di riferimento: per ogni tipologia identificata si devono stabilire le "condizioni di riferimento", ovvero la situazione che riflette al meglio le condizioni naturali indisturbate, quindi senza impatto antropico rispetto a degli Elementi di Qualità Biologica (EQB), chimici, chimico-fisici e, aspetto innovativo, idromorfologici.
- monitoraggio: gli Stati Membri devono fornire una classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici in una delle cinque classi (Elevato, Buono, Sufficiente, Scadente e Pessimo) e devono evidenziare i cambiamenti dello stato ecologico dei corpi idrici definiti "a rischio". I sistemi di monitoraggio dovranno quindi evidenziare le risposte degli EQB agli eventuali impatti a cui è sottoposto il corpo idrico.
- classificazione: le condizioni ecologiche rilevate in ogni corpo idrico dovranno essere confrontate con quelle nei siti di riferimento. L'appartenenza ad una delle 5 classi di stato ecologico dipenderà quindi dal grado di deviazione dalle condizioni di riferimento.

Successivamente al D. Lgs. 152/2006, sono stati emanati 3 decreti esplicativi dei quattro punti trattati sopra.

- Il D.M. 131/2008 *“Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici - Attuazione articolo 75, D. Lgs. 152/2006”*;
- il D.M. 56/2009 *“Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici - Articolo 75, D. Lgs. 152/2006”*;
- il D.M. 260/2010 *“Criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali - Modifica norme tecniche D. Lgs. 152/2006”*. Con questo Decreto viene inserito in Italia un aspetto innovativo, ovvero è prevista l'assegnazione ad uno stato ecologico attraverso la valutazione di composizione e abbondanza delle comunità biologiche, questa è supportata dalla classificazione di aspetti idromorfologici, chimici e chimico-fisici (ISPRA, 2012).

### **3.2 TIPIZZAZIONE DEI CORPI IDRICI**

Per stabilire l'unità di base gestionale (e per poterne quindi definire le condizioni di riferimento) la Direttiva richiede agli Stati Membri di effettuare una classificazione in "tipi" secondo una metodologia comune. I "tipi" vengono definiti dal D. Lgs. 152/06 all'art. 74 comma 2 lettera h come *“un elemento distinto e significativo di acque superficiali, quale un lago, un bacino artificiale, un torrente, fiume o canale, acque di transizione o un tratto di acque costiere”* e devono essere descritti secondo parametri abiotici, ovvero geografici, fisici e idrologici. La tipizzazione in Friuli Venezia Giulia è stata applicata a tutti i corsi d'acqua con un bacino idrografico > 10 km<sup>2</sup> e in corsi d'acqua con bacini minori dove venissero rilevate particolari caratteristiche paesaggistico-naturalistiche (ad esempio in zone di risorgiva).

La procedura utilizzata per la definizione delle diverse tipologie si basa sul lavoro svolto dal CEMAGREF (*Centre National du Machinisme Agricole, du Genie Rural, des Eaux et des Forets*) per la Francia (Wasson et al., 2006), la metodologia operativa è stata descritta in Italia nel *Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 16 giugno 2008 (Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione di corpi idrici)* e si articola in 3 livelli:

- I° livello: regionalizzazione;
- II° livello: definizione di una tipologia di massima;
- III° livello: definizione di una tipologia di dettaglio (facoltativo).

La Regione Friuli Venezia Giulia ha attualmente applicato i primi due livelli.

Il D. Lgs. 152/06 introduce inoltre alcune definizioni legate all'antropizzazione dei corpi idrici che permettono di dividerli in: naturali (N), artificiali (AWB) e fortemente modificati (HWMB).

I corpi idrici fortemente modificati, definiti all'art. 74 comma 2 lettera g come *“un sottoinsieme di corpi idrici superficiali la cui natura, a seguito di alterazioni fisiche dovute a un'attività umana, è sostanzialmente modificata”*, sono stati introdotti nella classificazione, assieme a quelli artificiali, per poter permettere agli Stati Membri di non rinunciare a quegli usi specifici che garantiscono funzioni sociali e economiche, attuando nel contempo le misure di mitigazione dell'impatto finalizzate al miglioramento della qualità dei corpi idrici. Questi potrebbero quindi non essere in grado di raggiungere gli obiettivi predisposti dalla WFD, è quindi possibile assegnare loro una proroga al termine fissato per il loro raggiungimento o di attribuire loro obiettivi ambientali meno restrittivi (ISPRA, 2013).

### **3.2.1 Regionalizzazione**

In accordo con le Autorità di Bacino, le Regioni e le ARPA sono state utilizzate le idroecoregioni (HER) definite dal CEMAGREF e verificate su scala regionale. È stata quindi eseguita una preliminare divisione in aree che presentano al loro interno una limitata variabilità per le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche. Il territorio del Friuli Venezia Giulia è interessato da 4 delle HER in cui è stata divisa l'Europa (21 delle quali sono rappresentate in Italia). Queste sono (Fig. 3.1):

- HER 02, Prealpi e Dolomiti (CALCAREUS SOUTHERN ALPS AND DOLOMITES);
- HER 03, Alpi Centro-Orientali (INNER ALPS - E);
- HER 06, Pianura Padana (PO PLAIN);
- HER 07, Carso (YUGOSLAVIAN KARST).

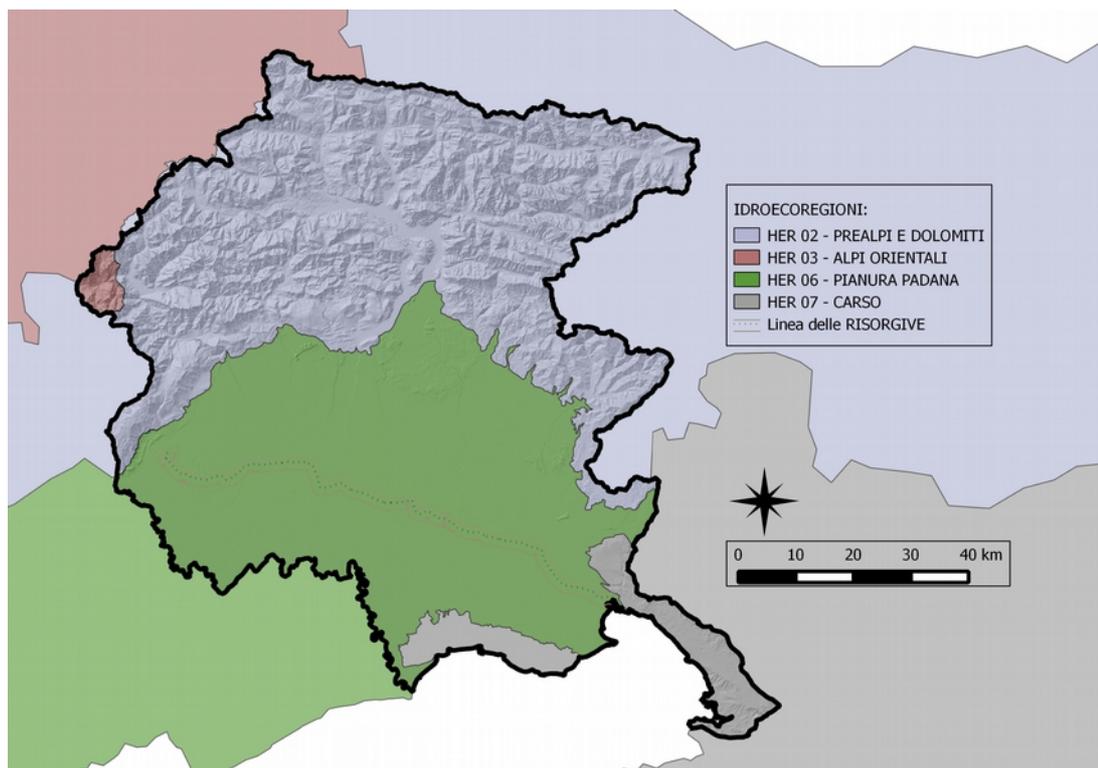


Figura 3.1 – Le idroecoregioni individuate dal CEMAGREF che interessano il Friuli Venezia Giulia.

### 3.2.2 Definizione di una tipologia di massima

Il secondo passaggio ha previsto l'individuazione, all'interno delle HER, di tipologie definite attraverso pochi elementi descrittivi e di facile applicabilità. Il CNR-IRSA ha scelto i seguenti descrittori idrologici e idromorfologici:

- perennità e resistenza;
- origine del corso d'acqua;
- distanza dalla sorgente (indicante la taglia del corso d'acqua);
- morfologia dell'alveo (per i fiumi temporanei);
- influenza del bacino a monte.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua con superficie minore di 10 km<sup>2</sup>, la normativa impone di applicare la tipizzazione nel caso di ambienti di particolare rilevanza paesaggistico-naturalistico, di ambienti individuati come siti di riferimento nonché per i corsi d'acqua che hanno un carico inquinante tale da modificare significativamente il corpo idrico recettore. Sotto quest'ottica la Regione Friuli Venezia Giulia ha scelto di procedere alla tipizzazione dei più importanti corsi

d'acqua di risorgiva, per i quali, oltretutto, risulta riduttivo e poco applicabile il limite del bacino idrografico. Inoltre sono stati tipizzati altri corpi idrici di natura carsica e sede di importanti approvvigionamenti idrici (*Regione Autonoma FVG., 2012*).

### **3.2.2.1 Perennità e resistenza**

Punto fondamentale dell'intera tipizzazione è la distinzione tra corpi idrici perenni e temporanei. La normativa definisce perenni i fiumi in cui l'acqua è sempre presente in alveo mentre definisce temporanei quelli soggetti a periodi di asciutta totale o di tratti dell'alveo annualmente o almeno 2 anni su 5. Per quelli considerati perenni si passerà a delle valutazioni successive legate alla sua origine e alle sue dimensioni, mentre nel secondo caso verranno valutate la morfologia dell'alveo e la persistenza del flusso definendoli:

- intermittenti, ovvero con acqua in alveo per più di 8 mesi l'anno;
- effimeri, ovvero con acqua in alveo per meno di 8 mesi l'anno;
- episodici, ovvero con acqua in alveo solo dopo precipitazioni molto intense.

Nello specifico caso friulano, sono stati individuati 272 tratti perenni e 46 tratti temporanei. Questi tratti temporanei sono generalmente tratti di alta pianura (principalmente nella zona dei "magredi" e delle "lavie") dove il potente materasso ghiaioso non permette un normale scorrimento superficiale (*Regione Autonoma FVG, 2012*).

### **3.2.2.2 Origine del corso d'acqua**

Nel caso di fiumi perenni, è possibile poter discriminare i tipi fluviali, questo può essere utile, soprattutto nei primi tratti, per evidenziare ecosistemi di particolare interesse. Per tale motivo si dividono i corsi d'acqua in base all'origine:

- da scorrimento superficiale di acque di precipitazione/scioglimento di nevai;
- da grandi laghi;
- da ghiacciai;

- da sorgenti;
- da acque sotterranee (ad esempio di risorgiva).

Allontanandosi dalla sorgente, questo tipo di classificazione perde di importanza, in quanto gli effetti di un particolare tipo di origine si affievoliscono.

L'applicazione di questo parametro nel territorio regionale ha permesso di classificare i corpi idrici:

- 203 originati da scorrimento superficiale;
- 11 da sorgente;
- 58 da acque sotterranee (*Regione Autonoma FVG, 2012*).

### 3.2.2.3 Distanza dalla sorgente

Questo indicatore, utilizzato nel caso di fiumi perenni, fornisce informazioni sulla taglia del corso d'acqua in quanto è un descrittore indiretto della grandezza del suo bacino. La normativa prevede si possa alternativamente utilizzare la dimensione del bacino sotteso alla sezione di chiusura del tratto considerato.

Sono state proposte 6 classi di taglia, come indicato nella *Tabella 3.1*:

Taglia del corso d'acqua	Distanza dalla sorgente	Superficie di bacino sotteso	Codice
Corso d'acqua molto piccolo	< 5 Km	< 25 Km <sup>2</sup>	1
Corso d'acqua piccolo	5 - 25 Km	25 - 150 Km <sup>2</sup>	2
Corso d'acqua medio	25 - 75 Km	150 - 750 Km <sup>2</sup>	3
Corso d'acqua grande	75 - 150 Km	750 - 2500 Km <sup>2</sup>	4
Corso d'acqua molto grande	> 150 Km	> 2500 Km <sup>2</sup>	5
*	< 10 Km	-	6

\* per i corsi d'acqua a una distanza inferiore ai 10 Km dalla sorgente originati da sorgenti o da acque sotterranee si applica il codice 6.

*Tabella 3.1 - Corrispondenza tra la taglia di un corso d'acqua e la distanza dall'origine.*

La Regione Friuli Venezia Giulia ha deciso di utilizzare come parametro descrittore la dimensione del bacino; solamente nel caso particolare dei fiumi di risorgiva si è

ritenuto più significativo utilizzare la distanza dalla sorgente (*Regione Autonoma FVG, 2012*).

#### ***3.2.2.4 Morfologia dell'alveo***

Questo parametro si applica solamente ai fiumi temporanei. È un descrittore considerato di grande rilevanza dalla normativa per la caratterizzazione della struttura e del funzionamento dell'ecosistema nei fiumi temporanei. I due raggruppamenti possibili sono:

- meandriforme, sinuoso o confinato;
- semiconfinato, transizionale, a canali intrecciati o fortemente anastomizzato.

In Friuli Venezia Giulia, i tratti del primo tipo sono risultati 28 e del secondo tipo 18 (*Regione Autonoma FVG, 2012*).

#### ***3.2.2.5 Influenza del bacino a monte***

Il parametro viene valutato considerando il rapporto tra l'estensione totale del fiume (es. la distanza dalla sorgente) e l'estensione lineare dello stesso all'interno dell'idroecoregione di appartenenza (a monte del sito fino ai limiti dell'HER). In questo modo si definisce l'indice di Influenza del Bacino a Monte (IBM) come: estensione lineare totale del fiume / estensione lineare del fiume nella HER di appartenenza.

Anche in questo caso la Regione Friuli Venezia Giulia ha deciso di ragionare in termini di bacino sotteso per per i corsi d'acqua montani e di distanza dalla sorgente per i corsi d'acqua di risorgiva (*Regione Autonoma FVG, 2012*).

	IBM	Influenza del bacino a monte	Codice
HER 2,6,7	$IBM \leq 1,25$	Trascurabile o nulla	T
	$1,25 \leq IBM \leq 2$	Debole	D
	$IBM > 2$	Forte	F
HER 3	-	Non applicabile (per corsi endogeni)	N

Tabella 3.2 – Criteri per l'attribuzione alle classi di influenza del bacino a monte in Friuli Venezia Giulia.

### 3.2.3 Definizione di una tipologia di dettaglio

Questo livello consente una ridefinizione più accurata dei risultati ottenuti nei livelli precedenti. Possono essere analizzati diversi fattori che consentirebbero di adattare le tipologie alle specificità del territorio e di rimediare ad eventuali disomogeneità o incongruenze. Questa fase non è ancora stata attuata in Regione, anche se è stato deciso di tenere conto della distinzione in substrato siliceo, calcareo o depositi alluvionali. Le informazioni raccolte durante i monitoraggi basati sulla tipizzazione di secondo livello verranno utilizzate in futuro per l'attuazione di questa fase (*Regione Autonoma FVG, 2012*).

### 3.2.4 Risultati della tipizzazione

I risultati della tipizzazione in Friuli Venezia Giulia sono stati riportati nell'analisi conoscitiva del Piano Regionale di Tutela Acque, allegato alla Delibera N°2000 del 15 Novembre 2012. Oltre che per i fiumi, la tipizzazione è stata applicata anche ad altre categorie di corpi idrici che non interessano direttamente questo lavoro: i laghi, le acque di transizione e le acque marino costiere.

La metodologia applicata permette di catalogare i corpi idrici con un codice di facile lettura che riassume tutte le caratteristiche utilizzate per la tipizzazione (*Fig. 3.2*). In *Tabella 3.3* sono riassunti tutti i corpi idrici tipizzati con il loro relativo codice e la loro abbondanza in Regione, mentre in *figura 3.2* è illustrato il metodo di codifica dei corpi idrici e in *figura 3.3* sono riportati i corpi idrici tipizzati.

IDROECOREGIONE:  
 02 - PREALPI E DOLOMITI  
 03 - ALPI ORIENTALI  
 06 - PIANURA PADANA  
 07 - CARSO

INFLUENZA BACINO A MONTE:  
 T - NULLA  
 D - DEBOLE  
 F - FORTE  
 N - NON APPLICABILE

02 SS 1 T

ORIGINE:  
 SS - SCORRIMENTO SUPERFICIALE  
 AS - ACQUE SOTTERANEE  
 SR - SORGENTE  
 GL - GRANDI LAGHI  
 IT - INTERMITTENTI

DIM. BACINO/ DISTANZA DALLA SORGENTE:  
 1 - MOLTO PICCOLO / < 5 KM  
 2 - PICCOLO / 5-25 KM  
 3 - MEDIO / 25-75 KM  
 4 - GRANDE / 75 – 150 KM  
 6 - < 10 KM DA SORGIVA

Figura 3.2 – Codice di un corpo idrico perenne.

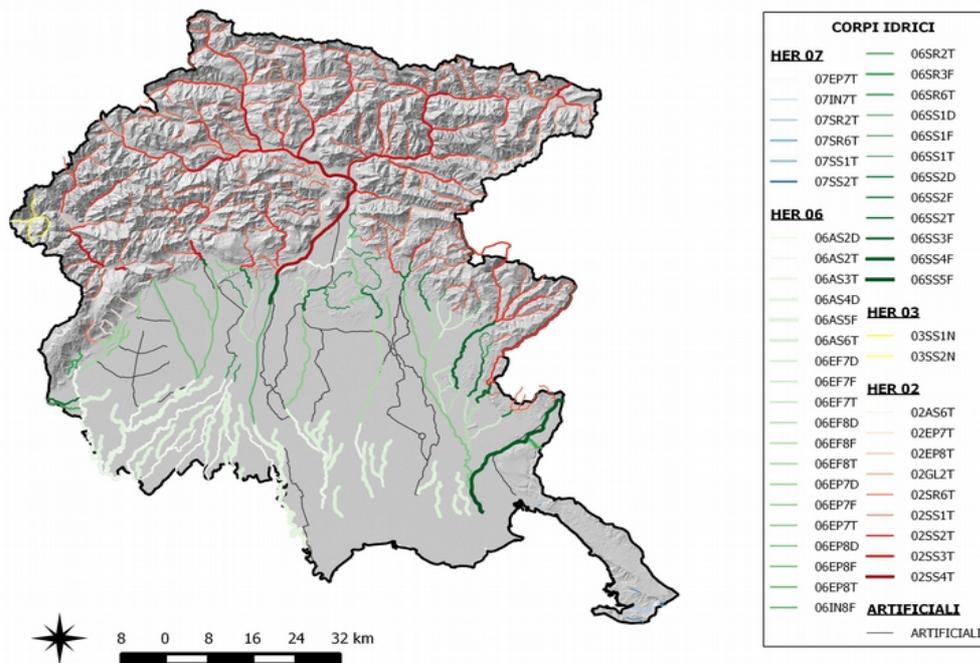


Figura 3.3 – I corpi idrici fluenti tipizzati del Friuli Venezia Giulia.

	CODICE TIPO	HER / ORIGINE-PERSISTENZA / DISTANZA_ORIGINE-MORFOLOGIA / INFLUENZA BACINO_MONTE	NUMERO TRATTI PER TIPO
1	02SS1T	prealpi-dolomiti/scorrimento superficiale/< 5 km/trascurabile o nullo	125
2	02SS2T	prealpi-dolomiti/scorrimento superficiale/5-25 km/trascurabile o nullo	35
3	02SS3T	prealpi-dolomiti/scorrimento superficiale/25-75 km/trascurabile o nullo	7
4	02SS4T	prealpi-dolomiti/scorrimento superficiale/75-150 km/trascurabile o nullo	1
5	02SR6T	prealpi-dolomiti/sorgente carsica/< 10 km/trascurabile o nullo	4
6	02AS6T	prealpi-dolomiti/acque sotterranee/< 10 km/trascurabile o nullo	1
7	02EP7T	prealpi-dolomiti/episodico/meandriforme/trascurabile o nullo	5
8	02EP8T	prealpi-dolomiti/episodico/semiconfinato/trascurabile o nullo	7
9	03SS1N	alpi centro-orientali/scorrimento superficiale/< 5 km/non applicabile	3
10	03SS2N	alpi centro-orientali/scorrimento superficiale/5-25 km/non applicabile	1
11	06SR2T	pianura padana/sorgente carsica/5-25 km/trascurabile o nullo	1
12	06AS2D	pianura padana/acque sotterranee/5-25 km/debole	1
13	06AS2T	pianura padana/acque sotterranee/5-25 km/trascurabile o nullo	15
14	06AS3T	pianura padana/acque sotterranee/25-75 km/trascurabile o nullo	5
15	06AS4D	pianura padana/acque sotterranee/75-150 km/debole	1
16	06AS5F	pianura padana/acque sotterranee/> 150 km/forte	1
17	06AS6T	pianura padana/acque sotterranee/<10 km/trascurabile o nullo	34
18	06EF7D	pianura padana/effimero/meandriforme/debole	4
19	06EF7F	pianura padana/effimero/meandriforme/forte	1
20	06EF7T	pianura padana/effimero/meandriforme/trascurabile o nullo	4
21	06EF8D	pianura padana/effimero/semiconfinato/debole	1
22	06EF8F	pianura padana/effimero/semiconfinato/forte	2
23	06EF8T	pianura padana/effimero/semiconfinato/trascurabile o nullo	2
24	06EP7D	pianura padana/episodico/meandriforme/debole	2
25	06EP7F	pianura padana/episodico/meandriforme/forte	2
26	06EP7T	pianura padana/episodico/meandriforme/trascurabile o nullo	8
27	06EP8D	pianura padana/episodico/semiconfinato/debole	2
28	06EP8F	pianura padana/episodico/semiconfinato/forte	2
29	06EP8T	pianura padana/episodico/semiconfinato/trascurabile o nullo	1
30	06IN8F	pianura padana/intermittente/semiconfinato/forte	1
31	06SR3F	pianura padana/sorgenti/25-75 km/forte	1

	CODICE TIPO	HER / ORIGINE-PERSISTENZA / DISTANZA_ORIGINE-MORFOLOGIA / INFLUENZA BACINO_MONTE	NUMERO TRATTI PER TIPO
32	06SR6T	pianura padana/sorgenti/25-75 km/trascurabile o nullo	3
33	06SS1D	pianura padana/scorrimento superficiale/< 5 km/debole	1
34	06SS1F	pianura padana/scorrimento superficiale/< 5 km/forte	3
35	06SS1T	pianura padana/scorrimento superficiale/< 5 km/trascurabile o nullo	9
36	06SS2D	pianura padana/scorrimento superficiale/5-25 km/debole	1
37	06SS2F	pianura padana/scorrimento superficiale/5-25 km/forte	4
38	06SS2T	pianura padana/scorrimento superficiale/5-25 km/trascurabile o nullo	4
39	06SS3F	pianura padana/scorrimento superficiale/25-75 km/forte	3
40	06SS4F	pianura padana/scorrimento superficiale/75-150 km/forte	2
41	06SS5F	pianura padana/scorrimento superficiale/> 150 km/forte	1
42	07EP7T	carso/episodico/meandriforme/trascurabile o nullo	1
43	07IN7T	carso/intermittente/meandriforme/trascurabile o nullo	1
44	07SR2T	carso/sorgente carsica/5-25 km/trascurabile o nullo	1
45	07SR6T	carso/sorgente carsica/< 10 km/trascurabile o nullo	1
46	07SS1T	carso/scorrimento superficiale/< 5 km/trascurabile o nullo	2
47	07SS2T	carso/scorrimento superficiale/5-25 km/trascurabile o nullo	1
<b>Totale complessivo</b>			<b>318</b>

Tabella 3.3 - I corpi idrici fluenti tipizzati in Friuli Venezia Giulia (da: Regione Autonoma FVG, 2012).

### 3.2.5 Analisi del rischio dei corpi idrici

Seguendo le indicazioni fornite dal *D.M.131/08* per le acque superficiali è possibile fornire una classificazione di rischio dei corpi idrici. È necessario quindi che venga sviluppata una corretta e dettagliata conoscenza di tutte le pressioni antropiche insistenti su corpi idrici e, a seconda di queste, si arrivi alla previsione circa la capacità del tratto di raggiungere o meno gli obiettivi della WFD.

I corpi idrici sono quindi classificati come *“a rischio”* nelle situazioni in cui c'è una previsione di mancato raggiungimento degli obiettivi entro il 2015, viceversa sono classificati come *“non a rischio”* i corpi idrici in cui non sono presenti impatti antropici oppure dove è dimostrato che queste attività hanno un impatto nullo sullo stato di qualità. Infine sono classificati come *“probabilmente a rischio”* i corpi idrici

in cui non esistono dati sufficienti sulle pressioni e/o quando non è nota l'attività antropica incidente, oppure quando l'attività è nota ma ancora non esistono dati sul possibile impatto della stessa.

Le analisi svolte in Friuli Venezia Giulia hanno portato alla seguente classificazione (Fig. 3.4):

- 317 corpi idrici non a rischio (NR), di cui 43 fortemente modificati (FNR);
- 43 corpi idrici probabilmente a rischio (PR), di cui 19 artificiali e 10 fortemente modificati (FPR);
- 76 corpi idrici a rischio (R), di cui 1 artificiale e 16 fortemente modificati (FR) (Regione Autonoma FVG, 2012).

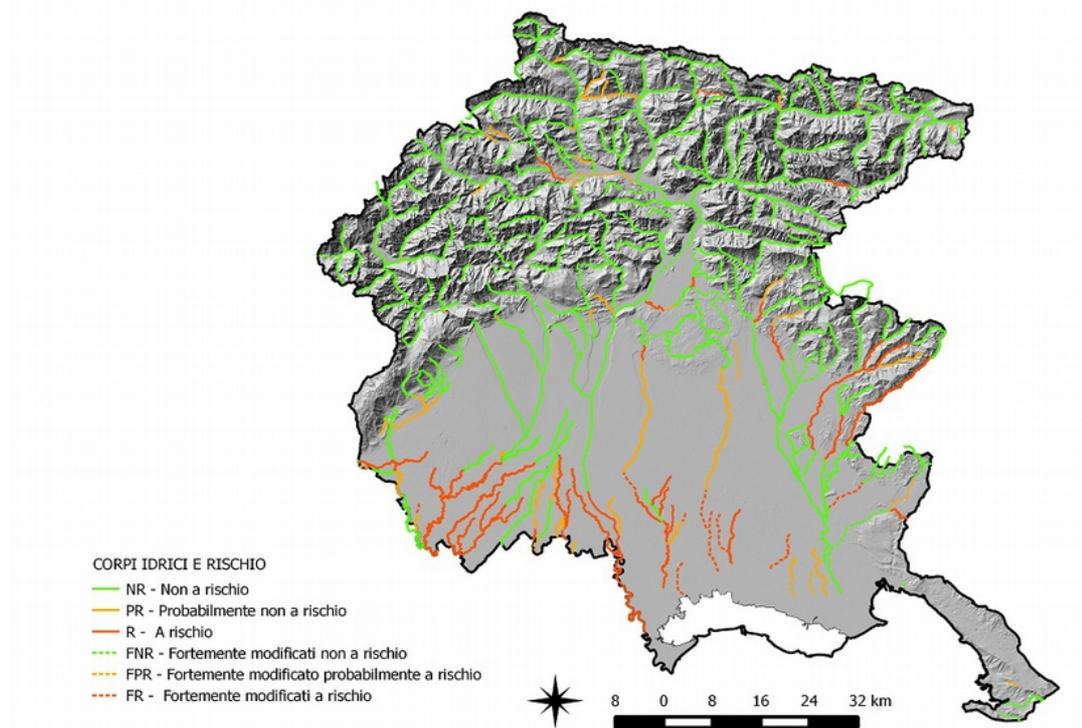


Figura 3.4 – Analisi del rischio delle acque superficiali.

### 3.3 MONITORAGGIO BIOLOGICO

L'obiettivo di qualità ecologica stabilito dalla Direttiva è inteso come la capacità del corpo idrico di supportare comunità animali e vegetali ben strutturate e bilanciate, strumenti biologici fondamentali per sostenere i processi autodepurativi delle acque. Ne consegue che sono le stesse comunità animali e vegetali a garantire la "pulizia" dell'ambiente in cui vivono: le prime grazie agli organismi sminuzzatori,

detritivori, ecc. che degradano progressivamente la sostanza organica in strutture sempre più piccole; le seconde (vegetali) utilizzandole come nutrienti favorendo un adeguato bilanciamento degli elementi chimico-fisici (nitrati, fosfati, ammonio, ossigeno, pH, ecc.) (Skert & Zanello, 2012).

Gli elementi biologici indicati dalla direttiva per la valutazione dello stato ecologico delle acque superficiali interne sono: macroinvertebrati bentonici, pesci, diatomee bentoniche e macrofite acquatiche. Questi elementi vengono valutati con specifici indicatori previsti dal D.M.260/10, nel particolare:

- STAR\_ICMi (Buffagni & Erba, 2007) per i macroinvertebrati;
- ICMi (APAT, 2007a) per le diatomee;
- RQE\_IBMR (Minciardi et al., 2009) per le macrofite;
- ISECI (Zerunian et al., 2009) per i pesci;

Questi vengono integrati con la valutazione dell'indicatore LIMeco, il quale riassume alcuni parametri chimici relativi i nutrienti e l'ossigenazione.

I valori di tutti questi indici danno un risultato che permette di far ricadere il tratto analizzato in classi qualitative. La WFD ha scelto come criterio di aggregazione dei diversi attributi biologici e chimico-fisici quello definibile *One Out-All Out* o del *caso peggiore*: è l'indicatore in condizioni peggiori a determinare la classificazione finale dello stato ecologico (Nardini et al., 2008). Riporto come esempio la tabella con le corrispondenze tra valori e stato per l'indice LIMeco:

VAL	CLASSE DI QUALITÀ	
< 0,17	Pessimo	
≥ 0,17	Scadente	
≥ 0,33	Moderato	
≥ 0,50	Buono	
≥ 0,66	Elevato	

Tabella 3.4 – Le corrispondenze valore/stato di LIMeco.

L'ARPA FVG, tra il 2009 e il 2011, ha impostato una dettagliata rete di punti di campionamento per poter svolgere le operazioni di monitoraggio. Questo è detto "operativo" nel caso in cui i corpi idrici siano stati definiti "a rischio", mentre in quelli

considerati “non a rischio” e “probabilmente non a rischio” viene eseguito il monitoraggio “di sorveglianza”.

Dal momento in cui, durante la campagna, alcuni degli indici ministeriali proposti non erano ancora stati testati adeguatamente, o le condizioni di riferimento non erano state ben definite, ARPA ha provveduto a valutare lo stato ecologico anche tramite la formulazione di un “*giudizio esperto*”: questo, formulato dagli operatori biologici e naturalistici dell'ARPA, tiene conto di una visione integrata di tutti gli elementi rilevati durante il monitoraggio (*Skert & Zanello, 2012*). Attualmente l'indice ISECI non è stato calcolato per tutti i punti di campionamento della Regione. Esso, in ogni caso, non è stato tenuto in considerazione per la definizione del giudizio ecologico a causa di alcune problematiche nella sua taratura.

### **3.3.1 STAR\_ICMi, ICMi, RQE\_IBMR, LIMeco e ISECI**

Lo STAR\_ICMi (*Buffagni & Erba, 2007*) o “Indice Multimetrico STAR di Intercalibrazione” è un indice basato su indicatori relativi alla tolleranza, abbondanza/habitat e ricchezza/diversità della comunità bentonica. È stato derivato come strumento per valutare la qualità generale dei siti fluviali, è attualmente il metodo ufficiale per definire i limiti di classe per tutti i metodi che verranno successivamente sviluppati o applicati al fine di poter svolgere l'esercizio di intercalibrazione (*CNR-IRSA, 2010*). Tale metodo, dall'abrogazione del D. Lgs 152/1999, ha sostituito l'Indice Biotico Esteso (*Ghetti, 1997*) il quale non prevedeva la valutazione numerica di ogni taxa rilevato.

I calcoli dell'indice vengono condotti, come previsto dalla normativa, su base tipo-specifica. La compilazione delle schede di campo allegate al protocollo di campionamento e le operazioni di smistamento e riconoscimento eseguite in campo e in laboratorio garantiscono l'acquisizione delle informazioni necessarie per il calcolo delle metriche che compongono l'indice (*Buffagni & Erba, 2007*).

Per il campionamento si utilizza il metodo multihabitat proporzionale (*Buffagni & Erba, 2007*), ovvero il prelievo dei macroinvertebrati avviene su una superficie nota in maniera proporzionale alla percentuale di microhabitat presenti nel tratto da campionare. Tale campionamento prevede l'identificazione nel tratto selezionato

delle sequenze di *riffle/pool* e, in relazione alla tipologia fluviale, i prelievi andranno fatti solo nelle aree di *riffle* o solo nelle aree di *pool*. Dove non è possibile individuare la sequenza *riffle/pool* il campionamento verrà effettuato in un tratto di corpo idrico chiamato “*generico*”. Il campionamento viene eseguito con dei retini ammanicati (retini Surber) le cui dimensioni possono variare a seconda dell'HER in cui vengono utilizzati. Il primo riconoscimento e conteggio dei macroinvertebrati raccolti viene effettuato in campo, le determinazioni devono essere eseguite a livello di famiglia e, quando necessario, di genere (ad esempio nel monitoraggio operativo). La compilazione definitiva delle liste faunistiche, utilizzate poi per il calcolo dell'indice, e la determinazione di alcuni esemplari, vengono eseguite poi in laboratorio (Buffagni & Erba, 2007).

L'Intercalibration Common Metric index (ICMi) è l'indice scelto dalla Direttiva per l'analisi della struttura delle comunità di diatomee. Il metodo è descritto nel “*Protocollo di campionamento ed analisi per le diatomee bentoniche dei corsi d'acqua italiani*” (APAT, 2007a).

I campionamenti vengono eseguiti su ciottoli: questi sono abbastanza stabili da permettere l'insediamento di comunità rappresentative e allo stesso tempo sono molto agevoli da prelevare. I ciottoli devono essere scelti seguendo alcuni parametri come: velocità della corrente, ombreggiatura e profondità dell'acqua, nel caso di fiumi profondi è necessario che i prelievi vengano eseguiti nella zona eufotica. Le diatomee vengono raschiate dal ciottolo con uno spazzolino e analizzate in laboratorio allo scopo di compilare un elenco delle specie con i numeri di individui; questi dati, trattati con appositi software, permettono di calcolare l'indice ICMi.

Le macrofite acquatiche vengono valutate tramite l'indice IBMR (Indice Biologique Macrofitique en Rivière) (AFNOR, 2003) il quale dà un valore dello stato trofico del corso d'acqua. Lo stesso può essere utilizzato anche come indice di valutazione dello stato ecologico da uno stato trofico atteso (RQE\_IBMR) (Minciardi et al., 2009).

L'IBMR è un indice che si fonda su una lista di 210 taxa indicatori per i quali va valutata, con dati di campo, la sensibilità in particolare alle concentrazioni di azoto

ammoniacale e ortofosfati. Tuttavia lo stato trofico è determinato non solo dalla concentrazione di nutrienti, ma anche da altri fattori quali la luminosità (condizionata a sua volta da torbidità e ombreggiamento) e velocità della corrente (Minciardi et al., 2010). Il rilievo consiste nell'osservazione *in situ* della comunità macrofita valutando la copertura totale della comunità presente nella stazione e le coperture in percentuale dei singoli taxa rinvenuti. Contemporaneamente al campionamento di macrofite, possono essere rilevati parametri come l'ampiezza dell'alveo bagnato, profondità dell'acqua, granulometria prevalente, condizioni idrologiche, vegetazione delle rive, uso del suolo nel territorio circostante utilizzando un'apposita scheda di campionamento (Minciardi et al., 2003).

Il LIMeco, ovvero "Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico", è un indice sintetico che integra dei parametri chimico fisici che vengono considerati di sostegno alle comunità biologiche, questi sono:

- ossigeno disciolto;
- azoto ammoniacale;
- azoto nitrico;
- fosforo totale.

I campioni vengono analizzati in laboratorio e ad ogni singolo macrodescrittore viene assegnato un livello seguendo le soglie di riferimento tabellate. Il valore LIMeco corrisponderà alla media dei punteggi assegnati ad ogni singolo parametro.

L'Indice dello Stato Ecologico delle Comunità Ittiche (ISECI) (Zerunian et al., 2007) è l'indice utilizzato per il calcolo dell'EQB relativo ai pesci. Questo considera come condizione elevata (di riferimento) una comunità ittica attesa in buone condizioni ecologiche, ovvero ben strutturata in classi d'età e con una popolazione abbondante e capace di riprodursi naturalmente: su questa si baserà il rilevamento della condizione reale. Queste condizioni ittiche attese sono definite dalla normativa a seconda delle "zone ittiche" dulcicole in cui è possibile suddividere i corsi d'acqua.

Gli elementi specifici presi in considerazione sono:

- presenza di specie indigene;
- condizione biologica delle specie indigene;

- popolazioni indigene con presenza di ibridi;
- presenza di specie aliene;
- presenza di specie endemiche (*Zerunian et al., 2007*).

### 3.3.2 Lo stato ecologico in Friuli Venezia Giulia

I monitoraggi biologici eseguiti dall'ARPA tra il 2009 e il 2011 hanno portato alla compilazione di una scheda per ogni punto di campionamento, su queste, consultabili online sul database dello stato di qualità delle acque superficiali interne, è presente una descrizione dettagliata del punto campionato, la sua collocazione geografica, una foto satellitare, l'inquadramento territoriale, i valori di tutti gli indici e i valori chimico fisici campionati, il giudizio di stato ecologico e il giudizio esperto. Riporto in esempio (*Tab. 3.5*) i valori trovati per la Roggia Puroia, punto di campionamento UD56:

INDICI	ICMi	RQE_IBMR	STAR_ICMi	LIMeco
UD56	ELEVATO	ELEVATO	ELEVATO	ELEVATO
Stato ecologico	ELEVATO			
$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{N}_{\text{tot}}$ (mg/l)	$\text{P}_{\text{tot}}$ (mg/l)	N/P	
20.69	5.00	0.008	1474	

Tabella 3.5 – Lo stato ecologico della Roggia Puroia.

Nonostante tutti gli indici risultino con valori elevati i tecnici ARPA hanno deciso di dare un giudizio esperto di BUONO per questo corpo idrico, riporto la motivazione: *“In questo caso il giudizio esperto, più basso rispetto allo stato ecologico, vuole sottolineare l'incidenza sul corpo idrico del territorio circostante, inserito in una zona vulnerabile ai nitrati (Direttiva Nitrati 91/676 CEE), e la scorretta gestione della fascia perfluviale.”*

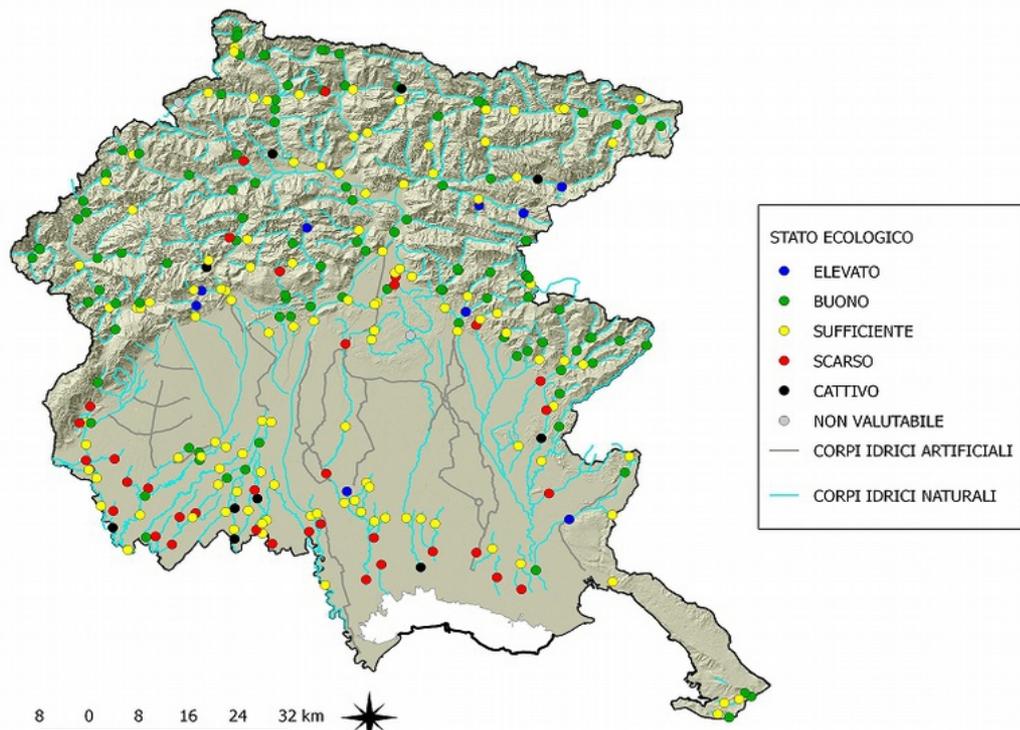


Figura 3.5 – I punti di monitoraggio e i valori di stato ecologico.

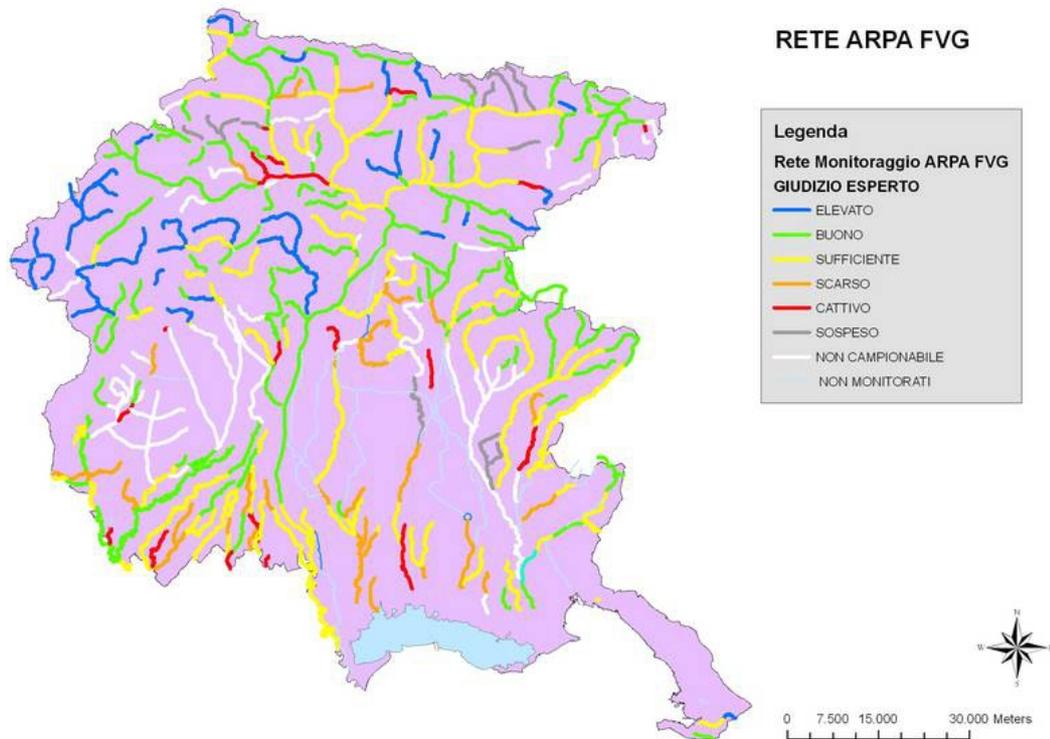


Figura 3.6 – Il giudizio esperto dei tratti sottesi ai punti di campionamento (ARPA, 2011).

	Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo	N.V.	Totale
Gorizia	0	4	2	1	0	0	7
Pordenone	21	37	33	10	7	2	110
Trieste	2	3	2	0	0	0	7
Udine	4	65	65	22	6	14	176
Totale	27	109	102	33	13	16	300

Tabella 3.6 – Tabella riassuntiva dei giudizi esperti divisi per province (da Skert & Zanella, 2012).

### 3.4 SELEZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO

La selezione dei siti di riferimento fluviali è un'operazione che deve essere necessariamente svolta seguendo dei concetti chiave che legano il sito e le sue caratteristiche ad una specifica tipologia fluviale. Per ogni tipo fluviale dovranno essere selezionati almeno 3 siti di riferimento (se presenti) da includere in quella che verrà chiamata “rete nucleo”; il sito (o tratto) di riferimento coinciderà con un tratto fluviale, quindi potrà corrispondere ad un intero corpo idrico oppure essere solo una parte di esso. Nella selezione dei siti bisognerà tenere sempre conto dei corsi d'acqua localizzati all'interno di aree protette (SIC, ZPS, ecc.) o noti per la presenza di ambienti indicati nella Direttiva Habitat (CE/92/43), dovrà essere tenuta presente la presenza di specie sia animali che vegetali segnalate nella Direttiva Habitat o in direttive analoghe. Nel caso in cui venga identificato come potenziale sito di riferimento una parte molto ampia di corpo idrico e solo in un tratto esso si trovino specie elencate nella Direttiva Habitat, o specie rare, endemiche, vulnerabili, o in pericolo di estinzione solamente questo tratto dovrà essere il sito di riferimento (CE, 2000).

#### 3.4.1 Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali

La serie di punti chiave definiti da Buffagni et al. in “Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali per la Direttiva 2000/60/EC” nel Notiziario dei Metodi Analitici IRSA del 2008, principalmente basati sui criteri elencati nella *guidance*

*REFCOND*S (CIS, 2003) e sul lavoro effettuato all'interno dei vari Gruppi Geografici di Intercalibrazione (GIGs), sono i principi che è necessario valutare nel processo di selezione dei siti di riferimento.

Questi 52 criteri sono divisi in macrocategorie di pressioni e l'analisi è estesa a scala di tratto, a scala di bacino sotteso e a scala di sito (punto di campionamento). Ai diversi indicatori è stato attribuito un livello di importanza relativa a seconda che il criterio sia considerato irrinunciabile (IR), importante (IM) oppure accessorio (AC).

I siti di riferimento devono soddisfare dei principi generali valutati nelle seguenti macrocategorie di pressioni:

- inquinamento puntiforme: le sostanze indicate nell'allegato VIII della Direttiva 2000/60/CE possono essere presenti in concentrazioni minori al limite di rilevanza secondo le più avanzate tecniche di analisi di impiego generale e le variazioni delle concentrazioni degli inquinanti specifici non sintetici devono essere prossime a quelle attese in condizioni naturali (macrocategoria A);
- inquinamento diffuso: è tollerata una quota esigua di uso antropico nel bacino (es. agricoltura, riforestazione) che possa mostrare solo effetti locali. I siti in cui il rischio di inquinamento da pesticidi è noto non possono essere considerati (macrocategoria B);
- area ripariale: in un sito di riferimento questa deve avere una dimensione adeguata ed essere composta da vegetazione tipo-specifica in modo da garantire la sua funzione di tampone (macrocategoria C);
- alterazioni morfologiche: gli elementi da rilevare, le cui condizioni dovranno risultare pari a quelle tipo-specifiche, sono quelli specificati nell'allegato V della WFD. L'assenza di alterazioni morfologiche dovrebbe garantire la conservazione degli habitat legati al corpo idrico. Deve quindi essere garantita la naturale dinamica fluviale e, nel caso ci siano lievi alterazioni antropiche, deve essere garantito un elevato potenziale che le condizioni vengano ripristinate in tempi molto brevi (macrocategoria D).

- alterazioni idrologiche: deve essere garantito che non ci siano prelievi idrici e regolazione del flusso che possano influenzare in maniera significativa il regime idrologico (macrocategorie E e F);
- ausiliarie: pressioni biologiche (macrocategoria G) e informazioni descrittive relative ad eventuali altre pressioni (macrocategoria H).

Per tutti i criteri di pressione sono state definite due soglie relative ai dati raccolti: una "di riferimento", al di sotto della quale un sito è candidabile a sito di riferimento e una "di rifiuto", al di sopra della quale le pressioni sono considerate troppo elevate per poterlo selezionare come tale.

A ciascuna risposta viene assegnato un punteggio al fine di giungere ad un giudizio di affidabilità del sito quale di riferimento. Il punteggio massimo (1) viene assegnato dove le soglie non sono state superate, un punteggio intermedio (0,6) ai lievi sforamenti mentre un punteggio pari a 0 viene assegnato ai criteri in cui la soglia di rifiuto viene superata. I punteggi ottenuti vengono quindi moltiplicati per i pesi attribuiti ai singoli criteri (IR peso 1, IM peso 0,5 e accessori peso 0,2) e normalizzati sui punteggi massimi ottenibili sulla macrocategoria a cui la domanda afferisce. I punteggi ottenuti vengono quindi mediati sul numero di macrocategorie ottenendo così il valore finale, su cui viene valutata l'accettabilità come sito di riferimento ( $\geq 0,90$ ). Oltre a questa condizione, per poter candidare il sito, è necessario che non si verifichi mai una di queste circostanze:

- più di 2 IR superino la soglia di rifiuto;
- più di 4 IR superino la soglia di riferimento;
- più di 3 IM superino la soglia di rifiuto;
- più di 6 IM superino la soglia di riferimento.

In situazioni particolari, come a d esempio zone di pianura, il metodo di *Buffagni et al.* prevede la possibilità di definire, caso per caso, soglie meno restrittive per criteri specifici. Queste soglie possono essere accettate per tali criteri alla condizione che tutti gli altri vengano rispettati.

### 3.4.2 Valutazione dei criteri

L'ARPA FVG ha deciso di applicare il metodo su tutti i corpi idrici in cui lo stato ecologico è risultato BUONO o ELEVATO nei campionamenti biologici del 2009 e del 2011. Sono quindi stati analizzati i seguenti criteri per 90 corpi idrici:

- macrocategorie A, B e C (*Tab. 3.7*) : gli indicatori relativi all'uso del suolo e alla copertura vegetale, sia in scala di tratto che di bacino, sono stati principalmente valutati tramite l'analisi in ambiente GIS della carta di uso del suolo Corine Land Cover 2000. Alcuni indicatori sono invece stati valutati utilizzando i database della Regione utilizzando l'apposito WebGIS, mentre molte altre informazioni sono state ricavate dalle schede relative ai sopralluoghi per il calcolo dell'Indice di Funzionalità Fluviale svolti in precedenza;
- macrocategoria D (*Tab. 3.8*): per la valutazione degli indicatori relativi alle alterazioni morfologiche sono principalmente stati eseguiti calcoli in ambiente GIS partendo dai database della Regione, per i restanti indicatori sono state necessarie delle valutazioni in campo;
- macrocategorie E e F (*Tab. 3.8*): anche in questo caso le maggiori informazioni sono state trovate nei database della Regione, dove necessario sono stati effettuati dei calcoli in ambiente GIS ;
- macrocategorie G e H (*Tab. 3.8*): queste due categorie di pressioni sono state principalmente valutate con i dati storici, sopralluoghi in campo e indicazione ricevute dall'Ente Tutela Pesca regionale.

codice		Scala di applicazione	CRITERIO
A1	INQUINAMENTO PUNTIFORME	bacino	% di uso artificiale (soglia <0,4; se fino < 0,8%: verifica qualità acqua)
A2			È presente qualche fonte particolare di inquinamento industriale (e.g. NaCl, inquinamento termico)?
A3		tratto	Le variabili chimico-fisiche di base mostrano concentrazioni pari a quelle tipo-specifiche attese in condizioni naturali?
A4			Sono presenti inquinanti sintetici specifici (e.g. pesticidi)?
A5			Sono presenti inquinanti specifici non sintetici (e.g. metalli)?
A6			La temperatura dell'acqua si discosta dalle condizioni attese?
B1	INQUINAMENTO DIFFUSO	bacino	C'è rischio significativo di erosione del suolo nel bacino?
B2			Il fondovalle è principalmente occupato da aree naturali, semi-naturali e/o agricole a bassa intensità (e.g. pascoli)?
B3			% di agricoltura intensiva (soglia < 20%; in aree di pianura fino < 50%: verifica qualità acqua)
B4			% Vigneti, frutteti (soglia < 1% e non situati nella zona riparia)
B5			% Campi irrigati (soglia ≤ 10%; in aree di pianura fino < 25%: verifica qualità acqua)
B6			% Silvicultura (e.g. conifere, eucalipti; soglia < 30%)
B7			Allevamento di bovini: solo allevamento non intensivo - indicare criteri e tipo di allevamento
B8			Eventuali incendi su meno del 7% del bacino negli ultimi 6 anni e non lungo le sponde fluviali (tratto)
B9		tratto	Sono evidenti segni di eutrofizzazione (e.g. proliferazione di vegetazione acquatica)?
B10			Il pH è > 6? Se pH < 6 , è necessario determinare se il sito è acido per ragioni naturali
C1	AREA RIPARIA	tratto	% Uso naturale (sponda, berm, piana di esondazione, aree perifluviali; 30-100 m; soglia > 80% del tratto)
C2			% Uso agricolo non intensivo
C3			% Agricoltura intensiva oltre la sommità di sponda (sommata alle aree artificiali: soglia < 10%)
C4			% Agricoltura intensiva sulla sponda (sommata alle aree artificiali: soglia < 1%)
C5			% Aree artificiali oltre la sommità di sponda (sommata alle aree ad agricoltura intensiva: soglia < 10%)
C6			% Aree artificiali sulla sponda (sommata alle aree ad agricoltura intensiva: soglia < 1%)
C7		sito	Il sito è (quasi) interamente delimitato dalla vegetazione naturale (o seminaturale) tipo-specifica?
C8			La vegetazione riparia è Continua, Semi-continua, A gruppi irregolari, Piante isolate
C9			Le rive sono alterate (smosse) dal calpestio dovuto alla presenza di bestiame?

Tabella 3.7 – Le macrocategorie A, B e C (da: Buffagni et al., 2008a).

codice	Scala di applicazione	CRITERIO		
D1	ALTERAZIONI MORFOLOGICHE	bacino	Sono presenti dighe a monte? Se no: 0; se si, indicare quante	
D2			A quale distanza è la diga più vicina a monte? (in % della distanza del sito dalla sorgente)	
D3			La continuità del fiume permette la migrazione indisturbata degli organismi acquatici (specialmente in fiumi con popolazioni ittiche naturali) e il trasporto del sedimento?	
D4		tratto	Sono presenti barriere a valle del sito che impediscano la migrazione longitudinale dei pesci (all'interno del corpo idrico)?	
D5			Sono presenti barriere a monte del sito che impediscano la migrazione longitudinale dei pesci (all'interno del corpo idrico)?	
D6			Le condizioni del substrato corrispondono a quelle specifiche del tipo (o sottotipo) fluviale a cui il corpo idrico appartiene?	
D7			Sono evidenziabili nell'alveo bagnato aree con forte deposito e/o accumulo di limo ( <i>siltation</i> ), in regime di magra o morbida?	
D8			Sono evidenti segni di incisione dell'alveo dovuti a fattori non naturali (e.g. per presenza di dighe, briglie, rinforzi di sponda)?	
D9			Il profilo del fiume (e.g. larghezza, profondità) corrisponde alle condizioni specifiche del tipo (o del sottotipo)?	
D10			Sono garantite le naturali interazioni e connessioni laterali e verticali con la falda e le interazioni tra alveo, area riparia e piana di esondazione?	
D11			Sono state effettuate negli ultimi 3 anni estrazioni in alveo di inerti (e.g. ghiaia, sabbia)?	
D12			% del tratto eventualmente interessato da impedimento del flusso ( <i>flow impedance</i> )	
D13			% Risezionamento di alveo e sponde (soglia < 15%)	
D14			% Rinforzo sponde e alveo (soglia < 10%)	
D15			% Arginatura con argini arretrati (soglia < 20%)	
D16			% Arginatura con argini addossati (soglia < 1%)	
D17			sito	Il sito è direttamente influenzato dalla presenza di una struttura artificiale vicina posta a monte o a valle?
D18				È presente qualche modificazione strutturale (e.g. traverse, pennelli, rinforzi)?
E1	PRELIEVI IDRICI	bacino	Riduzione di portata in periodi di magra a carico di dighe eventualmente presenti (riduzione < 20% della portata media mensile; deve essere comunque garantito un deflusso in alveo, se atteso secondo il regime naturale)	
E2			tratto	Vengono effettuati prelievi d'acqua significativi? Se si, indicare la % (riduzione < 20% della portata in ingresso)
E3		L'altezza della falda è compresa nell'ambito di variazione atteso in condizioni naturali?		
F1	REGOLAZIONE DEL FLUSSO	bacino	Si verificano variazioni del regime annuale naturale (e.g. stagionalità del flusso di piena e di magra, curva di durata)?	
F2			Ci sono dighe a monte che modificano significativamente il regime idrologico naturale (regolazione del flusso)? (soglia immagazzinamento invasi nel bacino < 5% della portata media annuale al sito)	
F3		tratto	Il tratto in esame è soggetto a regolazione della portata?	
F4			Si verificano fenomeni di picchi improvvisi di portata dovuti a regolazione del flusso idrico (i.e. <i>hydropeaking</i> )?	
G1	PRESSIONI BIOLOGICHE	sito	Sono presenti specie invasive (flora e fauna)? Se si, quali?	
G2			La comunità acquatica tipo-specifica è alterata dalla presenza di specie alloctone?	
G3			Sono normalmente presenti pescatori, nelle stagioni idonee alla pesca?	
G4			Sono presenti attività intensive di pesca?	
G5			È stata effettuata biomanipolazione nel sito?	
H1	ALTRE PRESSIONI	tratto	È operato un uso ricreativo intensivo?	
H2			Ci sono altri usi che potrebbero interferire con la naturalità del sito?	
			...	
			...	

Tabella 3.8 – Le macrocategorie D, E, F, G e H (da: Buffagni et al., 2008a).

I risultati ottenuti dalla compilazione delle schede hanno permesso di candidare a sito di riferimento 41 corpi idrici sui 90 selezionati. Nella *tabella 3.9* sono riassunti i risultati:

<b>Tipologia</b>	<b>HER</b>	<b>N° Corpi Idrici</b>	<b>C.I. accettati</b>
02SS1T	02	46	28
02SS2T	02	18	5
02SS3T	02	02	2
02SS4T	02	2	0
02SR6T	02	5	3
06AS2T	06	1	0
06AS6T	06	4	0
06SS1T	06	1	0
06SS2F	06	2	0
06SS3F	06	1	0
06SS4F	06	2	0
06AS2D	06	1	0
06AS4D	06	1	0
03SS1N	03	1	1
07SS2T	07	1	1
07IN7T	07	1	1
07SS1T	07	1	0
<b>TOTALE</b>		<b>90</b>	<b>41</b>

*Tabella 3.9 – Numero dei corpi idrici per categoria che ha superato il punteggio per la candidatura a corpo idrico.*

## **4. VALIDAZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO:**

### **VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MORFOLOGICA**

La normativa prevede che a sostegno delle valutazioni dello stato ecologico vengano considerate, classificandole, anche le condizioni idromorfologiche. Queste, per permettere la validazione del tratto a “sito di riferimento”, dovranno risultare ELEVATE.

La classificazione si basa sul confronto tra le condizioni morfologiche attuali e quelle di riferimento in modo da poter valutare i processi evolutivi in corso e i valori dei parametri per descriverne lo stato e le tendenze evolutive future. La valutazione dello stato morfologico viene effettuata considerando la funzionalità geomorfologica, l'artificialità e le variazioni morfologiche, che concorrono alla formazione dell'*Indice di Qualità Morfologica, IQM (Ministero dell'Ambiente, 2011)*.

#### **4.1 ASPETTI TEORICI DEL SISTEMA FLUVIALE**

La geomorfologia fluviale è la disciplina che può essere sinteticamente definita come *“studio dei processi di produzione, flusso ed immagazzinamento di sedimenti nel bacino idrografico e nell'alveo fluviale nella breve, media e lunga scala temporale, e delle forme risultanti nell'alveo e nella piana inondabile” (Sear et al.2003)*.

##### **4.1.1 Connettività dei processi**

Il termine bacino idrografico, o bacino imbrifero, indica la porzione di superficie terrestre, limitata dalla linea di displuvio o spartiacque, entro la quale si raccolgono e defluiscono le acque derivanti dalle precipitazioni liquide (pioggia), dallo scioglimento delle nevi, da eventuali sorgenti. Le acque scorrono in superficie attraverso la rete di drenaggio o corpi idrici sotterranei (falda) fino alla sezione di chiusura (APAT, 2004).

Il sistema fluviale che ne fa parte può essere suddiviso idealmente in tre zone sulla base dei processi geomorfologici prevalenti:

- 1) zona di produzione (l'area del bacino in cui prevalgono i processi di produzione dei sedimenti);
- 2) zona di trasferimento (caratterizzata principalmente dal trasporto);
- 3) zona di accumulo (prevalente deposizione dei sedimenti).

Tale suddivisione venne proposta per la prima volta da Schumm nel 1977.

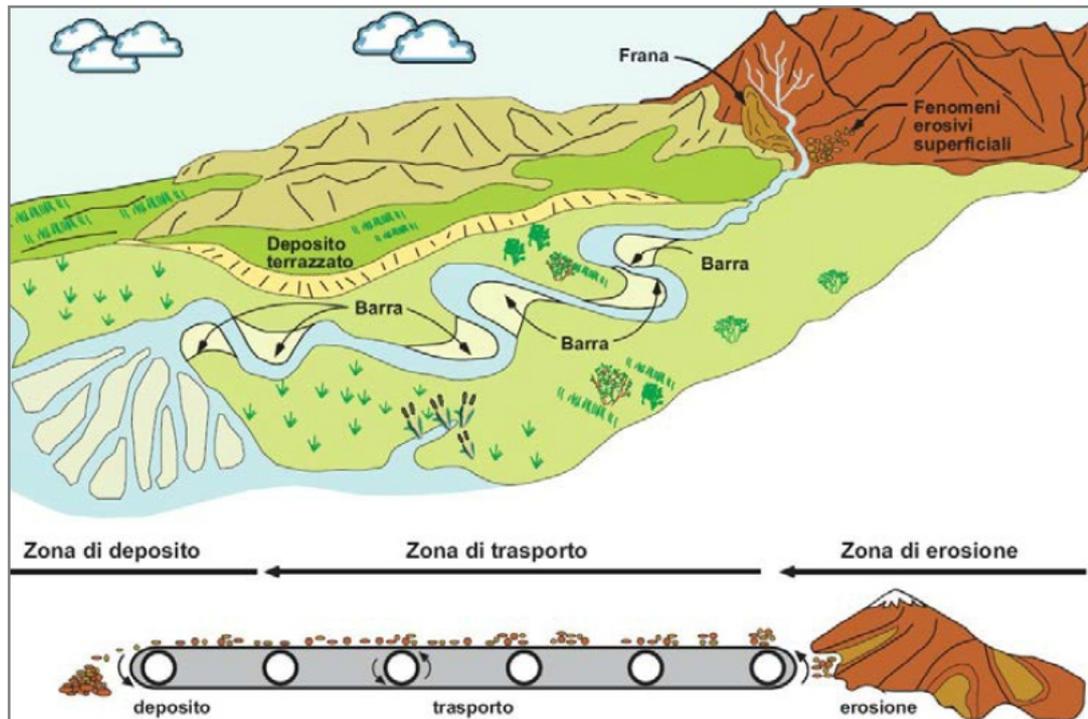


Figura 4.1 – Il corso d'acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti (da: Kondolf, 1994, modificato nel 2008 da Autorità di Bacino del Fiume Po).

Se il bacino è di grandi dimensioni è possibile distinguere diverse unità idrografiche affluenti in un corso d'acqua principale, separate da zone di versante (interbacini) direttamente contribuenti all'asta principale, in genere mediante una rete breve e poco sviluppata (APAT, 2004). Il bacino idrografico rappresenta un'unità spaziale ben definita e costituisce il punto di partenza per ogni tipo di analisi sia delle caratteristiche morfologiche che dell'evoluzione dei corsi d'acqua in esso presenti. La scala del bacino idrografico va considerata relativamente alle condizioni al contorno imposte (rappresentate dall'energia del rilievo, le pendenze, la topografia e la morfologia delle valli) e dalle condizioni al contorno di flusso solido e

liquido (portate solide e liquide), dette anche variabili guida del sistema, in quanto è alla scala di bacino che avvengono i processi che le generano e che ne caratterizzano il regime (*Rinaldi et al., 2011*).

Gli alvei della zona medio-alta del bacino sono di dimensioni piccole e intermedie, generalmente presentano pendenze elevate e un alto grado di confinamento, mentre nella parte medio bassa del bacino i corsi d'acqua sono principalmente di tipo non confinato o semiconfinato, di dimensioni medie e grandi e sviluppano un alveo alluvionale. La caratteristica fondamentale di questi ultimi è di essere libero di auto-modellarsi, cioè di poter mutare la sua forma sia in senso altimetrico che planimetrico (*Rinaldi et al., 2011*).

#### **4.1.2 Forme fluviali**

In un sistema fluviale possiamo distinguere varie superfici geomorfologiche. La superficie più evidente è quella dell'alveo attivo dove sono in atto i processi attuali, all'interno della quale, sulla base di una serie di elementi (morfologia, sedimentologia, vegetazione, processi attivi) si possono distinguere diverse forme (*Surian et al., 2009*). La forma planimetrica è quindi determinata da una combinazione di forme che si assemblano e si succedono. Il corso può essere a canale singolo o a canali multipli e possono essere presenti anche canali secondari nella piana o nella barra (canali di taglio). Le superfici deposizionali tipiche degli alvei a fondo mobile che ne caratterizzano la morfologia sono le barre (*Fig. 4.2*), costituite dagli stessi sedimenti del fondo ma emersi per la gran parte dell'anno, si tratta delle forme fluviali caratterizzate dal maggior dinamismo nel caso di eventi di piena (*Rinaldi et al., 2011*)

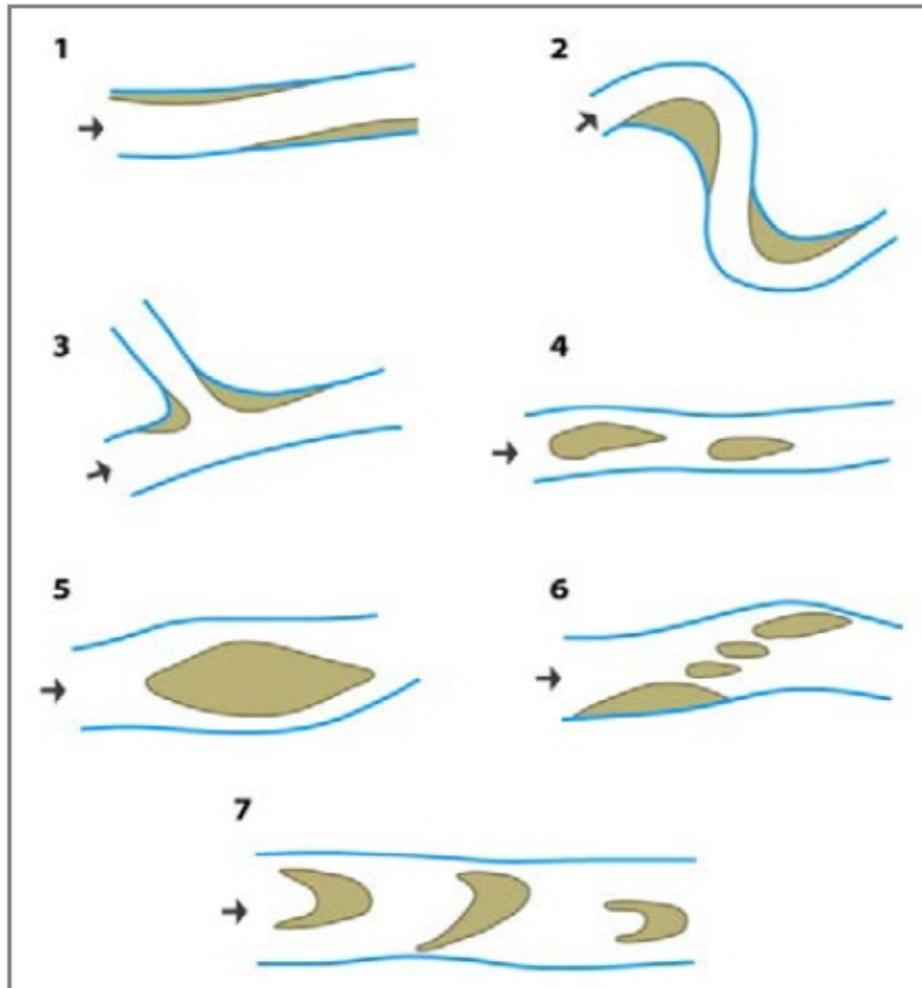


Figura 4.2 – Classificazione dei principali tipi di barre: 1.Barre laterali; 2.Barre di meandro; 3.Barre di confluenza; 4. Barre longitudinali; 5. Barre a losanga; 6. Barre diagonali; 7. Barre linguoidi o dune (da: Kellerhals et al., 1976).

Le isole sono invece porzioni d'alveo coperte da vegetazione sia erbaceo-arbustiva che arborea. Sono più elevate rispetto alle barre e di conseguenza risultano sommerse meno frequentemente. In superficie presentano uno strato più o meno spesso di materiale fine (sabbia, limo, argilla) (Surian et al., 2009). In prossimità dell'alveo è generalmente presente una superficie pianeggiante formata dal corso d'acqua nelle attuali condizioni di regime, questa è la piana inondabile. Sono normalmente presenti una o più piane formate in condizioni passate diverse da quelle attuali, dette terrazzi.

La definizione della morfologia fluviale degli alvei alluvionali a fondo mobile è basata sulle combinazioni in cui le varie forme fluviali si assemblano tra di loro e

determinano un caratteristico assetto complessivo. La prima classificazione fu proposta da *Leopold & Wolman (1957)* i quali distinsero gli alvei in rettilinei, meandriformi e a canali intrecciati (braided). Successivamente vi furono altre classificazioni che introdussero nuovi termini per le distinzioni delle tipologie fluviali. *Brice (1975)* introdusse il termine “anastomizzato” per definire un alveo pluricursale con i singoli canali ad alto grado di sinuosità e separati tra loro da isole mentre *Church (1992)* introdusse il termine “wandering” per definire morfologie di transizione tra il meandriforme e i canali intrecciati. Attualmente la classificazione più completa (Fig. 4.3) sembra essere quella proposta da *Rosgen (1994)* che si basa anche su parametri quali pendenza, confinamento, rapporto larghezza/profondità della sezione, sinuosità e dimensioni granulometriche (*Rinaldi et al., 2011*).

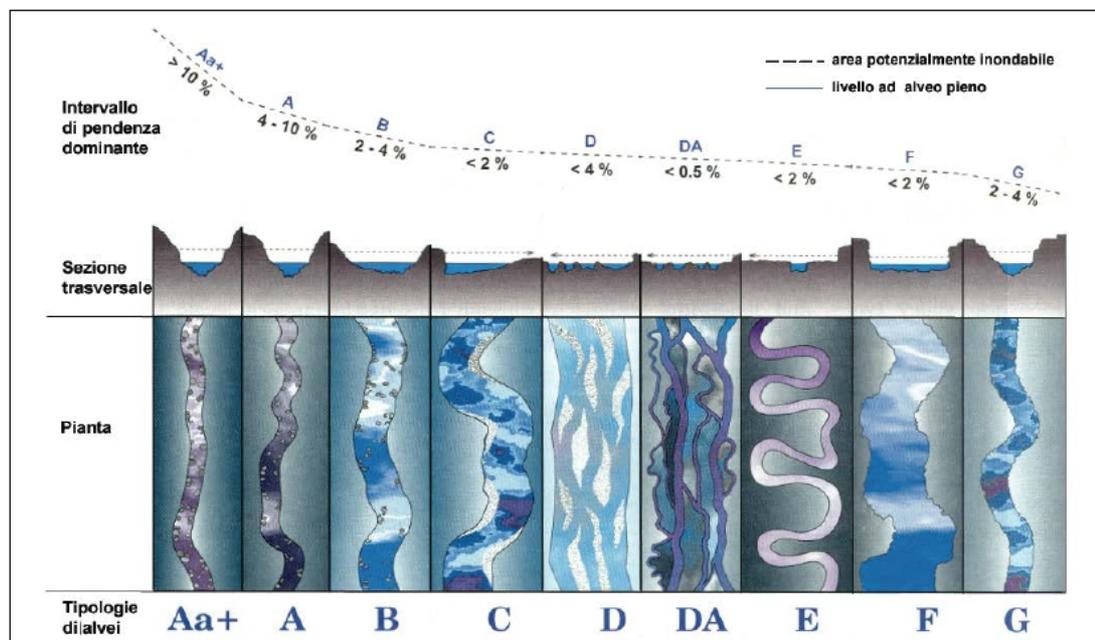


Figura 4.3 – Morfologie fluviali (da: Rosgen, 1994).

La tipologia dell'alveo dipende quindi essenzialmente dalla pendenza topografica esistente tra l'area montana e il livello base (inteso come il limite sopra cui si verifica l'erosione della superficie terrestre) (*Bates & Jackson, 1987*), dal trasporto solido totale, dalla sua granulometria, nonché dalla portata liquida e dalla variabilità di quest'ultima (*Fontana, 2006*).

### 4.1.3 Variazioni morfologiche

Gli alvei fluviali sono soggetti a modifiche nel tempo ed il riferimento per queste variazioni in termini di scala temporale negli studi di geomorfologia è normalmente quella dei 100 anni. Tuttavia se vogliamo definirne le tendenze attuali la scala temporale va abbassata a 10-15 anni circa. Possiamo definire in equilibrio dinamico un alveo che in tale intervallo mantiene mediamente invariate le sue caratteristiche mentre lo definiamo instabile se varia significativamente la sua forma (*Rinaldi et al., 2011*). Le cause di modificazioni degli alvei possono essere sia naturali che antropiche. Nel primo caso fattori climatici e geologici risultano agire su intervalli lunghi ( $10^2$ - $10^6$  anni), mentre i fattori antropici agiscono su scale più brevi ( $1$ - $10^2$  anni) dove l'uomo risulta quindi essere il fattore morfogenetico principale, causando sia modificazioni nel regime dei deflussi sia nel trasporto solido (*Surian, 2003*).

Il fiume va immaginato in una condizione di equilibrio risultante dall'interazione delle variabili guida con le condizioni al contorno, la modifica di una di queste sposta il fiume verso un'altra forma di equilibrio attraverso un periodo di instabilità in cui il fiume sarà soggetto a variazioni significative di forma e dimensione (*Sear et al., 2004*). Gli interventi antropici che possono modificare tale equilibrio possono essere sia a scala di bacino (rimboschimenti, disboscamenti, sistemazioni idraulico-forestali, urbanizzazione), che modificano sia le portate solide sia quelle liquide (a causa di modifiche del *run-off* e dell'infiltrazione), sia interventi diretti (tagli di meandro, dighe, canalizzazioni, prelievo di inerti). Questi ultimi possono sia modificare direttamente la forma del corso che modificarne le portate solide e liquide. Un alveo reso instabile da tali alterazioni può rispondere e modificarsi attraverso:

- variazioni altimetriche del fondo;
- variazioni di larghezza dell'alveo;
- variazioni della configurazione morfologica.

Il problema principalmente legato alle variazioni altimetriche del fondo è l'incisione, ovvero un abbassamento generalizzato della quota di fondo, che spesso ha importanti effetti sulle strutture in alveo (ponti, briglie, ecc) provocandone lo

scalzamento alla base e la conseguente instabilità. Viceversa, nel caso in cui vi sia una riduzione dell'energia della corrente o un aumento della granulometria media si verificherà sedimentazione (Rinaldi et al., 2011). Tali problemi possono verificarsi sia sull'intero tratto del fiume sia su tratti più brevi a monte e a valle di opere antropiche in alveo. Su tali risposte esiste una vasta letteratura internazionale principalmente redatta negli anni '80 e '90.

Il fiume può essere soggetto anche a variazioni di larghezza dell'alveo, ma queste sono più difficili da inquadrare e dipendono oltre che dalle variabili guida anche da variabili relative alla forma dell'alveo (Fig. 4.4).

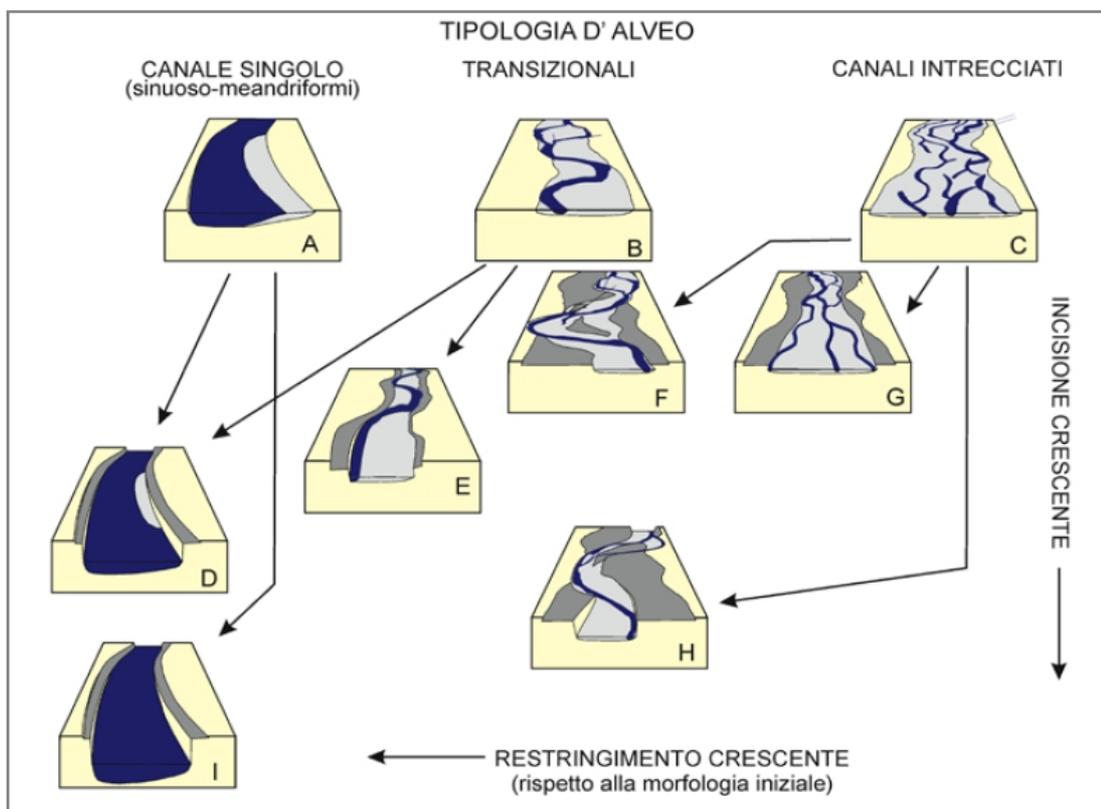


Figura 4.4 – Schema di classificazione delle variazioni morfologiche di fiumi italiani (da: Surian & Rinaldi, 2003).

A seguito di disturbi un fiume può anche cambiare la sua configurazione planimetrica, il fattore più rilevante per queste modificazioni nei fiumi italiani è stato il prelievo di inerti poiché determina una notevole diminuzione delle portate solide nel breve termine (Surian & Rinaldi, 2004). Le costruzioni di protezioni spondali, come pennelli e argini, costringono il fiume a mantenere un corso più stretto di quello naturale e, in alcuni casi, lo rendono fisso o canalizzato (Surian & Rinaldi,

2003). Tale tendenza al restringimento che ha portato alcuni fiumi di tipo braided ad assumere morfologie di tipo wandering o addirittura a canale singolo, come evidenziato da *Surian & Rinaldi (2004)*, si è fermata in molti corsi d'acqua a partire dagli anni '90 ed è iniziata una fase di naturale allargamento, talora accompagnato da aggradazione. Tra i fiumi veneti e friulani questa tendenza all'allargamento o quantomeno all'interruzione del processo di restringimento è confermata, fatta eccezione per il Torrente Torre che è anche quello in cui si è verificato il maggior restringimento (73%) (*Surian et al., 2008*).

## 4.2 IDRAIM

Dall'entrata in vigore della Direttiva Quadro Europea sulle Acque è diventata sempre più necessaria una metodologia in grado di definire lo stato morfologico di un corso d'acqua. In ambito europeo non ne esisteva una adattabile allo specifico contesto italiano e tanto meno una che si basasse sullo scostamento da una condizione di riferimento e che portasse, oltre che alla classificazione morfologica dei corsi d'acqua, anche alla valutazione degli impatti e delle pressioni sui processi geomorfologici. A tal fine è stato sviluppato IDRAIM (sistema di valutazione IDR morfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua) (*Rinaldi et al., 2011*), nel cui manuale, edito nel 2011 da l'ISPRA (Istituto Superiore Per la Ricerca Ambientale), sono illustrate le procedure per il calcolo dell'IQM (*Indice di Qualità Morfologica*) che ha il significato corrispondente all'EQR per la morfologia (*Environmental Quality Ratio*) definito nella Direttiva Quadro Acque.

Il "*Manuale tecnico-operativo per la valutazione e il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua*", di cui alcune parte sono riassunte nei seguenti paragrafi, è stato redatto da un team di lavoro comprendente *Massimo Rinaldi* del Dipartimento di Ingegneria civile e Ambientale dell'Università di Firenze (responsabile della ricerca), *Francesco Comiti* della Facoltà di Scienze e Tecnologie della Libera Università di Bolzano, *Nicola Surian* del Dipartimento di Geografia dell'Università di Padova e *Martina Bussettini* dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale di Roma.

## 4.2.1 Suddivisione del corpo idrico

La suddivisione del corso d'acqua in tratti omogenei per la valutazione morfologica tramite il metodo IDRAIM (*Rinaldi et al., 2011*) si esegue in 4 step, per la precisione:

- step 1: inquadramento e definizione delle unità fisiografiche;
- step 2: definizione del grado di confinamento;
- step 3: definizione della morfologia dell'alveo;
- step 4: suddivisione finale in tratti.

Tale processo è iterativo: in alcuni casi l'individuazione di importanti discontinuità potrà portare a rivedere la suddivisione del tratto individuato precedentemente. E' preferibile quindi partire con una suddivisione iniziale di tentativo per poi perfezionarla progressivamente (*Rinaldi et al., 2011*).

### 4.2.1.1 Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche

Questo primo passaggio ha lo scopo di inquadrare il contesto fisico nel quale è inserito il corso d'acqua e di effettuarne una prima suddivisione in unità fisiografiche e segmenti. Ci si baserà principalmente su cartografia e su dati raccolti riguardanti l'area del bacino, le litologie prevalenti, il clima e il regime idrologico, l'uso del suolo nel bacino e i profili longitudinali e si punterà a comprendere i condizionamenti fisici sul carattere, sul comportamento e sulle variazioni della configurazione longitudinale del corso d'acqua in esame.

La prima suddivisione è riconducibile a due principali ambiti fisiografici: collinare-montuoso e di pianura che a loro volta hanno una diversa suddivisione a seconda dell'area geografica in cui si trova il corso d'acqua (settore alpino-pianura padana, settore appenninico e isole). I tratti del corso d'acqua compresi all'interno di ogni unità fisiografica sono denominati segmenti, all'interno di ognuna di queste unità è possibile distinguere più segmenti in funzione del confinamento, dalle caratteristiche morfologiche e del profilo longitudinale. Normalmente in zone montuose i segmenti sono dell'ordine dei chilometri mentre nei tratti in pianura si arriva anche a lunghezze fino alle decine di chilometri.

#### 4.2.1.2 Definizione del grado di confinamento

In questo step verranno caratterizzate più in dettaglio le condizioni di confinamento. Dalle immagini telerilevate, tramite analisi GIS, andremo a calcolare il *grado di confinamento* ( $G_c$ ), questo, inteso come la percentuale di lunghezza del corso d'acqua in cui c'è o meno la presenza del contatto con elementi che ne impediscono la mobilità laterale (versanti o terrazzi antichi), sarà utile ad una prima divisione in tratti.

In base alla percentuale di sponde confinate possiamo dividere in:

- alveo confinato: il 90% delle sponde è a diretto contatto con versanti o terrazzo ed è tipico di zone montane e collinari. Vengono considerati versanti anche i conoidi che, seppur incoerenti, causa la loro granulometria più grossolana, condizionano la mobilità laterale del corso d'acqua;
- alveo semiconfinato: la pianura è discontinua, le sponde sono a contatto con i versanti per una lunghezza compresa tra il 10% e il 90% della lunghezza del tratto. È tipico delle principali valli alpine e delle zone pedemontane;
- alveo non confinato: meno del 10% delle sponde sono a contatto con versanti o terrazzi antichi. Le sponde sono completamente mobili e l'alveo è completamente in grado di rimodellarsi (*Brierley & Fryirs, 2005*).

Oltre al *grado di confinamento* ( $G_c$ ), verrà calcolato l'*indice di confinamento* ( $I_c$ ), ovvero il rapporto tra la larghezza della pianura ( $L_p$ ) e la larghezza dell'alveo ( $L_a$ ); in base al valore di questo si potranno definire le seguenti classi:

- confinamento alto: indice compreso tra 1 ed 1.5;
- confinamento medio: indice compreso tra 1.5 ed  $n$ ;
- confinamento basso: indice maggiore di  $n$ .

L'indice  $n$ , in base alla morfologia fluviale, assume i valori di:

- $n = 5$  per alvei a canale singolo o transizionali sinuosi a barre alternate;
- $n = 2$  per alvei a canali intrecciati o transizionali wandering.

Sulla base dell'*indice* e del *grado di confinamento* è possibile definire le tre classi di confinamento, come specificato in tabella:

Classe di confinamento	Descrizione
Confinati	Tutti i casi di confinamento >90%
	Grado di confinamento compreso tra 10% e 90% e indice di confinamento $\leq 1,5$
Semiconfinati	Grado di confinamento compreso tra 10% e 90% e indice di confinamento $> 1,5$
	Grado di confinamento $<10\%$ e indice di confinamento $\leq n$
Non confinati	Grado di confinamento $<10\%$ e indice di confinamento $> n$

Tabella 4.1 – Classi di confinamento (da: Rinaldi et al., 2011).

#### 4.2.1.3 Definizione della morfologia dell'alveo

Si procede quindi alla descrizione delle morfologie fluviali presenti basandosi su vari fattori quali il *grado di confinamento*, il numero di canali, la forma planimetrica e la configurazione del fondo (nel caso di alvei confinati). Una prima schematizzazione può essere fatta partendo dall'ambito fisiografico nel quale il corso d'acqua è inserito.

Nel caso di ambito collinare-montuoso distingueremo innanzitutto tra alvei confinati e semiconfinati e non confinati. Se confinati, al primo livello di classificazione, distingueremo tra canale singolo e alvei a canali multipli, in un secondo livello potremmo fare distinzioni all'interno dei confinati a canale singolo a seconda della configurazione del fondo. Per i semiconfinati e i non confinati il criterio è basato sulla forma planimetrica. In ambito di pianura i corsi d'acqua sono sempre semiconfinati o non confinati e ci si basa sulla forma planimetrica, la forma del fondo viene descritta ma non è discriminante ai fini della classificazione. Le valutazioni per questo step vengono eseguite tramite analisi GIS delle immagini telerilevate, scopo finale di queste sarà il calcolo di tre indici caratteristici: *sinuosità* (Thorne, 1997), *intrecciamento* (Egozi & Ashmore, 2008) e *anastomizzazione*.

L'*indice di sinuosità (Is)* (Fig. 4.5) è il rapporto tra la lunghezza misurata lungo il corso ( $l_a$ ) e la lunghezza misurata per lo stesso tratto seguendo la direzione del tracciato planimetrico complessivo del corso d'acqua, ovvero la lunghezza dei due estremi lungo l'asse (Thorne, 1997).

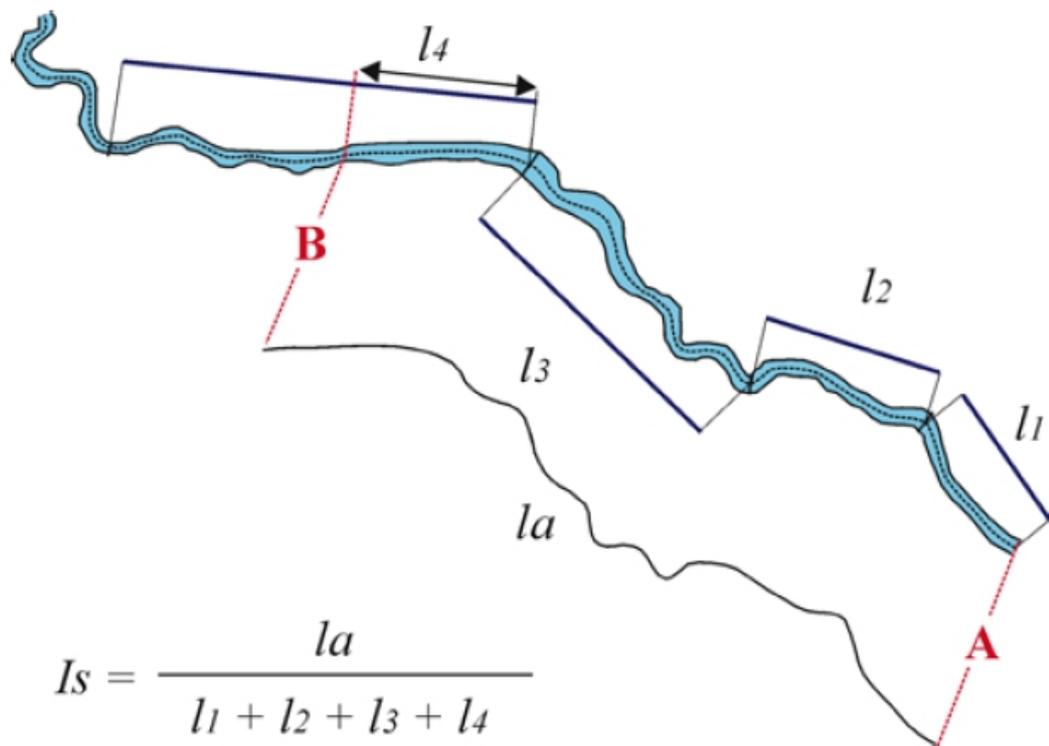


Figura 4.5 – Indice di sinuosità (da: Surian et al., 2009).

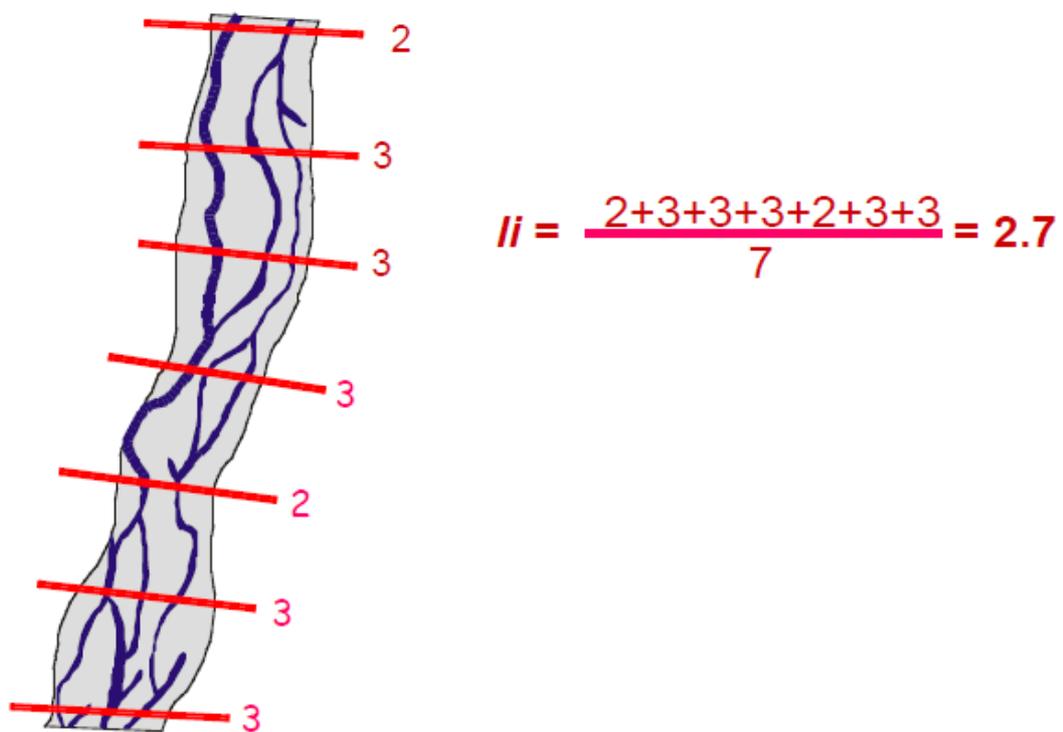


Figura 4.6 – Indice di intrecciamento (da: Surian et al., 2009).

L'indice di intrecciamento ( $li$ ) (Fig. 4.6) è definito come il numero di canali attivi separati da barre. Una volta stabilito un passo spaziale lungo l'asse si seziona l'alveo e si contano i canali attivi e se ne calcola la media (Egozi & Ashmore, 2008).

L'indice di anastomizzazione ( $la$ ) (Fig. 4.7) è invece il numero di canali attivi separati da isole fluviali e si calcola alla stessa maniera dell'indice di intrecciamento.

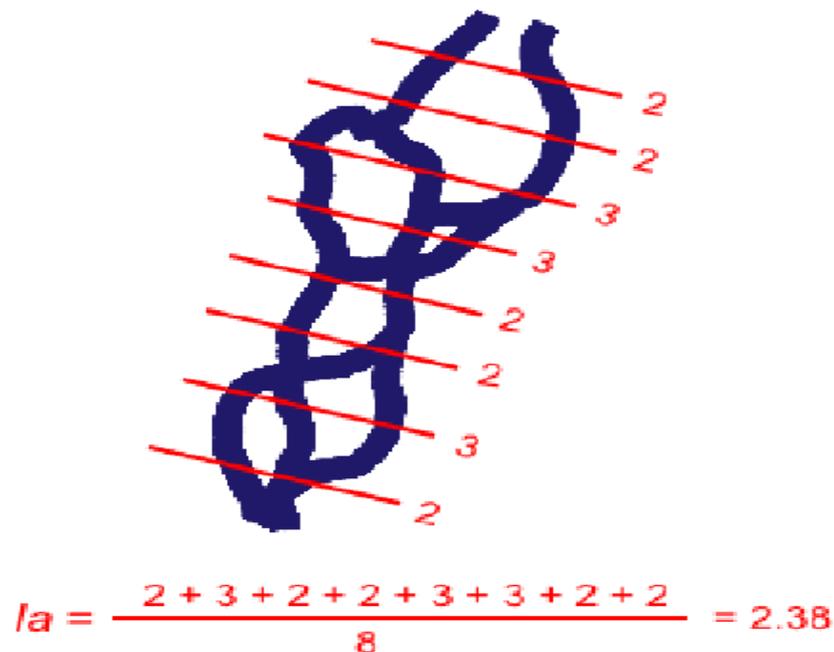


Figura 4.7 – Indice di anastomizzazione (da: Surian et al., 2009).

Sulla base di questi tre indici viene definito il pattern morfologico del corso d'acqua secondo delle tipologie definite appositamente e che tengono conto del contesto di applicazione del territorio italiano. Le tipologie basate sulla forma planimetrica sono:

- rettilineo: si tratta di un corso d'acqua a canale singolo, quindi con *indice di intrecciamento* pari o prossimo ad 1 e *indice di sinuosità* inferiore a 1.05 (Brice, 1975). Questa è una morfologia rara in natura, generalmente è indicativa di tratti artificiali.
- Sinuoso: quando l'*indice di sinuosità* è inferiore a 1.3 si parla di alvei a bassa sinuosità mentre si parla di sinuoso-meandriformi quando è superiore (ma inferiore a 1.5, valore che separa dai meandriformi) (Leopold & Wolman, 1957). È possibile la presenza di barre ma mai in maniera continua ai lati del

canale. Possono essere presenti isole fluviali ma l'*indice di anastomizzazione* è sempre basso.

- Meandriforme: alveo a canale singolo con la formazione di una successione di meandri. Si classificano così alvei con *indice di sinuosità superiore* a 1.5 (Leopold & Wolman, 1957). Anche in questi è possibile la presenza di qualche isola fluviale.
- Transizionale: questa categoria racchiude alcune morfologie i cui alvei presentano caratteristiche intermedie tra altri tipi di tipologie principali (canale singolo e a canali intrecciati). Per tali caratteristiche è difficile dare dei valori limite per la loro definizione, quindi ci si basa anche su altre osservazioni di tipo qualitativo. Queste tipologie si trovano in un alveo largo e poco profondo, costituito per la gran parte da barre emerse, in maniera molto simile agli alvei a canali intrecciati dai cui si differenziano per l'intrecciamento molto più basso o assente. In base a quest'ultima caratteristica possiamo distinguere due sotto-tipologie:
  1. wandering: presentano un alveo largo e con situazioni di intrecciamento piuttosto diffuse (indice comunque inferiore ad 1.5), oltre che a situazione locali con presenza di isole (Church, 1983);
  2. sinuoso a barre alternate: le caratteristiche sono simili a quello precedente ma l'alveo, in genere meno largo, presenta situazioni di intrecciamento molto minori (Billi, 1988; Rinaldi, 2003). Benché le tipologie siano entrambe transizionali i corsi d'acqua di tipo wandering vengono spesso raggruppati tra quelli a canale multiplo mentre quelli sinuosi a barre alternate tra gli alvei a canale singolo.
- Canali intrecciati: sono alvei con più canali separati da barre. Il parametro caratterizzante è l'*indice di intrecciamento* e normalmente il valore soglia è quello di 1.5.
- Anastomizzato: si tratta di alvei separati dalla presenza di isole vegetate dove anche in condizioni di piena il pattern rimane pluricursale. Il parametro

caratterizzante è l'indice di anastomizzazione ed è anche in questo caso il valore di soglia inferiore è 1.5.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei valori soglia per la distinzione delle morfologie dei corsi d'acqua alluvionali:

TIPOLOGIA	INDICE SINUOSITÀ	INDICE INTRECCIAMENTO	INDICE ANASTOMIZZAZIONE
Rettilinei ( <i>R</i> )	$1 \leq I_s < 1.05$	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)
Sinuosi ( <i>S</i> )	$1.05 \leq I_s < 1.5$	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)
Meandriiformi ( <i>M</i> )	$\geq 1.5$	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)
Sinuosi a barre alternate ( <i>SBA</i> )	< 1.5	Prossimo ad 1	Prossimo ad 1
<i>Wandering</i> ( <i>W</i> )	< 1.5	$1 < I_i < 1.5$	$1 < I_a < 1.5$
Canali intrecciati ( <i>CI</i> )	qualunque (di norma basso)	$\geq 1.5$	< 1.5
Anastomizzati ( <i>A</i> )	qualunque (anche > 1.5)	1÷1.5	$\geq 1.5$
<b>Altre caratteristiche distintive</b>			
Rettilinei ( <i>R</i> ) o sinuosi ( <i>S</i> )	Rispetto ai <i>SBA/W</i> : Presenza discontinua (o assenza) di barre laterali (lunghezza barre laterali < 80%)		
Sinuosi a barre alternate ( <i>SBA</i> )	Rispetto ai <i>R/S</i> : Presenza continua o quasi di barre laterali (lunghezza barre laterali di norma > 80%). Rispetto ai <i>W</i> : alveo relativamente più stretto; assenza (o limitata presenza) di intrecciamento e anastomizzazione.		
<i>Wandering</i> ( <i>W</i> )	Rispetto ai <i>R/S</i> : Presenza continua o quasi di barre laterali (lunghezza barre laterali di norma > 80%). Rispetto ai <i>SBA</i> : alveo relativamente più largo; presenza significativa di fenomeni di intrecciamento e/o anastomizzazione		

Tabella 4.2 – Valori soglia per la distinzione delle morfologie fluviali.

Nella descrizione dei corsi d'acqua confinati il criterio di caratterizzazione si differenzia a seconda che la tipologia studiata sia a canali multipli (o wandering) o a canale singolo.

Nel caso di canali multipli si adoperano i criteri di classificazione visti in precedenza mentre, nel caso del canale singolo (escludendo i transazionali), si deve procedere con una classificazione che si basa sulle forme del fondo. La prima classificazione possibile è tra:

- alveo in roccia: è assente il letto alluvionale, tale mancanza è associabile ad un'elevata capacità di trasporto solido (Wohl, 2000);

- alveo colluviale: caratterizzati dall'essere incisi all'interno del materiale colluviale e presentano normalmente piccole dimensioni;
- alveo a fondo mobile: si presentano come un letto con uno strato di sedimento grossolano. Utilizzando la configurazione del fondo si distinguono in diverse tipologie (a gradinata, letto piano, riffle-pool, a dune o alvei a fondo artificiale) (*Montgomery & Buffington, 1997*).

Per la caratterizzazione morfologica del tratto dovranno essere valutati alcuni parametri che, anche se non influiscono direttamente ai fini dell'attribuzione ad una tipologia morfologica, sono fondamentali per la caratterizzazione del tratto stesso. Tali sono:

- pendenza media del fondo (S): si calcola rapportando il dislivello di quota del fondo e la distanza misurata lungo l'alveo;
- larghezza dell'alveo (L): la larghezza dell'alveo (*bankfull channel*);
- sedimenti dominanti dell'alveo: si indica il tipo di sedimenti dominanti presenti nella porzione più attiva dell'alveo scegliendo tra: argilla, limo, sabbia, ghiaia, ciottoli e massi. Se eterogenei è possibile indicare più di una classe.

#### 4.2.1.4 *Suddivisione finale in tratti*

La suddivisione finale in tratti omogenei dal punto di vista morfologico si otterrà infine tenendo conto di ulteriori dati, quali:

- discontinuità della pendenza del fondo: viene completato il profilo longitudinale anche per i tratti non confinati o semiconfinati. Le variazioni di pendenza di solito comportano una variazione di morfologia, ma nel caso contrario possono servire a delimitare un tratto;
- discontinuità idrologiche naturali o artificiali: sono queste gli affluenti che determinano significativi incrementi di portate liquide, le dighe e le briglie di trattenuta;
- artificializzazione: nel caso di opere antropiche (quali briglie) molto ravvicinate o sponde completamente stabilizzate è conveniente caratterizzare tali tratti come a sé stanti;

- variazioni delle dimensioni della pianura e/o dell'indice di confinamento: talora queste discontinuità possono essere ritenute come limiti dei tratti;
- variazione della larghezza d'alveo. Nei casi in cui un alveo mantenga la sua tipologia ma vari molto la larghezza si può considerare tale aspetto come criterio aggiuntivo per la suddivisione;
- variazione della granulometria dei sedimenti.

#### **4.2.2 Classificazione dello stato morfologico attuale**

La classificazione avviene attraverso la valutazione di tre diverse tipologie di indicatori. La prima è relativa alla funzionalità geomorfologica (*Tab. 4.3*) e si valutano le forme e la funzionalità dei processi, nella seconda si valuta l'artificialità (*Tab. 4.3*) del tratto e nell'ultimo gruppo le variazioni morfologiche (*Tab. 4.3*) avvenute negli ultimi decenni confrontando le foto attuali con carte o fotografie degli anni '50. Tali valutazioni vengono effettuate con l'ausilio di apposite schede di valutazione che consentono, attraverso l'impiego integrato di analisi GIS delle immagini e rilevamenti sul terreno, un'analisi guidata dei vari aspetti.

Funzionalità e artificialità si differenziano in funzione del confinamento dell'alveo, ovvero alcuni indicatori vengono considerati solo per i tratti confinati e altri solo per gli alvei semiconfinati o non confinati. Le variazioni morfologiche si valutano invece solo per gli alvei di larghezza superiore ai 30 metri (o che attualmente hanno una larghezza < 30 m ma negli anni '50 era superiore a 30 m).

Alcuni singoli indicatori non si valutano in qualche sottocaso specificato nelle schede ed è inoltre possibile non valutarne altri nel caso in cui non ci siano informazioni a sufficienza. Nel caso ci sia insicurezza in qualche risposta è possibile assegnare un valore di "confidenza" tra due risposte, questi incertezze si rifletteranno poi in un valore di IQM massimo e in uno minimo.

CATEGORIE	FUNZIONALITÀ GEOMORFOLOGICA		A	B	C	
<i>Continuità</i>	<i>F1</i>	Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso	0	3	5	
	<i>F2</i>	Presenza di piana inondabile	0	3	5	
	<i>F3</i>	Connessione tra versanti e corso d'acqua	0	3	5	
	<i>F4</i>	Processi di arretramento delle sponde	0	2	3	
	<i>F5</i>	Presenza di una fascia potenzialmente erodibile	0	2	3	
<i>Morfologia Configurazione morfologica</i>	<i>F6</i>	Morfologia del fondo e pendenza della valle	0	3	5	
	<i>F7</i>	Forme e processi tipici della configurazione morfologica	0	3	5	
	<i>F8</i>	Presenza di forme tipiche di pianura	0	2	3	
<i>Configurazione sezione</i>	<i>F9</i>	Variabilità della sezione	0	3	5	
<i>Struttura e substrato alveo</i>	<i>F10</i>	Struttura del substrato	0	2	5	6
	<i>F11</i>	Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni	0			3
<i>Vegetazione fascia perifluviale</i>	<i>F12</i>	Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	0	2	3	
	<i>F13</i>	Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti lungo le sponde	0	3	5	

ARTIFICIALITÀ		A	B	C		
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte</i>						
<i>A1</i>	Opere di alterazione delle portate liquide	0	3	6		
<i>A2</i>	Opere di alterazione delle portate solide	0	3	6	9	12
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto</i>						
<i>A3</i>	Opere di alterazione delle portate liquide	0	3	6		
<i>A4</i>	Opere di alterazione delle portate solide	0	4	6		
<i>A5</i>	Opere di attraversamento	0	2	3		
<i>Opere di alterazione della continuità laterale</i>						
<i>A6</i>	Difese di sponda	0	3	6		
<i>A7</i>	Arginature	0	3	6		
<i>Opere di alterazione della morfologia dell'alveo e/o del substrato</i>						
<i>A8</i>	Variazioni artificiali di tracciato	0	2	3		
<i>A9</i>	Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato	0	3	6	8	
<i>Interventi di manutenzione e prelievo</i>						
<i>A10</i>	Rimozione di sedimenti	0	3	6		
<i>A11</i>	Rimozione di materiale legnoso	0	2	5		
<i>A12</i>	Taglio della vegetazione in fascia perifluviale	0	2	5		

CATEGORIE	VARIAZIONI MORFOLOGICHE		A	B	C
<i>Morfologia Configurazione morfologica</i>	<i>V1</i>	Variazione della configurazione morfologica	0	3	6
<i>Configurazione sezione</i>	<i>V2</i>	Variazioni di larghezza	0	3	6
	<i>V3</i>	Variazioni altimetriche	0	4	8

Tabella 4.3 – Indicatori componenti l'IQM (da Rinaldi et al., 2011).

Il lavoro di valutazione morfologica si divide in 6 fasi (le prime 3 vengono svolte durante la divisione in tratti):

1. *raccolta di materiale esistente e ricognizione iniziale*: acquisizione del materiale esistente (carte topografiche, geologiche, uso del suolo, ecc.) per l'inquadramento iniziale del bacino e degli aspetti fisici di interesse. Può essere utile in questa fase una prima ricognizione ai fini del riconoscimento delle unità fisiografiche;
2. *classificazione morfologica iniziale e delimitazione del tratto*: osservazione delle caratteristiche del corso d'acqua da immagini satellitari (o aeree) integrata poi dall'uso delle carte geologiche o topografiche o di qualsiasi altro strumento utile all'individuazione delle discontinuità;
3. *acquisizione di informazioni relative alle opere ed interventi*: è necessario raccogliere informazioni sia su interventi presenti che passati da parte degli enti responsabili della gestione dei corsi d'acqua. Molto utili in questa fase i dati forniti dai database regionali (spesso consultabili tramite un WebGIS);
4. *osservazione ed analisi delle immagini telerilevate*: partendo dalle immagini telerilevate più recenti disponibili si effettuano alcune misure e valutazioni in ambiente GIS. In questa fase vengono definite le classi relative a tutti gli indicatori, eccetto che per quelli che richiedono necessariamente la ricognizione sul terreno (al termine della quale si completerà la compilazione delle schede di valutazione). È fondamentale che in questo passaggio vengano individuate le criticità e quelle che sono le informazioni più importanti da raccogliere nella fase successiva in campo, in modo da rendere l'uscita il meno dispersiva e dispendiosa possibile;
5. *rilievi sul terreno*: questo passaggio deve essere ben organizzato ed indirizzato a risolvere gli aspetti e i punti critici già individuati nelle fasi precedenti. È necessario poter disporre delle elaborazioni eseguite nei primi quattro step al fine di poterle confrontare efficacemente con la situazione reale (soprattutto per quanto riguarda gli indicatori relati alle variazioni);
6. *perfezionamento e conclusione delle analisi da immagini telerilevate*:

attraverso le informazioni raccolte su terreno sarà possibile rivedere e perfezionare alcuni dei calcoli eseguiti precedentemente (ad esempio la percentuale di piana inondabile, copertura della vegetazione, ecc). terminate queste operazioni sarà possibile quindi calcolare l'Indice di Alterazione Morfologica (IAM), e di conseguenza l'Indice di Qualità Morfologica (IQM=1-IAM) del tratto in esame. A seconda del valore di quest'ultimo sarà possibile assegnare al tratto una delle classi di qualità secondo la *Tab. 4.4*.

VAL	IQM	CLASSE DI QUALITÀ	
0,3	$0.0 \leq IQM < 0.3$	Pessimo	
0,5	$0.3 \leq IQM < 0.5$	Scadente	
0,7	$0.5 \leq IQM < 0.7$	Moderato	
0,85	$0.7 \leq IQM < 0.85$	Buono	
	$0.85 \leq IQM < 1.0$	Elevato	

*Tabella 4.4 – Classi di qualità morfologica (da Rinaldi et al., 2011).*

Il metodo IDRAIM presenta dei limiti di applicabilità in quanto non è adatto a rappresentare le forme ed i processi tipici di alvei di piccole dimensioni alla testata del bacino o a forme incise (*gullies*), non è applicabile a canali artificiali e ai laghi o agli invasi artificiali.

## 4.3 MATERIALI

Ai fini di questo lavoro è stata fondamentale la raccolta di materiale informatico su cui basare i calcoli, buona parte di questo è disponibile in rete su WebGIS della Regione Friuli Venezia Giulia mentre il restante è stato fornito da ARPA e dalla Regione Friuli Venezia Giulia. Tutti i calcoli eseguiti in questo elaborato sono stati effettuati con programmi Open Source.

### 4.3.1 Programmi informatici

Per l'applicazione del metodo IDRAIM è necessario l'utilizzo di programmi GIS, in questo lavoro sono stati utilizzati:

- Quantum GIS (QGIS): questo software, molto simile nell'interfaccia utente e nelle funzioni ad alcuni dei più comuni GIS commerciali, è distribuito come

programma open source con licenza GNU. Il programma è estendibile tramite l'installazione di numerosi Plugin. Per le sue caratteristiche e la sua versatilità è stato utilizzato come base per gran parte dei calcoli eseguiti, soprattutto quelli in cui era necessaria l'analisi di dati vettoriali;

- GRASS GIS: acronimo di *Geographic Resources Analysis Support System*, è un programma open source rilasciato sotto licenza GNU GPL. Nato all'inizio degli anni '80 come progetto dell'US Army è attualmente sviluppato da un centro italiano, il quale si avvale prevalentemente di collaboratori volontari esterni. Questo programma è stato utilizzato principalmente per l'analisi e l'elaborazione di dati raster;
- Google Earth: questo software permettere di visualizzare gratuitamente immagini virtuali della Terra ottenute da immagini satellitari. È stato utilizzato nelle fasi iniziali in quanto è possibile importare e analizzare file vettoriali e da questi ottenere in maniera molto rapida e precisa buona parte delle informazioni richieste nella sezione “generalità” delle schede IQM.

### **4.3.2 Materiale informatico**

Il metodo IDRAIM richiede di disporre di numerosi dati geografici e di basi cartografiche su cui poter eseguire i calcoli in ambiente GIS per poter assegnare le classi di qualità agli indicatori, i principali utilizzati sono stati:

- ortofoto AGEA 2007 e 2011: queste foto, geometricamente corrette e georeferenziate, sono state fornite dalla Regione Friuli Venezia Giulia e sono state utilizzate come base per le osservazioni dello stato attuale dei corpi idrici e del loro bacino;
- DTM (*Digital Terrain Model*): anche questo di proprietà della Regione, è un modello ottenuto dall'interpolazione delle curve di livello, il passo di quello utilizzato è di 10 metri ed è stato utilizzato per il calcolo delle pendenze e di tutte le informazioni a queste collegate;
- foto Aeree GAI '54: queste foto aeree, consultabili in Regione, sono di proprietà dell'Istituto Geografico Militare. Sono state scattate nel 1954 e

sono state utilizzate, dopo essere state georeferenziate, per i confronti della morfologia dei corsi d'acqua con il passato;

- Carta militare topografico-geometrica del Ducato di Venezia (Carte *Von Zach*): allo stesso scopo e alla stessa maniera delle foto GAI del '54 sono state utilizzate queste carte (1:28000) disegnate tra il 1798 e il 1805;
- CTR 5000: la Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000, scaricabile dal sito della Regione, è stata utilizzata principalmente per la valutazione dell'antropizzazione dei corsi d'acqua a supporto dei catasti opere;
- catasti opere: questi database, scaricabili dal WebGIS regionale (anche in formato Shape File), sono stati lo strumento più utilizzato per la valutazione della presenza di opere in alveo. Questi sono stati spesso integrati con l'utilizzo della CTR.

#### **4.4 RISULTATI OTTENUTI E APPLICAZIONI RAPPRESENTATIVE**

La fase di applicazione del metodo IDRAIM è stata effettuata, durante il mio primo periodo di tirocinio presso l'ARPA FVG, in collaborazione con i tecnici dell'Agenzia e il Dipartimento di Idraulica della Regione Friuli Venezia Giulia. Al fine di minimizzare gli errori legati alle valutazioni personali degli operatori, le schede di valutazione sono state compilate da almeno due persone diverse per ogni tratto e sono state ridiscusse da me e da tutti i tecnici presenti durante le uscite in campo: in questo momento veniva compilata la scheda definitiva, quella su cui poi è stato calcolato l'IQM riportato in questo lavoro.

Degli oltre 300 punti su cui ARPA ha eseguito il campionamento biologico in 136 lo stato ecologico attribuito è stato ELEVATO o BUONO, di questi ne sono stati scelti 90 su cui applicare il metodo di *Buffagni et al. (2008a)*. 41 di questi, quelli il cui punteggio totale è stato maggiore di 0,90, sono stati considerati idonei e sono quindi potuti passare all'ultima fase prevista, ovvero la valutazione dello stato geomorfologico e, nel caso in cui anche la classe di questo sia risultata ELEVATA, il tratto è considerabile come “*sito di riferimento*”.

La maggior parte dei copri idrici su cui è stata effettuata la valutazione morfologica sono delle tipologie 02SS1T e 02SS2T, ovvero originati da scorrimento

superficiale e distanti non più di 25 km dalla sorgente (la maggior parte si trova entro i 10 km dalla sorgente) e facenti parte dell'idroecoregione 02 "Prealpi e Dolomiti". Nonostante la sua grande estensione in Regione, nessuno dei corpi idrici dell'HER 06 "Pianura Padana" è risultato idoneo per i "Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali per la Direttiva 2000/60/EC".

La prima operazione effettuata è stata quella della divisione dei corpi idrici in tratti morfologicamente omogenei secondo la metodologia IDRAIM, il calcolo dell'IQM è stato poi eseguito solo sul tratto in cui si trovava il punto di campionamento ARPA (solitamente posto alla fine del corpo idrico, in modo da essere rappresentativo di tutte le pressioni esistenti sul quella porzione di corso d'acqua).

Nella successiva tabella (Tab. 4.5) sono riportati tutti i valori degli IQM e i suoi subindici (riportati come scostamento percentuale dalla situazione naturale). Questi calcoli hanno portato quindi alla validazione idromorfologica di 24 tratti di corpi idrici nell'idroecoregione 02 Prealpi e Dolomiti: 19 afferenti alla tipologia 02SS1T, 1 tratto alla 02SS2T, 1 tratto alla 02SS3T, 3 tratti alla 02SR6T. Nell'idroecoregione 03, quelle della Alpi Occidentali, e nell'idroecoregione 07 (Carso) che interessano in piccola parte la regione, sono stati validati 2 siti: 1 della tipologia 03SS1N (il Torrente Messaccio) e uno della tipologia 07SS2T (appartenente al Torrente Rosandra).

In cinque casi analizzati (*in giallo nella Tab. 4.5*)(nel Torrente Vedronza, nel Rio Marsiglia, nel Torrente Muiè, nel Torrente Chiarò di Prestento e nel tratto 02SS2T del Torrente Natisone) il valore dell'IQM permetterebbe di definire la qualità morfologica dei tratti come ELEVATA, ma gli scostamenti assegnati ad alcune risposte, considerati comunque come meno probabili, lo farebbero ricadere nella classe qualitativa inferiore (BUONO), la quale non permetterebbe di validare il tratto come sito di riferimento.

Corpo idrico	Tipologia	Codice stazione	IQM	Subindici					
				Verticali			Orizzontali		
				Funzionalità	Artificialità	Variazioni	Continuità	Morfologia	Vegetazione
%	%	%	%	%	%				
T. Degano	02SS1T	UD014	0.81	84	79	/	86	77	85
T. Ellero	02SS1T	UD076	0.87	92	84	/	92	85	73
F. Judrio	02SS1T	UD091	0.98	100	97	/	95	100	100
Rio Bianco (Slizza)	02SS1T	UD105	0.89	92	87	/	81	95	100
Rio Bianco (Natisone)	02SS1T	UD106	0.97	100	95	/	100	95	100
Rio Bianco (Uccea)	02SS1T	UD107	0.92	100	87	/	95	86	100
Rio Bordaglia	02SS1T	UD109	0.96	91	100	/	94	100	/
Rio Fulin	02SS1T	UD116	0.69	62	73	/	74	68	62
Rio Nero	02SS1T	UD124	1	100	100	/	100	100	100
Rio Uccea	02SS1T	UD127	0.98	100	97	/	95	100	100
T. Chiarò di Prestento	02SS1T	UD138	0.85	78	86	/	82	90	67
T. Cosizza	02SS1T	UD145	0.91	86	94	/	88	100	69
T. Natisone	02SS1T	UD159	0.91	86	94	/	88	100	69
T. Resia	02SS1T	UD167	0.92	84	88	/	88	100	77
T. Rieca	02SS1T	UD168	0.89	86	90	/	84	95	85
T. Vedronza	02SS1T	UD174	0.85	84	86	/	77	91	100
T. Leale	02SS1T	UD178	0.74	61	73	100	60	84	67
T. Cellina	02SS1T	PN012	0.77	70	81	/	81	82	62
T. Prescudin	02SS1T	PN017	0.75	72	85	42	74	73	91
T. Comugne	02SS1T	PN027	0.92	88	94	/	89	96	100
T. Muiè	02SS1T	PN031	0.86	86	81	/	84	84	85
T. Silisia	02SS1T	PN081	0.92	100	87	/	88	93	100
T. Viellia	02SS1T	PN083	0.98	100	97	/	95	100	100

T. Cimoliana	02SS1T	PN091	1	100	100	/	100	100	100
T. Pezzeda	02SS1T	PN097	1	100	100	/	100	100	100
Rio S.Maria	02SS1T	PN099	1	100	100	/	100	100	100
T. Arzino	02SS1T	PN105	0.88	94	79	100	93	88	67
Rio Marsiglia	02SS1T	PN106	0.86	86	86	/	84	93	85
T. Natisone	02SS2T	UD069	0.85	78	86	100	82	90	67
Rio Bianco (Slizza)	02SS2T	UD083	0.71	62	76	/	79	73	46
T. Resia	02SS2T	UD085	0.75	74	71	100	76	68	83
T. Cimoliana	02SS2T	PN016	0.82	78	86	75	82	84	64
T. Arzino	02SS2T	PN026	0.93	86	97	/	88	100	84
F. Tagliamento	02SS3T	UD003	0.89	100	87	75	87	88	100
T.Cellina	02SS3T	PN028	0.70	78	66	75	78	67	45
Rio Barman	02SR6T	UD104	0.94	100	90	/	90	95	100
T. Raccolana	02SR6T	UD166	0.90	78	97	/	88	100	62
T. Artugna	02SR6T	PN030	0.85	91	81	/	81	81	100
T. Messaccio	03SS1N	PN101	0.98	100	97	/	95	100	100
T. Rosandra	07SS2T	TS001	0.98	92	97	/	88	100	100
T. Rosandra	07IN7T	TS002	0.80	78	81	/	79	88	69

Tabella 4.5 – I valori dell'IQM e dei subindici calcolati.

#### 4.4.1 Tratto iniziale del Torrente Resia

Il tratto considerato, lungo circa 5,8 km, è il segmento 02SS1T del Torrente Resia, corso d'acqua che da il nome alla valle in cui scorre. Questo torrente ha origine dai rii che scendono dalle pendici del Monte Canin e da quelle del Monte Guarda e separa le Alpi Giulie dalle Prealpi Giulie Orientali. Scorre nella sua parte iniziale all'interno del Parco Naturale Regionale delle Prealpi Giulie e parte del suo bacino idrografico si trova nella catena dei Monti Musi, noti per avere una media di precipitazioni tra le più alte d'Europa (3300 mm/anno).

Il tratto considerato inizia alla sorgente e termina alla confluenza con il Rio Secco, riceve le acque da un bacino di 12km<sup>2</sup> con delle portate medie stimate di 0,84 m<sup>3</sup>/s, la pendenza media del fondo è del 14% e i sedimenti predominanti sono

massi, la larghezza media dell'alveo è di circa 8 metri e la configurazione è a gradinata. Il calcolo del confinamento ha permesso di classificare il tratto come confinato ( $lc=1$ ).

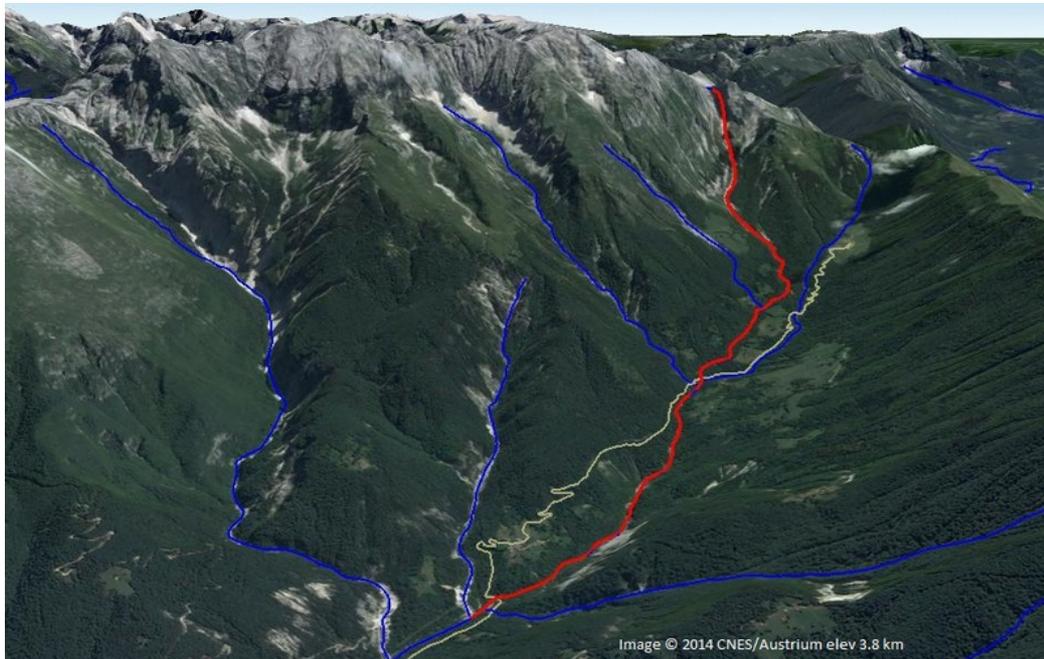


Figura 4.8 – La val Resia. In rosso il tratto studiato, in blu la rete idrografica e in bianco la rete stradale.

Visto il suo ristretto alveo ( $< 30\text{m}$ ) non sono state prese in considerazione le variazioni morfologiche. Non si sono riscontrati significativi discostamenti rispetto alle situazioni attese, solamente gli indicatori  $F3$  (connessione tra i versanti e il corso d'acqua) e  $F13$  (estensione lineare delle formazioni funzionali presenti lungo le sponde) si sono collocati in classe  $B$  a causa della presenza di una strada che si snoda per 1100 m su un lato del torrente. Non esistono opere in alveo che possano interferire in maniera rilevante con il trasporto solido e le portate formative, eccetto la presenza di due ponti che fanno ricadere l'indicatore  $A5$  in classe  $B$ . Il calcolo dell'IQM ha portato ad un valore di 0,92 pertanto il tratto si classifica come ELEVATO.

Le analisi nel punto di campionamento biologico nel tratto (l'UD 167) lo fanno risultare in stato ecologico ELEVATO (sia tramite il calcolo degli indici che tramite giudizio esperto) e con un punteggio di 0.95 per i criteri per la selezione dei siti di riferimento.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	A	A1	A	V1	/
F3	B	A2	A	V2	/
F6	A	A3	A	V3	/
F7	/	A4	A	<b>Indici e classe</b>	
F9	A	A5	B	Stot	8
F10	A	A6	A	Smax	100
F11	A	A9	A	IAM	0,08
F12	A	A10	A	IQM	0,92
F13	B	A11	A	Classe	<b>ELEVATO</b>
		A12	A		

Tabella 4.6 – La scheda IQM del Torrente Resia.



Figura 4.9 – Il Torrente Resia.

#### 4.4.2 Torrente Fulin presso il Rifugio Tolazzi

Questa secondo esempio di applicazione riguarda ancora un torrente montano tipizzato come 02SS1T in un tratto confinato. È un alveo a canale singolo con una pendenza media del 7% e una configurazione del fondo a gradoni, l'alveo, principalmente composto da massi, ha una larghezza media di 13 metri.

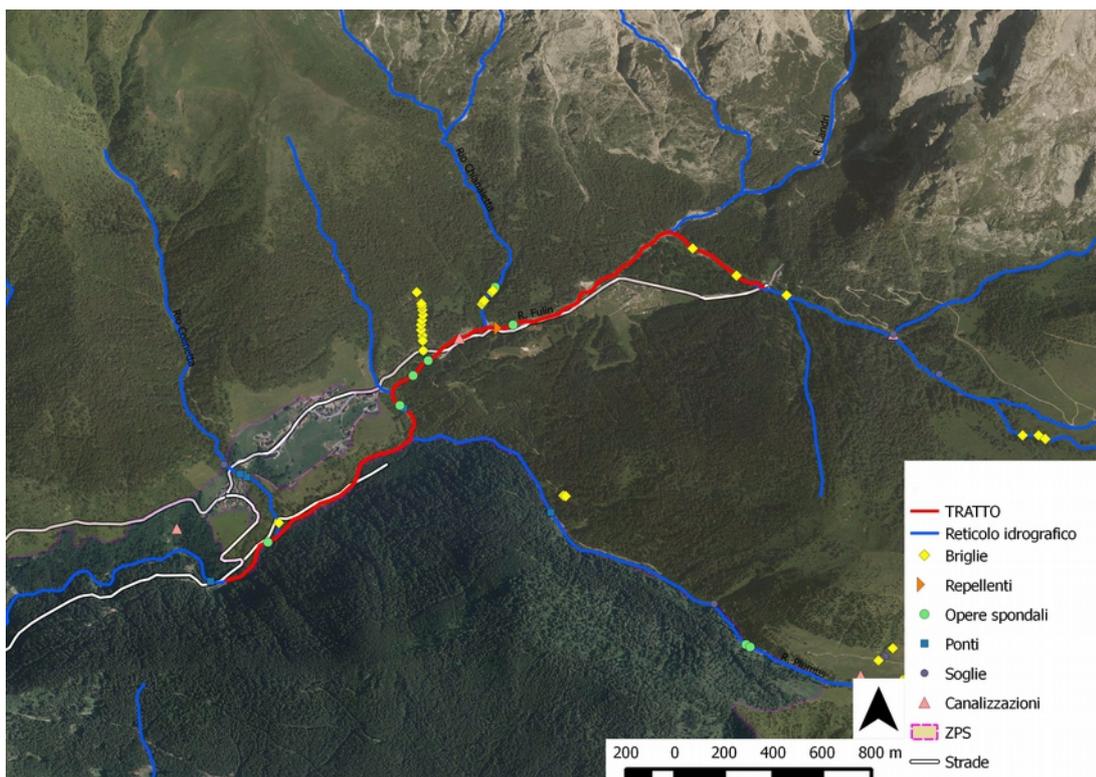


Figura 4.10 – Il Torrente Fulin.

Il tratto studiato, il quale inizia poco a valle del Rifugio Tolazzi e termina con la derivazione idroelettrica nei pressi dell'abitato di Collinetta (UD), si trova quasi interamente all'interno della ZPS IT3321001 ALPI CARNICHE, nonostante questo è, tra quelli studiati, quello che è risultato più antropizzato. Questa porzione di corpo idrico è fortemente condizionata dalla presenza di opere in alveo (due briglie, una canalizzazione, due ponti), di difese spondali (calcestruzzo e repellenti) e dalla presenza di una strada ad esso adiacente che altera la continuità tra il versante e il corso d'acqua: risultano quindi alterate sia la continuità laterale che longitudinale nel tratto. I recenti tagli della vegetazione (A12) hanno impatto sulla sua estensione lineare (F13) e il prelievo di sedimenti per le risistemazioni fluviali fa ricadere l'indicatore A10 in classe B. Uno degli indicatori, quello relativo alla variabilità della sezione, è ricaduto in classe C a causa del grande numero di difese spondali presenti.

La qualità morfologica del tratto è ricaduta complessivamente nella classe di MODERATO. Le analisi ecologiche nel punto in questo tratto (UD 116) davano il

risultato di BUONO sia per quanto riguarda lo stato ecologico che il giudizio esperto, l'analisi delle pressioni con il metodo di *Buffagni et al.* dava invece un valore di 0.93.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	B	A1	A	V1	/
F3	B	A2	A	V2	/
F6	A	A3	A	V3	/
F7	/	A4	B	<b>Indici e classe</b>	
F9	C	A5	B	Stot	31
F10	A	A6	B	Smax	100
F11	A	A9	B	IAM	0,31
F12	A	A10	B	IQM	0,69
F13	B	A11	A	Classe	<b>MODERATO</b>
		A12	B		

Tabella 4.7 – La scheda IQM del Torrente Fulin.

#### 4.4.3 Rio Santa Maria nel Parco delle Dolomiti Friulane

Questo torrente, affluente del Torrente Cimoliana, è situato nel Parco Naturale Regionale delle Dolomiti Friulane. Il calcolo dell'IQM ha interessato tutto il corpo idrico (tipizzato come 02SS1T), questo, lungo circa 5 km, si presenta con un alveo a canale singolo e con un'alta pendenza media (22%), sedimenti predominanti di grandi dimensioni (massi) e un bacino idrografico di 12,7 km<sup>2</sup>.

Questo tratto, assieme ad altri due all'interno del parco (il primo tratto del Torrente Cimoliana e il Torrente Pezzeda) e al Rio Nero (affluente del Torrente Natisone), risulta essere uno degli unici in Regione a non avere registrato alcun impatto antropico: tutti gli indicatori ricadono quindi in classe A e conseguentemente il valore dell'IQM risulta 1 facendo ovviamente ricadere la classe del tratto su ELEVATO.

Le analisi ecologiche, in controtendenza, non hanno dato un giudizio ELEVATO per questo punto (PN 099) ma BUONO; il giudizio esperto (ELEVATO) e il punteggio

delle valutazioni dei criteri per la selezione dei siti di riferimento (0.97) evidenziano comunque l'ottimo stato del tratto.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	A	A1	A	V1	/
F3	A	A2	A	V2	/
F6	A	A3	A	V3	/
F7	/	A4	A	<b>Indici e classe</b>	
F9	A	A5	A	Stot	0
F10	A	A6	A	Smax	100
F11	A	A9	A	IAM	0,00
F12	A	A10	A	IQM	1,00
F13	A	A11	A	Classe	<b>ELEVATO</b>
		A12	A		

Tabella 4.8 – La scheda IQM del Torrente Santa Maria.

#### 4.4.4 Torrente Natisone presso Pulfero



Figura 4.11 – Il torrente Natisone.

Il tratto 02SS2T del Torrente Natisone analizzato è quello che va dal confine con la Slovenia alla fine del corpo idrico, situata presso l'abitato di Pulfero (GO), ed è un tratto semi-confinato; il calcolo degli indici relativi alla sua forma planimetrica

permettono di descriverlo come wandering ( $l_s=1,05$ ;  $l_i=1$ ;  $l_a=1,1$ ). La pendenza media risulta molto bassa (1%), la larghezza media del tratto è di 32 metri e l'area drenata di circa 134 km<sup>2</sup>.

Vista la larghezza dell'alveo in questo caso sono state valutate anche le variazioni morfologiche; sono state quindi analizzate le foto degli anni '50 e, confrontando la situazione di quegli anni con quella attuale, non si sono notate differenze sostanziali: il V1, V2 e V3 ricadono quindi tutti in classe A. La presenza di un ponte con pile in alveo e di una strada che per un lungo tratto corre accanto al torrente fanno sì che molti indicatori riguardanti sia la funzionalità che l'artificialità ricadano in classe B. Nel caso degli indicatori A10 e A11 (*rimozione di sedimenti e rimozione di materiale legnoso*) non si è stati in grado di raccogliere informazioni sicure e per questo motivo si è deciso di dare la risposta A ma di indicare una confidenza con la risposta B. Per tale motivo il calcolo dell'IQM ha dato un valore di 0,85, il quale permette di definire il tratto come ELEVATO mentre il valore dell'IQM<sub>min</sub> legato alle confidenze (0,82) lo farebbe ricadere nella classe inferiore (BUONO).

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	B	A1	A	V1	A
F2	B	A2	A	V2	A
F4	A	A3	A	V3	A
F5	A	A4	A	<b>Indici e classe</b>	
F7	A	A5	B	Stot	21 (26)
F8	A	A6	B	Smax	142
F9	B	A7	A	IAM	0,15 (0,18)
F10	A	A8	A	IQM	0,85 (0,82)
F11	A	A9	B	Classe	<b>ELEVATO (B)</b>
F12	B	A10	A (B)		
F13	A	A11	A (B)		
		A12	B		

Tabella 4.9 – La scheda IQM del Torrente Natisone.

## 5. INDICE DI QUALITÀ MORFOLOGICA DEI FIUMI DI RISORGIVA

Come accennato nel capitolo precedente, nessuno dei corpi idrici appartenenti all'idroecoregione 06 è caratterizzato da uno stato di naturalità tale da permettergli di risultare idoneo per i “*Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali per la Direttiva 2000/60/EC*”. I corsi d'acqua che caratterizzano buona parte della Pianura Padana, soprattutto della sua porzione più orientale (la Pianura Veneto-friulana), sono quelli di risorgiva, i quali, come descritto nel capitolo 2, iniziano il loro corso dalla venuta a giorno della falda freatica a causa della variazione della permeabilità dei sedimenti (*Muscio, 2001*).

### 5.1 GUIDA ALLE RISPOSTE

L'importanza che i corsi d'acqua di risorgiva ricoprono in termini naturali, ambientali e paesaggistici è indubbiamente molto elevata: sono infatti ecosistemi delicatissimi e molto caratteristici, sia per la loro formazione geologica [probabilmente paragonabile solo a quella della fascia pede-himalaiana (*Fontana, 2006; Singh, 2001*)], che per le loro caratteristiche botaniche [alcune specie sono eredità dell'ultima glaciazione (*Martini, 1989*)] e faunistiche.

Tali caratteristiche, oltre alle necessità “organizzative” ai fini della classificazione, consiglierebbero quindi di applicare dei criteri di eccezione per la definizione dei siti di riferimento al fine di garantire la corretta protezione di questi ambienti. Tale procedura, contemplata dal metodo ed illustrata nel paragrafo 6.3 dei criteri di *Buffagni et al. (2008a)*, prevede la possibilità di non valutare certi indicatori purché vengano rispettati i limiti a livello generale. Questa eccezione ammessa dal metodo permette quindi di poter candidare a sito di riferimento alcuni dei corpi idrici regionali, i quali dovranno comunque essere validati tramite la valutazione della qualità morfologica.

Da questa necessità si è giunti allo sviluppo di questo lavoro, svolto adattando il metodo IDRAIM ai fiumi di risorgiva. Il fine è quello di renderlo più sensibile alla valutazione della qualità morfologica di corsi d'acqua le cui dinamiche sono molto lente e spesso regolate da processi diversi rispetto a quelli delle correnti “classiche”: basti pensare alla mancanza di un vero e proprio bacino idrografico, al ridottissimo trasporto solido e alla mancanza di piene formative di intensità paragonabili a quelle dei corsi d'acqua per cui IDRAIM è stato pensato e trattato, per intuire le diverse scale temporali e spaziali in cui avvengono i processi.

Inoltre, IDRAIM non è applicabile alle aste di primo ordine, mentre la presenza di numerosissimi di questi corpi idrici nella Pianura Veneto-friulana ha fatto sorgere la necessità di sviluppare un metodo applicabile anche a questi. Le modifiche apportate al metodo lo rendono valido solamente per i fiumi di risorgiva e il valore dell'IQM che ne deriva non è direttamente confrontabile con i valori ottenuti con il metodo “classico”.

Quanto segue è una rielaborazione della “*Schede di valutazione*” e della “*Guida alla risposte*” del manuale IDRAIM (Rinaldi et al., 2011), delle quali si è seguito lo schema originale, con l'aggiunta di alcuni indicatori sviluppati per il particolare contesto e inseriti in una nuova categoria, quella delle *variazioni legate all'antropizzazione* (VA1 *Abbassamento della falda* e VA2 *Incidenza delle bonifiche*) e l'eliminazione di altri non ritenuti valutabili (es. A2 *Alterazione delle portate solide a monte*, F7 *Forme e processi tipici della configurazione morfologica*, F9 *Variabilità della sezione*, F10 *Struttura del substrato*). In tutti gli indicatori, oltre alla descrizione e al loro campo di applicabilità, sono stati modificati anche i punteggi attribuiti alle alterazioni dallo stato naturale a seconda dell'importanza del processo valutato in questo contesto.

Ci sono poi dei casi che si è deciso di trattare in modo particolare. Il primo è quello dell'indicatore F4 (*Processi di arretramento delle sponde*), che è stato accorpato a F5 (*Presenza di una fascia potenzialmente erodibile*). Trattandosi di processi relativamente rari, ma strettamente correlati, si è ritenuto corretto valutarli insieme [per la nuova versione della “*Guida alle risposte*” (Rinaldi et al., non ancora

*pubblicata*) l'*F4* non andrebbe valutato per i fiumi di risorgiva perché l'erosione si verifica in scale temporali molto più ampie rispetto ai fiumi con bacino montano]. Un ulteriore caso che si è trattato in maniera diversa è la *presenza di forme tipiche di pianura (F8)*, altro indicatore escluso dalla nuova versione del manuale (assieme a *F4* e *F9*).

Considerando la presenza circoscritta di tali forme a pochi fiumi e vista la lentezza dei processi che ne governano la formazione e la scomparsa – basti pensare ai meandri abbandonati dello Stella a sud di Precenicco, i quali sembra si siano formati già in età romana (*Fontana, 2006*), la loro assenza non viene considerata come un'alterazione, come prevederebbe il manuale. Piuttosto, viene valutata come un pregio morfologico la loro presenza. Pertanto, per questo indicatore è prevista solamente la classe A.

### **5.1.1 Suddivisione in tratti**

La suddivisione iniziale in tratti potrà essere effettuata partendo dalla definizione della morfologia dell'alveo (descritta nel Paragrafo 3.2.2.4), in quanto l'inquadramento fisiografico e il confinamento dell'alveo risultano scontati. La delimitazione del tratto verrà eseguita alla stessa maniera del metodo IQM "classico", con la sola aggiunta di una possibile discriminante legata a brusche variazioni della presenza di vegetazione nelle sponde: vista la sua importanza nel regolare i processi morfogenetici la mancanza di questa verrà quindi considerata come una forte artificializzazione.

### **5.1.2 Funzionalità**

#### **CONTINUITÀ**

##### **F1: Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso.**

Questo indicatore mira a valutare se la naturale continuità di trasporto del materiale solido è alterata dalla presenza di opere antropiche che vanno ad intercettare o ad ostacolare il libero flusso di sedimenti e di materiale legnoso (le più comuni sono le briglie). Vengono quindi presi in considerazione gli effetti provocati da eventuali opere presenti e non la loro presenza (esaminata poi nell'artificialità). La valutazione non dipenderà quindi da quante opere sono presenti sul tratto, ma

dalla significatività del loro influsso. Nel caso di un'opera a chiusura del tratto a monte gli effetti di questa verranno valutati nel tratto a valle mentre la sua presenza (valutata nell'artificialità) verrà attribuita al tratto a monte. Le altre opere che possono avere effetti sulla continuità longitudinale sono ponti e guadi (che possono alterare il flusso tramite restringimento della sezione o l'intercettazione di legname sulle pile in alveo), oppure opere in alveo come gli impianti per l'itticoltura o i mulini.

Per definizione, questi corsi d'acqua hanno scarso trasporto al fondo, ma si è deciso di valutare comunque gli impatti su di esso e le modifiche, seppur minime, nella morfologia dell'alveo.

Campo di applicazione	Tutti
A	Assenza di opere che possono influire con il trasporto solido oppure presenza di opere senza alcun influsso (es. ponti senza pile in alveo e senza restringimenti della sezione).
B	Presenza di opere con lieve alterazione delle portate solide. Non sono evidenti grosse modifiche delle forme o della dimensione dell'alveo nel tratto immediatamente a valle del tratto. Principalmente ostacoli nel flusso ma non totale intercettazione.
C	Presenza di opere con forte alterazione delle portate solide. Sono evidenti modifiche delle forme o della dimensione dell'alveo nel tratto immediatamente a valle delle opere.

Per la valutazione di questo indicatore sono necessarie delle uscite sul terreno, in quanto la scala delle modifiche apportate da queste opere nei fiumi di risorgiva è molto minore rispetto a quello che accade nei corsi d'acqua con bacino montano (dove è possibile valutarlo tramite l'analisi di immagini telerilevate).

## **F2: Presenza di piana inondabile.**

Un corso d'acqua alluvionale costruisce per sua natura una struttura morfologicamente pianeggiante, detta piana inondabile, che risulta soggetta ad inondazioni per piene con tempi di ritorno compresi tra 1 e 3 anni. Nei fiumi di risorgiva, per le loro caratteristiche, le escursioni del tirante idraulico sono molto piccole e risultano generalmente valutabili solamente nei tratti distali dei corpi idrici di dimensioni maggiori (ovvero quando il bacino idrografico ha assunto una certa dimensione), oppure quando il loro livello di base è soggetto a variazioni (immissione in corso d'acqua soggetto a piene). Quest'ultimo meccanismo,

soprattutto quando è frequente, favorisce molto l'allargamento del solco di erosione e la deposizione di sedimenti, andando ad aumentare la capacità erosiva laterale (Fontana, 2006). In opposto, le variazioni di portata (legate a periodi di magra dei collettori, alle bonifiche e/o agli abbassamenti di falda), possono favorire l'infossamento verticale dell'alveo (Fontana, 2006) rendendo minore l'estensione della piana inondabile attivabile. Altro motivo, antropico in senso stretto, che può interferire con la continuità laterale del fiume è la costruzione di difese di sponda o arginature.

Dove presente, la piana inondabile garantisce il possibile verificarsi di alcuni processi con importanti risvolti sia idrologico-morfologici (laminazione delle piene con conseguente dissipazione dell'energia, sedimentazioni del materiale più fino) che ecologici (mantenimento di habitat ripariali). La sua presenza, estensione e continuità vengono dunque valutate come un indicatore della funzionalità dei processi naturali.

Campo di applicazione	Tutti
A	Presenza di piana inondabile con buona continuità o naturalmente discontinua.
B	Presenza di piana inondabile discontinua oppure molto stretta (<La).
C	Piana inondabile assente.

L'individuazione della piana inondabile nel caso dei fiumi di risorgiva è possibile solamente con le uscite in campo. Le evidenze da cercare sono: la copertura di materiale fine di esondazione, la copertura totale, o quasi, di vegetazione (con presenza significativa di associazioni tipiche, come spiegato successivamente) oppure evidenza di recenti inondazioni. Queste evidenze possono non essere sempre presenti contemporaneamente e, per fare ulteriore chiarezza, possono rivelarsi molto utili le testimonianze dei residenti o dei frequentatori abituali.

Anche il tipo di vegetazione presente può facilitare la comprensione della frequenza delle inondazioni; infatti, arbusteti a *Salix cinerea* o boschi con *Alnus glutinosa*, *Populus nigra* e *Fraxinus angustifolia* sono le associazioni tipiche delle zone frequentemente allagate, mentre la presenza di *Quercus robur* e *Ulmus minor*

indica le porzioni golenali, che difficilmente vengono allagate. La presenza di *Salix cinerea* e *Salix alba*, associata a quella di *Alnus glutinosa* e *Fraxinus angustifolia*, può indicare zone di ristagno o di emersione della falda (Siardi & Volpi, 2010).

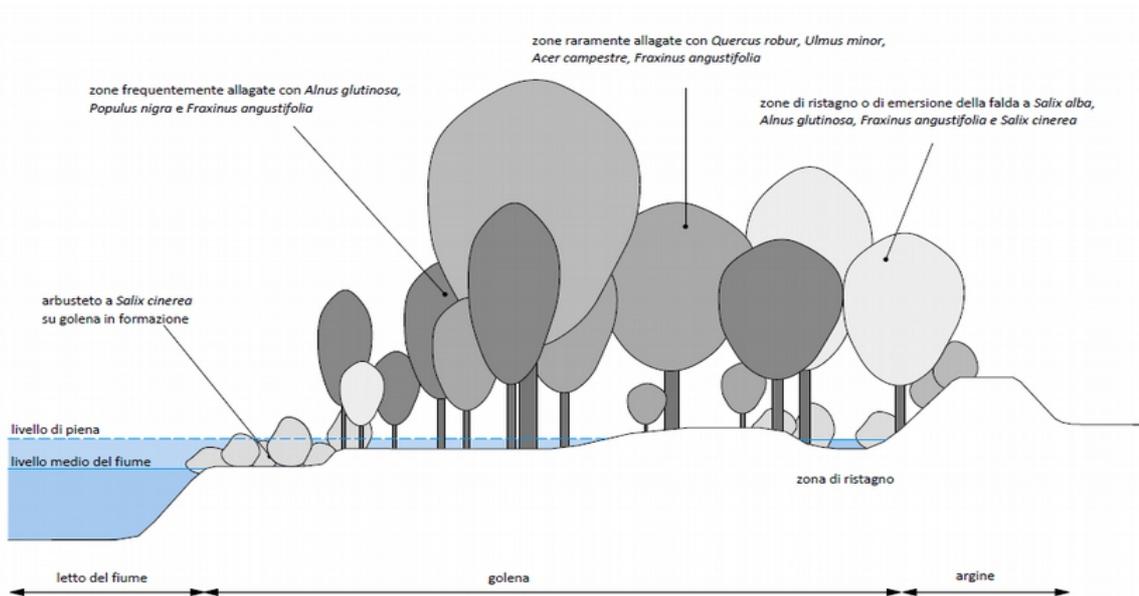


Figura 5.1 – schema semplificato delle distribuzioni arboree (da Siardi & Volpi, 2010).

Nel caso siano presenti zone di pianura inondabile riattivate artificialmente (ad esempio tramite argini forati per favorire i rimboschimenti di particolari associazioni vegetali), esse non vengono considerate come tali, non vengono quindi considerate nella valutazione di questo indicatore.

La continuità della piana inondabile è valutata come lunghezza del tratto in cui è presente la piana (anche su un solo lato), mentre l'ampiezza è intesa come la larghezza (sommata in entrambi i lati); le isole fluviali (se non sono terrazzate) vengono considerate come piana inondabile. Caso molto comune è quello in cui la discontinuità della piana inondabile non è attribuibile ad alterazioni antropiche. La piana si presenta quindi naturalmente frammentata e discontinua: in questo caso viene indicata la risposta A. Tale situazione è spesso attribuibile all'origine stessa di alcuni di questi corpi idrici, ovvero all'occupazione da parte delle acque della falda freatica di paleovei di fiumi alpini la cui forma era stata definita da portate molto più elevate rispetto a quelle dei fiumi attuali.

Questi valori sono calcolabili tramite analisi GIS. Nel caso in cui questi non siano calcolabili tramite l'analisi delle immagini telerilevate (analisi impedita da copertura

vegetale, piccole dimensioni della piana) ci si affiderà per la valutazione di questo indicatore alle osservazioni raccolte durante le uscite in campo: si cercherà di fornire quindi una stima che permetta di scegliere una delle classi di qualità.

#### **F4: Processi di arretramento delle sponde.**

L'arretramento delle sponde è un meccanismo alla base della naturale funzionalità morfologica del corso d'acqua, che ne favorisce la naturale evoluzione morfologica. Per le caratteristiche citate sopra, questi meccanismi non sono presenti nei corsi d'acqua di risorgiva con la stessa frequenza con la quale vengono incontrati nei fiumi caratterizzati da un bacino montano e, soprattutto, sono caratterizzati da tempi molto più lunghi. Gli arretramenti, solitamente rilevabili nelle sponde esterne delle curve, risulteranno comunque valutabili nei tratti a maggior pendenza dei corsi d'acqua di maggiori dimensioni e, in alcuni casi, si dimostreranno bloccati da protezioni di sponda costruite per impedire il divagare dell'alveo.

Vista la scarsa dinamica dei corsi in esame si è deciso di accorpare questo indicatore con quello successivo (F5) mirato a valutare la *presenza e la larghezza di una fascia potenzialmente erodibile*. Essa verrà valutata nelle aree attualmente in erosione andando a stabilire se esistono opere antropiche (e a che distanza si trovano), che interferirebbero con la potenziale evoluzione di questi tratti, ad esempio argini o qualunque opera antropica che, se minacciata dall'avvicinamento dell'alveo, verrebbe protetta (abitazioni, importanti infrastrutture). La fascia potenzialmente erodibile verrà considerata ampia se raggiunge dimensioni superiori a quella dell'alveo.

Campo di applicazione	Tratti a maggior pendenza
A	Presenza di sponde in arretramento e fascia erodibile ampia ( $>La$ ).
B	Presenza di sponde in arretramento poco frequenti rispetto a quanto atteso poiché impedito da opere di protezione, scarsa dinamicità dell'alveo oppure presenza di sponde in arretramento (ma con fascia erodibile $\leq La$ ).
C	Assenza di sponde in arretramento a causa di interventi di protezione.

L'indicatore verrà valutato, in prima fase, tramite fotointerpretazione, cercando le zone in cui potrebbe essere presente erosione. La successiva osservazione delle

aree interessate si effettuerà sul terreno. I calcoli verranno poi eseguiti o sul terreno o in ambiente GIS (solamente nei punti in cui sono osservabili le evidenze che questi processi sono in atto); viene tracciata una sezione su cui si misurerà la lunghezza della zona erodibile da confrontare poi con  $La$ .

Si è deciso di valutare questo indicatore solo nelle parti di maggiore pendenza, quasi sempre coincidenti con i primi tratti dei fiumi di maggiori dimensioni, in quanto è in queste zone che essi hanno esercitato ed esercitano tuttora la maggiore azione erosiva (*Feruglio, 1925*). Non è stato però possibile giungere alla definizione certa di un valore di pendenza limite al di sopra del quale avviene l'erosione delle sponde, in quanto lungo un qualsiasi tratto, anche se caratterizzato da una pendenza media bassa, si possono trovare variazioni locali di acclività, spesso associate a fenomeni erosivi. Si rimanda quindi la decisione sull'applicazione o meno di questo indicatore alle osservazioni sul terreno.

### **MORFOLOGIA**

#### **F8: Presenza di forme tipiche di pianura.**

Nei corsi d'acqua meandriiformi è considerata naturale la presenza di alcune forme tipiche della pianura (meandri abbandonati, laghi di meandro, canali secondari, stagni, ecc.). Nei fiumi di risorgiva, per le loro particolari caratteristiche, quasi sempre non ci sono le condizioni perché questi si formino e, dove presenti, la formazione di queste forme è estremamente lenta, così come poi risulta molto lento il loro processo di interrimento. Vista la particolarità di questi elementi e il loro pregio dal punto di vista geomorfologico, ecologico e paesaggistico si è deciso di non penalizzare la loro mancanza, perché considerata non attribuibile ad alterazioni antropiche, valorizzando al contrario i tratti in cui sono presenti.

<b>Campo di applicazione</b>	<b>Meandriiformi</b>
A+	Presenza di forme fluviali tipiche di origine naturale (meandri abbandonati, canali secondari, zone stagnanti con connessione durante le piene).

La loro presenza è valutabile molto semplicemente dall'analisi di immagini telerilevate. L'indicatore verrà valutato solo se ci sono prove che il taglio di meandro

sia avvenuto per un processo naturale (nel caso invece il taglio sia stato fatto artificialmente l'alterazione verrà valutata nell'indicatore A8).

**F11: Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni.**

La presenza di materiale legnoso in alveo svolge importanti funzioni nei confronti dei processi geomorfologici ed ha numerosissime implicazioni in termini ecologici, come la diversità di habitat e l'apporto di materiale organico. Inoltre il materiale legnoso può rappresentare un problema idraulico durante i periodi di piena determinando l'occlusione di ponti o di altre opere idrauliche (es. mulini). Nei fiumi di risorgiva la presenza di tale materiali in alveo è principalmente imputabile alle naturali dinamiche di schianto della vegetazione in alveo, la presenza di questa andrà a creare delle modifiche delle condizioni idrauliche nelle sue immediate vicinanze e un ostacolo al, seppur ridotto, trasporto al fondo.

L'indicatore mira quindi a valutare se la presenza di materiale legnoso in alveo è quello attendibile per le condizioni morfologiche e vegetazionali del tratto stesso. Verrà valutata la sua presenza in acqua o in zone delle sponde che permettano il contatto con la corrente nel caso di normali alterazioni della portata.

L'indicatore non verrà valutato dove la larghezza dell'alveo è di dimensioni maggiori rispetto all'altezza media delle piante arboree circostanti e la profondità media è maggiore rispetto al diametro medio degli alberi presenti sulle sponde, questi saranno quindi considerati tratti "di trasporto". L'indicatore verrà valutato con le uscite in campo.

Campo di applicazione	Non si applica ai tratti "di trasporto"
A	Presenza significativa di materiale legnoso: è presente del materiale legnoso di grandi dimensioni (piante, tronchi, ceppaie, rami) nell'alveo o sulle sponde.
C	Scarsa presenza di materiale legnoso.

A differenza del metodo IQM "classico" non vengono date dimensioni minime per la dimensione del legname: questo deve essere di dimensioni tali da poter avere degli influssi sulle dinamiche fluviali, saranno quindi considerati i rami e i tronchi abbastanza grandi da potersi ancorare al fondo o alle rive.

**VEGETAZIONE NELLA FASCIA PERIFLUVIALE**

### **F12: Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia fluviale.**

Questo indicatore e il prossimo mirano a valutare la presenza di vegetazione funzionale nella fascia perifluviale. In questo caso la funzionalità geomorfologica della vegetazione verrà principalmente considerata come la sua capacità di mantenere ancorati i sedimenti alle sponde e di garantirne quindi la stabilità. Nel caso in cui nel tratto vi siano delle zone di piana inondabile attive, la vegetazione verrà ritenuta funzionale anche per l'interazione con i principali processi morfologici di esondazione (resistenza al flusso).

Non vengono considerati come funzionali i pioppeti e i frutteti se in zone non inondabili in quanto sono caratterizzati da veloci cicli di piantumazione e taglio; questi, venendo regolarmente gestiti, molto difficilmente potrebbero essere interessati da schianti e, anche nell'eventualità accadessero, il tronco verrebbe rimosso in tempi brevi dai contadini. Sono invece considerati come semi-funzionali pioppeti e frutteti nella piana inondabile (non sono funzionali per la ricarica di legname, ma lo sono per la resistenza al flusso) e gli alberi di origine "artificiale" piantati in aree gestite (es. parchi). In queste situazioni la vegetazione non cresce con le stesse dinamiche della vegetazione spontanea e il naturale ciclo di crescita e schianto risulta alterato. Infatti è elevata la probabilità che queste piante siano soggette a gestione da parte dell'ente che le ha messe a dimora.

La presenza di una larga fascia boschiva ai lati dell'alveo ha una particolare importanza anche in funzione della qualità, in termini strutturali, della vegetazione lungo le sponde, la quale assume una maggiore importanza (valutata nel prossimo indicatore) nel regolare i processi morfologici dei fiumi di risorgiva.

Nel caso di alvei piccoli si considera l'ampiezza di 5 metri come quella minima per poter definire le formazioni funzionali elevate e quella di 2,5 metri per definirle intermedie. Considerando la scarsa dinamicità e lo scarso potere erosivo di questi corsi d'acqua si considerano funzionali le formazioni, se al di fuori della piana inondabile, fino ad una larghezza pari a 3 volte quella dell'alveo.

Campo di applicazione	Tutti
A	Ampiezza delle formazioni funzionali elevata $>La$ e presenza di formazioni sia arboree (copertura spaziale $>33\%$ delle formazioni funzionali) che arbustive spontanee.
B	Ampiezza delle formazioni funzionali intermedia: fascia compresa tra $0,5 La$ e $La$ . Oppure come caso A ma l'ampiezza $>La$ è raggiunta con la presenza di formazioni parzialmente funzionali, oppure copertura di formazioni arboree $\leq 33\%$ della fascia oppure con singola fascia solamente arborea lungo la sponda.
C	Ampiezza delle formazioni funzionali limitata.

Questo indicatore si valuta partendo da immagini telerilevate con valutazioni eseguite in ambiente GIS, integrando con le osservazioni sul terreno. Può essere valutato utilizzando delle sezioni (processo analogo a quello utilizzato per l'indicatore *F4*) oppure in maniera più precisa facendo un calcolo delle aree (processo analogo a quello utilizzato per l'indicatore *F2*). Nel caso le formazioni funzionali, anche della larghezza massima, interessino solo una sponda del tratto si risponde *B*.

### **F13: Estensione lineare delle formazioni lungo le sponde.**

Si valuta lo sviluppo longitudinale della fascia di vegetazione (arborea, arbustiva e a idrofite) lungo le sponde, a prescindere dalla sua estensione areale. Si fa quindi riferimento alla vegetazione delle zone perifluviali e delle isole. Come descritto per l'indicatore precedente gli alberi piantati artificialmente non sono considerati come interamente funzionali e, sempre come per l'*F12*, si fa riferimento al rapporto tra la condizione attuale e quella massima disponibile.

A questo indicatore è stata data un'importanza maggiore rispetto a tutti gli altri riguardanti la funzionalità: la presenza di vegetazione sulle sponde è tra i fattori che esercitano la maggiore influenza sulla naturale scarsa dinamicità di questo tipo di corsi d'acqua ed è allo stesso tempo quello più facilmente intaccabile da azioni antropiche.

Campo di applicazione	Tutti
A	Estensione lineare delle formazioni funzionali connesse per una lunghezza >90% della lunghezza massima disponibile (somma di entrambe le sponde) e presenza di formazioni sia arboree (copertura spaziale >33% delle formazioni funzionali) che arbustive spontanee.
B	Estensione lineare delle formazioni funzionali connesse per una lunghezza del 33% - 90% della lunghezza massima disponibile (somma di entrambe le sponde). Oppure come caso A ma con presenza di formazioni parzialmente funzionali, oppure copertura di formazioni arboree ≤33% della fascia.
C	Estensione lineare delle formazioni funzionali connesse per una lunghezza ≤33% della lunghezza massima disponibile (somma di entrambe le sponde). Oppure come caso B ma l'estensione >33% è raggiunta grazie alla presenza di formazioni parzialmente funzionali.

La valutazione dell'estensione lineare si esegue in ambiente GIS su immagini telerilevate, integrando con le osservazioni sul terreno. Per assegnare la classe viene calcolata l'estensione delle formazioni funzionali a contatto con l'alveo e rapportata alla lunghezza totale delle sponde (più quella delle isole).

### 5.1.3 Artificialità

#### OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ A MONTE

##### **A1: Alterazioni delle portate liquide.**

Si valuta la presenza di apporti idrici artificiali, che possono provocare notevoli alterazioni delle portate liquide, nell'asta fluviale a monte del tratto valutato. Questi provocano degli innalzamenti o degli abbassamenti delle portate e conseguentemente possono alterare la capacità di trasporto e le naturali dinamiche di questi corsi d'acqua, nonché possono alterarne le condizioni ecologiche. In alcuni casi oltre all'apporto liquido viene immesso nel sistema una quantità significativa di materiale solido portato in sospensione.

Le opere che possono provocare tali tipi di alterazioni sono state divise in due categorie: *fisse* e *intermittenti*. Nelle prime sono considerati gli apporti liquidi che avvengono in maniera continua e senza particolari variazioni di portata (queste possono essere connessioni artificiali con altri corsi d'acqua a portata fissa, gli scoli di impianti ittici con grossi prelievi da pozzo oppure gli scoli dei depuratori) mentre tra le *intermittenti* vengono considerati i collegamenti artificiali con corsi d'acqua

soggetti a grosse variazioni di portata: questi possono essere canali irrigui o torrenti dell'alta pianura (nel caso della pianura friulana è esemplare la connessione del Torrente Corno di San Daniele al Fiume Stella). Oltre che immissioni di acqua devono essere considerate anche le prese per gli impianti ittici (in questo caso quindi vengono valutati come dei prelievi e non delle immissioni), per le centraline elettriche oppure derivazioni per uso agricolo.

Vista la loro consistenza si è deciso di valutare solamente i prelievi da pozzo per uso irriguo e ittiogenico. É da notare anche che, mentre buona parte dei prelievi irrigui vengono poi “dispersi”, la totalità di quelli prelevati per impianti ittiogenici viene poi scolata in alveo.

TIPI DI USO	n° POZZI	n° PUNTI DI PRELIEVO	PRELIEVI		
			Mm <sup>3</sup> /anno	m <sup>3</sup> /s	%
IRRIGUO	4'517	4'563	277	8,79	30,8
IGIENICO	1'354	1'377	13	0,41	1,4
INDUSTRIALE	662	801	84	2,67	9,3
POTABILE	457	550	141	4,46	15,6
ITTOGENICO	478	494	369	11,70	41,0
GEOTERMICO	106	124	14	0,45	1,6
ALTRI USI	20	21	3	0,08	0,3
<b>TOTALE</b>	<b>7594</b>	<b>7930</b>	<b>901</b>	<b>28,56</b>	<b>100,0</b>

Tabella 5.1 – Numero di pozzi e dei punti di prelievo in esercizio suddivisi per tipologia di utilizzo ed entità dei prelievi (da: Zini et al., 2011)

Campo di applicazione	Tutti
A	Assenza di apporti o prelievi idrici artificiali, oppure alterazioni poco significative ( $\leq 10\%$ della portata media).
B	Presenza di apporti o prelievi idrici fissi tra il 10% e il 50% della portata media del corso oppure presenza di apporti idrici intermittenti con portata massima $\leq 100\%$ della portata media.
C	Presenza di apporti o prelievi idrici fissi $> 50\%$ della portata media del corso oppure presenza di apporti idrici intermittenti con portata $> 100\%$ della portata media oppure presenza di entrambi con variazione totale $> 100\%$ .

L'individuazione di tali opere si farà tramite immagini telerilevate e utilizzando i database e i catasti opere normalmente disponibili presso le Regioni, oppure raccogliendo informazioni presso gli enti responsabili. Per la valutazione della classe

di questo indicatore ci si baserà sui dati di portata disponibili e i database dei volumi degli scarichi. In caso di mancanza di dati di portata verrà unicamente valutata la loro presenza (classe B).

Questo indicatore (e l'analogo nel tratto, A3) sono stati riformulati in maniera radicale rispetto all'IQM "classico": questi andavano a valutare la presenza di opere come dighe, traverse, scolmatori o casse di espansione e i loro effetti sulle portate formative. Sui fiumi di risorgiva, viste le loro caratteristiche idrologiche, questo genere di opere non hanno ragione di essere costruite; si è andato quindi a valutare la presenza di alterazioni, anche di minore entità, che possono avere un influsso sulle dinamiche morfologiche.

### **OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ NEL TRATTO**

#### **A3: Alterazioni delle portate liquide.**

L'indicatore è analogo al precedente A1, con la differenza che vengono valutate le opere presenti all'interno del tratto.

In caso di prelievi e reimmissioni all'interno dello stesso tratto (es: impianti ittici o centraline elettriche) queste verranno considerate solo se interessano una porzione superiore al 33% del tratto stesso.

<b>Campo di applicazione</b>	<b>Tutti</b>
A	Assenza di apporti o prelievi idrici artificiali, oppure alterazioni poco significative ( $\leq 10\%$ della portata media).
B	Presenza di apporti o prelievi idrici fissi tra il 10% e il 50% della portata media del corso oppure presenza di apporti idrici intermittenti con portata massima $\leq 100\%$ della portata media.
C	Presenza di apporti o prelievi idrici fissi $> 50\%$ della portata media del corso oppure presenza di apporti idrici intermittenti con portata $> 100\%$ della portata media oppure presenza di entrambi con variazione totale $> 100\%$ .

#### **A4: Alterazione delle portate solide.**

Vengono considerate tutte le opere che possono avere un influsso sul trasporto dei sedimenti, anche se questo è per definizione bassissimo in questi corpi idrici. Queste sono opere che sono sempre state costruite con scopi diversi, ma il cui influsso si riflette sul trasporto solido. Queste sono: briglie di consolidamento

(costruite spesso per fissare il fondo dopo pesanti risezionamenti), briglie costruite per fissare il livello del tirante idraulico (ad esempio per le prese degli impianti ittici, di centraline elettriche o dei mulini).

Come già detto in precedenza, il trasporto solido in questo tipo di corsi d'acqua è molto ridotto rispetto a quello delle classiche correnti con bacino montano. Si è ritenuto comunque corretto valutare l'incidenza sulle alterazioni di questo processo.

Campo di applicazioni	Tutti
A	Assenza di qualsiasi tipo di opera di alterazione delle portate solide.
B	Presenza di 1 opera.
C	Presenza di più di 1 opera.

Le opere sono difficilmente identificabili dalle foto aeree, ci si basa quindi sui catasti opere, sui database disponibili sul WebGIS regionale oppure sulla Carta Tecnica regionale o sulle osservazioni durante i sopralluoghi.

Si è deciso di non valutare l'analogo indicatore sui tratti a monte (A2): il trasporto solido è scarso e molto lento, le alterazioni sono quindi state considerate in scala spaziale e temporale molto minore rispetto a quello che viene fatto nel metodo IQM classico; per quanto riguarda invece l'interazione con il legname, vista la mancanza di piene in grado di muovere grandi quantità di legname e la relativa scarsità di tratti "di trasporto", si è deciso di non considerare la ricarica di legname dai tratti a monte.

#### **A5: Opere di attraversamento (ponti, guadi, tombinature).**

Le opere di attraversamento sono costruzioni che possono alterare localmente il flusso della corrente e pertanto possono intercettare o rallentare il flusso di legname e sedimenti. A differenza dell'indicatore *F1* che permette la valutazione di tali aspetti, qui si andrà solamente a considerare la presenza, o meno, di attraversamenti che hanno in qualche maniera interferenze con il corridoio fluviale: sono intesi quindi solamente come elementi di artificialità.

Vengono esclusi dal conteggio i ponti che non hanno alcuna interazione con il corso d'acqua o con la sua piana, sono invece considerati i guadi con strutture di

attraversamento e le tombinature (i cui effetti sono paragonabili a quelli di un'opera di attraversamento).

Campo di applicazioni	Tutti
A	Assenza di opere di attraversamento.
B	Presenza di alcune opere di attraversamento ( $\leq 1$ ogni 1000 metri in media nel tratto).
C	Presenza di opere di attraversamento $> 1$ ogni 1000 metri in media nel tratto.

La presenza di ponti è molto facile da valutare sia utilizzando immagini telerilevate, sia affidandosi ai database della Regione, per la presenza di tombinature è invece meglio consultare la Carta Tecnica. La loro interferenza con il corpo idrico, se non sono disponibili informazioni a riguardo, andrà poi valutata con le uscite in campo.

Questo indicatore viene valutato esattamente come nel calcolo dell'IQM "classico".

#### **OPERE DI ALTERAZIONI DELLA CONTINUITÀ LATERALE**

##### **A6: Difese di sponda.**

Viene valutata la presenza di tutte le opere costruite per la protezione delle sponde dall'erosione che influiscono sulla mobilità laterale dell'alveo e impediscono la naturale ricarica di sedimenti e legname dalle sponde. Queste possono comprendere vari tipi di opere tradizionali, ovvero scogliere, muri, cementificazioni, ecc., e le moderne opere di ingegneria naturalistica (palificate, viminate, ecc.).

Queste particolari opere possono essere costruite sui fiumi di risorgiva sia per evitare la naturale erosione sui lati esterni delle curve, sia per proteggere le sponde da erosioni legate a fenomeni antropici. Questi ultimi sono principalmente le arature fino a poche decine di centimetri dalle sponde (le quali possono provocare crolli) e le onde provocate dalle imbarcazioni: queste possono provocare consistenti erosioni e hanno costretto in alcuni casi alla costruzione di pesanti opere di consolidamento.

Campo di applicazione	Tutti
A	Assenza di difese di sponda legate a processi di erosione naturale oppure presenza di difese localizzate ( $\leq 5\%$ della lunghezza totale delle sponde) legate a processi antropici (onde dovute a natanti, ecc.).
B	Presenza di difese di sponda di qualsiasi tipo per una lunghezza $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde.
C	Presenza di difese di sponda per una lunghezza $> 33\%$ del totale delle sponde.

La valutazione della presenza di queste opere è molto difficile analizzando immagini telerilevate: è preferibile consultare i catasti opere oppure affidarsi ai rilievi sul terreno per rilevarne la presenza, mentre per l'attribuzione ad una delle classi di qualità è necessario eseguire il calcolo della percentuale occupata da queste opere in ambiente GIS. Le difese di sponda costruite per la protezione legata a fenomeni antropici sono generalmente riconoscibili perché costruite anche sui tratti rettilinei e in zone a bassissima energia. Le informazioni sui motivi che hanno portato alla loro costruzione sono solitamente contenute sui catasti opere o potranno essere raccolte presso gli enti preposti.

#### **A7: Arginature.**

Si valuta la presenza di argini che possano interferire con la continuità laterale e impedire la normale inondazione di territori. Vengono considerati come tali sia gli argini rilevati propriamente detti, sia i muri di sponda sopraelevati rispetto al piano campagna, sia i rilevati stradali che svolgono le stesse funzioni. In questa versione per i corsi d'acqua di risorgiva, la presenza di argini forati, costruiti per permettere l'inondazione controllata di alcune aree, è da considerarsi, ai fini di questo indicatore, come la presenza di un argine a tutti gli effetti.

Campo di applicazione	Tutti
A	Argini assenti o distanti (ovvero distanza $> L_a$ ) per qualunque lunghezza.
B	Presenza di argini vicini o a contatto per una lunghezza $\leq 50\%$ .
C	Presenza di argini vicini o a contatto per una lunghezza $> 50\%$ .

Il metodo migliore per l'individuazione degli argini è la consultazione della Carta Tecnica e dei catasti opere dato che l'analisi delle foto telerilevate senza l'ausilio di uno stereoscopio risulta essere spesso poco agevole. Il calcolo delle lunghezze per l'assegnazione alla classe di qualità viene effettuato in ambiente GIS. Questo indicatore si valuta solamente nei fiumi di maggiori dimensioni in quanto è strettamente correlato all'indicatore *F2 presenza di piana inondabile*.

### **OPERE DI ALTERAZIONE DELLA MORFOLOGIA E/O DEL SUBSTRATO**

#### **A8: Variazioni artificiali del tracciato.**

L'indicatore A8 mira a valutare se il tracciato è stato variato artificialmente (modifiche del tracciato, tagli di meandro, ecc.) di recente o in epoche storiche abbastanza recenti (vengono ad esempio escluse le variazioni di cui si ha notizia che erano state eseguite in epoca romana o durante la dominazione veneziana). Per essere considerate, le variazioni devono essere consistenti e aver determinato una variazione dei processi geomorfologici e idraulici a cui è probabilmente associabile una perdita di habitat.

Vista la scarsa dinamicità di questo tipo di corpi idrici, e la conseguente scarsa capacità di ripristinare una morfologia naturale, tale tipo di interventi sono stati tra quelli che più hanno inciso sulla perdita di importanti habitat naturali e sulla banalizzazione delle forme fluviali.

Campo di applicazione	Tutti
A	Assenza di variazioni di tracciato.
B	Presenza di variazioni di tracciato note in passato per una lunghezza $\leq 10\%$ .
C	Presenza di variazioni di tracciato note in passato per una lunghezza $> 10\%$ .

Per la valutazione di questo indicatore è necessario basarsi su analisi GIS di cartografia e foto storiche. Il periodo in cui sono state eseguite le maggiori variazioni corrisponde con quello delle bonifiche (ovvero tra gli anni '30 e '60 del secolo scorso) quindi è valutabile in maniera abbastanza precisa osservando le foto dei voli GAI del 1954, in queste si possono osservare sia le evidenze di modifiche eseguite di recente (osservandone i segni sul terreno) oppure possono essere utilizzate per un

confronto con le foto attuali. L'analisi della cartografia storica (Carte Von Zach 1798-1804) permette di osservare una situazione quasi indisturbata ma tali carte, per quanto precise, non sono adatte ad un confronto certo per osservare le variazioni di tracciato in piccola scala; sono comunque molto utili per individuare i possibili punti su cui poi cercare le evidenze delle variazioni di tracciato nelle foto GAI.

**A9: Altre opere di consolidamento (soglie/rampe) e/o alterazioni del substrato (rivestimenti del fondo).**

Vengono valutate in questo indicatore tutte le opere di consolidamento che non sporgono dal fondo dell'alveo, che fissano quindi il profilo del fondo, ma senza andare ad alterare significativamente il trasporto solido. Queste opere sono generalmente costruite per bloccare il fondo ed evitare quindi l'incisione e sono spesso ubicate in vicinanza dei ponti. In questo indicatore si valutano anche i rivestimenti del fondo (sia impermeabili che permeabili), molto spesso presenti nei tratti canalizzati nei centri abitati, prima dei mulini o di centraline elettriche. Questi tratti alterano fortemente le condizioni geomorfologiche e idriche del tratto, oltre a comportare la totale perdita di habitat.

Campo di applicazione	Tutti
A	Assenza di opere di consolidamento e/o presenza di rivestimenti localizzati per una lunghezza ridotta del tratto $\leq 5\%$ .
B	Presenza di soglie o rampe $\leq 1$ ogni 1000 metri in media nel tratto e/o presenza di rivestimenti del fondo $\leq 25\%$ .
C	Presenza di soglie o rampe $> 1$ ogni 1000 metri in media nel tratto e/o presenza di rivestimenti del fondo $> 25\%$ .

Anche in questo caso sarà necessaria la consultazione dei catasti opere da integrare con le uscite in campo. I calcoli vengono poi effettuati in ambiente GIS.

**OPERE DI MANUTENZIONE E PRELIEVO**

**A11: Rimozione materiale legnoso.**

In questo indicatore si valuta, in maniera del tutto analoga al metodo IQM "classico", se ci sono state rimozioni di materiale legnoso dall'alveo. Queste rimozioni vengono periodicamente eseguite da vari enti pubblici (solitamente

comuni o Protezione Civile) per ragioni di sicurezza idraulica (in quanto tale materiale può interferire con il normale deflusso dell'acqua, soprattutto se ha la possibilità di interferire con le luci dei ponti in caso di piene) oppure può essere pericoloso per le imbarcazioni; altro motivo per cui viene prelevato da privati è il suo uso come legna da ardere. La sua rimozione comporta però un forte impatto sul sistema fluviale: la complessità idrodinamica si riduce e con essa la variabilità morfologica e sedimentaria dell'alveo; si ha una forte perdita di habitat e una diminuzione di sostanza organica disponibile.

Campo di applicazione	Tutti
A	Assenza di interventi negli ultimi 20 anni.
B	Evidenze o notizie certe di rimozione parziale negli ultimi 20 anni, ovvero rimozione puntuale oppure solo degli elementi più grandi.
C	Evidenze o notizie certe di rimozione totale negli ultimi 20 anni.

Per la valutazione di questo indicatore sarà necessario richiedere dati e informazioni agli enti preposti e cercare le evidenze della presenza di legname in alveo con le uscite in campo. Non vengono considerate le rimozioni eseguite nelle opere trasversali (ovvero nelle briglie), nelle prese degli impianti ittiogenici e nei mulini.

Nel caso di notizie incerte viene scelta la risposta *B*. L'intervallo di 20 anni, sia in questo indicatore che nel prossimo, è stato scelto sia per facilitare la raccolta di dati, sia perché è un tempo che permetterebbe al fiume di riacquisire una certa quantità di legname anche dopo una totale rimozione.

#### **A12: Taglio della vegetazione.**

Come già sottolineato più volte negli indicatori precedenti, la vegetazione che cresce nella fascia fluviale e nelle isole fluviali esplica molte funzioni per la morfologia del corso d'acqua. Probabilmente il suo "compito" più importante nei corsi d'acqua di risorgiva è quello di fissare naturalmente le sponde rallentando l'erosione e i crolli di materiale in alveo e, allo stesso tempo, è la fonte di materiale legnoso utile sia per processi geomorfologici e sedimentari che biologici ed ecologici.

Le operazioni di taglio della vegetazione operate dagli enti pubblici, solitamente effettuate sulla vegetazione arborea per questioni di sicurezza idraulica o su quella arbustiva per rendere accessibile l'alveo, comportano degli effetti negativi sulle dinamiche morfologiche ed ecologiche: la dimensione delle piante presenti viene alterata e con questa anche le naturali dinamiche di mortalità.

Attualmente i tagli rasi vengono operati sempre più di rado e gli Enti sono più orientati verso trattamenti selettivi mirati a tagliare le piante malate, tale dinamica altera in maniera minore gli equilibri del corso d'acqua ma ha comunque grossi impatti sulle sue dinamiche.

Molto importanti e massicci sono stati i disboscamenti effettuati in passato per recuperare terreni agricoli, questi non verranno valutati in questo indicatore ma nel seguente.

Campo di applicazione	Tutti
A	Assenza di interventi negli ultimi 20 anni oppure lievi interventi di taglio selettivo lungo la fascia fluviale esterna alle sponde ( <i>La</i> ).
B	Vegetazione soggetta a taglio selettivo lungo le sponde per una qualsiasi lunghezza del tratto oppure taglio raso lungo le sponde per una lunghezza $\leq 33\%$ del tratto; oppure interventi di taglio, anche raso, lungo la fascia fluviale esterna alle sponde ( <i>La</i> ).
C	Vegetazione soggetta a taglio raso lungo le sponde per una lunghezza $>33\%$ .

Tali informazioni saranno raccolte presso gli Enti preposti o i Comuni. Oltre questo saranno valutate le evidenze sul terreno (materiale a terra, ceppaie). Devono essere considerati interventi sostanziali che possano aver alterato in maniera significativa la condizione naturale.

### 5.1.4 Variazioni legate all'antropizzazione

#### VA1: Abbassamento della falda.

Negli ultimi 30 anni si è verificato un forte abbassamento del livello della falda freatica nell'alta pianura. Tale processo, anche se meno evidente nella zona meridionale, ha provocato una progressiva riduzione dell'ampiezza della fascia delle risorgive, un abbassamento della superficie freatica, la perdita di pressione degli acquiferi e la subsidenza antropica (*Zini et al., 2010*). Le cause di tale abbassamento

sono sia naturali (diminuzione della piovosità) che legate al forte sfruttamento della falda freatica (per prelievi ittogenici, domestici, agricoli ed industriali), all'intenso sfruttamento per scopi irrigui e idroelettrici delle acque montane e all'eccessivo emungimento dalle falde nella bassa pianura (*Provincia di Udine, 2003; Zini et al., 2010*). Ciò ha portato, inoltre, alla perdita di portata dei corsi d'acqua con conseguente perdita di energia, di capacità di trasporto e capacità di esondare, cambiamenti che hanno comportato modifiche alla naturale funzionalità del fiume.

Campo di applicazione	Non si valuta sotto alla linea di influsso della marea.
A	Assenza di variazioni della falda.
C	Abbassamento della falda.

Si è deciso di valutare solamente due classi per questo indicatore a causa della variabilità delle oscillazioni della falda sulla piccola scala, le quali potrebbero determinare errori di valutazione. Cambiamenti della conducibilità idraulica della matrice possono portare a variazioni del livello piezometrico talmente diverse da rendere molto difficile la taratura dei range per la valutazione di una classe media.

Tale indicatore non si valuta nel caso in cui il tratto non abbia connessione con la falda (alvei pensili e tratti cementati) o nei casi in cui il livello della falda sia regolato da sistemi meccanici (idrovore): tale situazione è tipica dei tratti della parte più bassa della pianura, dove la variazione del tirante idraulico è legata alla variazione del livello di base con le maree.

Le informazioni per la valutazione di questo indicatore si possono trovare in letteratura.

#### **VA2: Incidenza delle bonifiche.**

Le aree di risorgiva sono state interessate da intense bonifiche tra il 1930 e il 1960 circa, compiute per rendere salubre l'ambiente e strappare terreni agricoli alle zone acquitrinose. Queste rappresentano la principale ragione di perdita di ambienti umidi legati ai corsi d'acqua di risorgiva e costituiscono probabilmente uno dei motivi di maggiore influsso sui loro fattori morfogenetici a causa della banalizzazione della tessitura idrologica. Tutta l'area è stata quindi pesantemente

modificata e le sue dinamiche sono state corrotte: in alcuni casi, però, gli ambienti paludosi sono stati rimpiazzati da nuovi ambienti naturali. Questi, assieme ai piccoli lembi che non sono stati intaccati dalle bonifiche, sono da considerarsi come le nuove condizioni di naturalità di questi ambienti, sia in termini di influsso sui processi morfologici che su quelli ecologici.

Con questo indicatore si valuta come si sono evoluti, rispetto alla situazione di naturalità precedente alle bonifiche, gli ambienti umidi, le piccole rogge e/o le testate di risorgiva connessi al tratto studiato, i quali corrispondevano al sistema di alimentazione del corso d'acqua: si cerca quindi di valutare in quale percentuale delle zone sottoposte a bonifica non si sono instaurate aree antropizzate, ma si è stabilita una nuova condizione di naturalità (es. aree drenate in cui si sono instaurati boschi planiziali), oppure se sono rimaste delle aree non intaccate dalle bonifiche (aree paludose rimaste inalterate o quasi).

Campo di applicazione	Tutti
A	Perdita di aree umide naturali connesse con il tratto $\leq 10\%$ rispetto alla situazione pre-bonifiche degli anni '20 o aumento delle aree naturali.
B	Perdita di aree umide naturali connesse con il tratto tra il 10% e il 50% rispetto alla situazione pre-bonifiche degli anni '20.
C	Perdita di aree umide naturali connesse con il tratto $> 50\%$ rispetto alla situazione pre-bonifiche degli anni '20.

Tale confronto viene fatto in ambiente GIS utilizzando le foto dei voli GAI del '54 e le più recenti immagini telerilevate disponibili. Nelle foto del '54, le zone in cui sono evidenti tracce degli ambienti umidi bonificati negli anni precedenti (segni di canali nel terreno, segni di meandri abbandonati ecc.) verranno considerate come aree naturali: si cercherà quindi di ricostruire dalle evidenze sul terreno la situazione pre-bonifiche degli anni '20 su cui poter effettuare il confronto con la situazione attuale. Tali segni sul terreno verranno considerati riconducibili a forme legate ai fiumi di risorgiva (ed estinte a causa delle bonifiche) solamente se è ben evidente una connessione con il corso d'acqua attuale: i segni osservabili nelle foto aeree senza tale connessione sono spesso riconducibili a paleoalvei di forme del

cataglaciale resi visibili dalle arature, non devono quindi essere considerati. Nelle foto recenti verranno invece misurate le aree dei nuovi ambienti naturali connessi all'alveo e di quelli rimasti inalterati: i valori delle due aree verranno poi confrontati per la valutazione della percentuale di variazioni.

Come materiale a supporto, se disponibile, è possibile utilizzare anche la cartografia precedente alle foto GAI del 1954 (es: Carte *Von Zach*). Se quanto osservabile in questi documenti, i quali dovrebbero rappresentare l'effettivo contesto pre-bonifiche, è una situazione molto diversa da quella desumibile dalle evidenze osservabili nelle foto del 1954, si tenderà comunque ad attribuire la classe di qualità risultante dai calcoli eseguiti sulla foto del volo GAI e all'assegnazione di un punteggio di confidenza verso la classe risultante da un confronto tra le foto attuali e la cartografia utilizzata. Altro utile strumento a supporto è la Carta Tecnica Regionale in cui, per certe aree, è stato eseguito un lavoro di fotointerpretazione per la delimitazione delle aree di rete idrografica estinte.

## 5.2 SCHEDA DI VALUTAZIONE

<b>SCHEDA DI VALUTAZIONE PER FIUMI DI RISORGIVA</b>		
Data _____	Operatori _____	
Bacino _____	Corso d'acqua _____	
Estremità monte _____	Estremità valle _____	
Codice segmento _____	Codice tratto _____	Lunghezza tratto _____
<b>MORFOLOGIA ALVEO</b>		
Immagine utilizzata _____		
I.sinuosità _____	I.anastomizzazione _____	I.intrecciamento _____
Tipologia _____ Pendenza media fondo (%) _____		
Larghezza media alveo (m) _____ Sedimenti dominanti _____		
<b>ALTRI ELEMENTI PER LA DELIMITAZIONE DEL TRATTO</b>		
Monte _____		
Valle _____		
<b>ALTRI DATI/INFORMAZIONI DISPONIBILI</b>		
Area di drenaggio sottesa (km <sup>2</sup> ) _____		
Portata media (m <sup>3</sup> ) _____		
Altro _____		
_____		
_____		
_____		

### FUNZIONALITÀ GEOMORFOLOGICA

Continuità

F1	Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso	PARZ	PROG
A	Assenza di alterazioni della continuità di sedimenti e materiale legnoso	0	
B	Lieve alterazione (ostacoli nel flusso ma non totale intercettazione)	2	
C	Forte alterazione	4	
<i>Note e/o confidenze:</i>			

F2	Presenza di piana inondabile	PARZ	PROG
A	Presenza di piana inondabile continua	0	
B	Presenza di piana inondabile discontinua oppure molto stretta	2	
C	Assenza o presenza molto trascurabile	4	

*Si valuta nei fiumi di maggiori dimensioni e dove è possibile una variazione del livello di base*

<i>Note e/o confidenze:</i>
-----------------------------

<b>F4</b>	<b>Processi di arretramento delle sponde</b>		
A	Presenza di sponde in arretramento con fascia erodibile ampia ( $>La$ )	0	
B	Scarsa presenza di sponde in arretramento o con fascia erodibile stretta ( $\leq La$ )	2	
C	Assenza di sponde in arretramento a causa di interventi di protezione	5	
<i>Note e/o confidenze:</i>			

#### Morfologia

<b>F8</b>	<b>Presenza di forme tipiche di pianura</b>		
A+	Presenza di forme tipiche di pianura	-3	
<i>Si valuta solamente nei meandriformi</i>			
<i>Note e/o confidenze:</i>			

<b>F11</b>	<b>Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni</b>		
A	Presenza significativa di materiale legnoso	0	
C	Presenza limitata o assenza di materiale legnoso	4	

*Non si valuta nei tratti di trasporto*

--

#### Vegetazione nella fascia perfluviale

<b>F12</b>	<b>Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia fluviale</b>		
A	Ampiezza delle formazioni elevata ( $>La$ )	0	
B	Ampiezza delle formazioni intermedia (compresa tra $0.5La$ e $La$ )	2	
C	Ampiezza delle formazioni limitata ( $<La$ )	3	
<i>Note e/o confidenze:</i>			

<b>F13</b>	<b>Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti lungo le sponde</b>		
A	Estensione delle formazioni funzionali $>90\%$ della lunghezza massima disponibile	0	
B	Estensione delle formazioni funzionali $33-90\%$ della lunghezza massima disponibile	3	
C	Estensione delle formazioni funzionali $\leq 33\%$ della lunghezza massima disponibile	6	
<i>Note e/o confidenze:</i>			

## ARTIFICIALITÀ

Opere di alterazione della continuità longitudinale

<b>A1</b>	<b>Alterazione delle portate liquide a monte</b>		
A	Alterazioni di qualsiasi tipo nulle o poco significative ( $\leq 10\%$ ) della portata media	0	
B	Alterazioni fisse 10%-50% oppure intermittenti $< 100\%$ della portata media	2	
C	Alterazioni fisse $> 50\%$ o intermittenti (o somma di entrambi) $> 100\%$ portata media	3	

*Non si valuta nei tratti di testata.*

*Note e/o confidenze:*

<b>A3</b>	<b>Alterazione delle portate liquide nel tratto</b>		
A	Alterazioni di qualsiasi tipo nulle o poco significative ( $\leq 10\%$ ) della portata media	0	
B	Alterazioni fisse 10%-50% oppure intermittenti $\leq 100\%$ della portata media	3	
C	Alterazioni fisse $> 50\%$ o intermittenti (o somma di entrambi) $> 100\%$ portata media	5	

*Note e/o confidenze:*

<b>A4</b>	<b>Alterazione delle portate solide nel tratto</b>		
A	Assenza di alterazioni	0	
B	Presenza di 1 opera	2	
C	Presenza di più di 1 opera	3	

*Note e/o confidenze:*

<b>A5</b>	<b>Opere di attraversamento (ponti, guadi, tombinate)</b>		
A	Assenza di opere di attraversamento	0	
B	Presenza di alcune opere ( $\leq 1$ ogni 1000 metri in media nel tratto)	2	
C	Presenza di opere di attraversamento $> 1$ ogni 1000 metri in media nel tratto	3	

*Note e/o confidenze:*

Opere di alterazione della continuità laterale

<b>A6</b>	<b>Difese di sponda</b>		
A	Assenza difese legate a processi naturali o lunghezza $\leq 5\%$ se per processi artificiali	0	
B	Presenza di difese di qualsiasi tipo per lunghezza $\leq 33\%$	3	
C	Presenza di difese di qualsiasi tipo per lunghezza $> 33\%$	6	

*Nel caso di difese di sponda per quasi tutto il tratto (>80%), aggiungere* 12

Note e/o confidenze:

<b>A7</b>	<b>Arginature</b>		
A	Argini assenti o distanti (distanza $> L_a$ )	0	
B	Presenza di argini vicini o a contatto per una lunghezza $\leq 50\%$	2	
C	Presenza di argini vicini o a contatto per una lunghezza $> 50\%$	4	

*Nel caso di argini a contatto per quasi tutto il tratto (>80%), aggiungere* 10

*Si valuta solamente nei corsi d'acqua con capacità di esondare*

Note e/o confidenze:

Opere di alterazione della morfologia o del substrato

<b>A8</b>	<b>Variazioni artificiali del tracciato</b>		
A	Assenza di variazioni artificiali di tracciato	0	
B	Presenza di variazioni artificiali di tracciato $\leq 10\%$	3	
C	Presenza di variazioni artificiali di tracciato $> 10\%$	6	

*Nel caso di variazioni artificiali per quasi tutto il tratto (>80%), aggiungere* 12

Note e/o confidenze:

<b>A9</b>	<b>Altre opere di consolidamento e/o alterazioni del substrato</b>		
A	Assenza di opere di consolidamento e rivestimenti assenti o localizzati ( $\leq 5\%$ )	0	
B	Soglie o rampe $\leq 1$ ogni 1000m e/o presenza di rivestimenti $\leq 25\%$	2	
C	Soglie o rampe $> 1$ ogni 1000m e/o presenza di rivestimenti $> 25\%$	5	

Note e/o confidenze:

Opere di manutenzione o prelievo

<b>A11</b>	<b>Rimozione di materiale legnoso</b>		
A	Assenza di rimozioni di materiale legnoso negli ultimi 20 anni	0	
B	Rimozione parziale negli ultimi 20 anni	2	
C	Rimozione totale negli ultimi 20 anni	5	
<i>Note e/o confidenze:</i>			

<b>A12</b>	<b>Taglio della vegetazione</b>		
A	Assenza di interventi negli ultimi 20 anni oppure interventi selettivi esterna (>La)	0	
B	Taglio selettivo lungo le sponde e/o raso $\leq 33\%$ o anche raso in fascia esterna (>La)	3	
C	Taglio raso lungo le sponde >33%	6	
<i>Note e/o confidenze:</i>			

**VARIAZIONI LEGATE ALL'ANTROPIZZAZIONE**

<b>VA1</b>	<b>Abbassamento della falda</b>		
A	Assenza di alterazioni del livello di falda	0	
C	Abbassamento del livello di falda	2	

*Non si valuta al di sotto della linea di influsso della marea*

<i>Note e/o confidenze:</i>			
-----------------------------	--	--	--

<b>VA2</b>	<b>Incidenza delle bonifiche</b>		
A	Perdita di aree umide connesse $\leq 10\%$ rispetto alle evidenze degli anni '50	0	
B	Perdita di aree umide connesse tra 10% e 50% rispetto alle evidenze degli anni '50	2	
C	Perdita di aree umide connesse >50% rispetto alle evidenze degli anni '50	3	
<i>Note e/o confidenze:</i>			

**Scostamento totale:**  $Stot = \underline{\hspace{2cm}} (+\_/ -\_)$   
**Scostamento massimo:**  $Smax = - Sna = \underline{\hspace{2cm}}$   
*dove Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati*  
**Indice di Alterazione Morfologica:**  $IAM = Stot / Smax = \underline{\hspace{2cm}}$   
(+\\_/ -\\_)  
*se Stot > Smax si assume IAM=1*  
**Indice di Qualità Morfologica:**  $IQM = 1 - IAM = \underline{\hspace{2cm}}$  (+\\_/ -\\_)  
**Classe di qualità del tratto:**  $(CLASSEmin = \underline{\hspace{2cm}}) (CLASSEmax = \underline{\hspace{2cm}})$

VAL	IQM	CLASSE DI QUALITÀ	
0,3	$0.0 \leq IQM < 0.3$	Pessimo	
0,5	$0.3 \leq IQM < 0.5$	Scadente	
0,7	$0.5 \leq IQM < 0.7$	Moderato	
0,85	$0.7 \leq IQM < 0.85$	Buono	
	$0.85 \leq IQM < 1.0$	Elevato	

### **5.3 RISULTATI OTTENUTI E APPLICAZIONI SIGNIFICATIVE**

Il metodo è stato applicato in 28 tratti di corsi d'acqua di risorgiva della Regione. Nella scelta ho cercato di interessare tutte le aree rappresentative della bassa pianura e i diversi gradi di impatto antropico dei corsi d'acqua. Nella tabella seguente ho riassunto tutte le schede di valutazione, quindi le caratteristiche principali del tratto, i suoi confini, gli scostamenti assegnati agli indicatori, i valori dell'IQM e la classe di qualità corrispondente.

Successivamente ho riportato nel dettaglio 4 applicazioni significative, in due delle quali ho applicato anche il metodo IQM “classico” in modo da poter effettuare un confronto tra le classi di qualità risultanti.

Nella pagina seguente:

*Tabella 5.2 – Riassunto delle schede di valutazione.*

Tipologia	Corso d'acqua	Bacino	Inizio tratto	Fine tratto	F1	F2	F4	F8	F11	F12	F13	A1	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A11	A12	VA1	VA2	IQM	Classe
06AS2T	F. Noncello	Livenza	R. Repolle	F. Meduna	A	A	A	/	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	C	B	C	A	0,85	ELEVATO
06AS2T	F. Noncello	Livenza	Sorgente	C. idroelettrica	C	/	B	/	A	B	B	/	B	C	C	C	/	C	B	C	C	C	/	0,31	SCADENTE
06AS2T	F. Corno	Corno	R. Corniolizza	Fine C.I.	B	B	C	/	C	B	B	A	B	A	B	B	A	C	A	C	B	/	/	0,47	SCADENTE
06AS2T	F. Lemene	Lemene	R. Versa	R. Venchieredo	B	/	A	/	A	B	B	B	A	A	B	B	/	B	A	B	C	C	B	0,60	MODERATO
06AS2T	F. Sestian	Lemene	C. Melmosa	C. N. Reghena	C	B	B	/	C	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	C	C	C	/	0,33	SCADENTE
06AS3T	F. Stella	Stella	F. Torsa	C. Lame	A	A	B	A+	A	B	B	C	A	A	B	B	A	A	A	B	B	C	A	0,73	BUONO
06AS3T	F. Stella	Stella	C. Lame	R. Velicogna	A	B	A	A+	A	B	B	C	B	A	C	B	B	A	A	C	C	C	A	0,58	MODERATO
06AS3T	F. Stella	Stella	R. Brodiz	C. Milana	A	A	A	A+	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	B	B	C	A(B)	0,87 (0,85)	ELEVATO (ELEVATO)
06AS3T	F. Taglio	Stella	R. Brodiz	R. delle Stalle	B	B	C	/	A	A	B	C	A	A	B	C	A	A	A	B	B	C	B	0,65	MODERATO
06AS6T	F. Torsa	Stella	C. Ledra	R. Mandriola	C	/	C	/	C	C	C	A	C	C	C	C+	/	C+	C	C	C	C	C	0,04	PESSIMO
06AS6T	F. Torsa	Stella	R. Mandriola	F. Stella	A	A	A	A+	A	A	A	B	A	A	B	A	A	A	A	B	B	C	A	0,84	BUONO
06AS6T	F. Stella	Stella	R. Puroia	R. Griv	A	A	A	/	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	C	B	0,79	BUONO
06AS6T	F. Stella	Stella	R. Griv	R. dei Molini	A	A	A	/	A	A	A	B	A	A	A	B	A	A	A	B	B	C	A	0,84	BUONO
06AS6T	R.Sentirone	Livenza	R. Molinata	Mulino Tamai	B	A	A	/	A	B	A	A	A	B	B	B	A	A	A	B	B	C	A(B)	0,77 (0,73)	BUONO (BUONO)
06AS6T	R.Puroia	Stella	R. Martin	R. Soldan	B	/	A	/	A	A	B	A	A	A	B	A	/	A(B)	A	B	B	C	C	0,74 (0,70)	BUONO (BUONO)
06AS6T	R.di Virco	Stella	Inizio SIC	R. Soldan	A	/	/	/	A	A	A	/	A	A	A	A	/	B	A	B	B	C	A(B)	0,86 (0,83)	ELEVATO (BUONO)
06AS6T	F. Varmo	Tagliamento	R. Bugnins	R. di Belgrado	C	C	C	/	C	C	A	A	A	A	B	C	B	C	A	C	B	C	/	0,38	SCADENTE
06AS6T	F. Varmo	Tagliamento	R. di Belgrado	Tagliamento	C	B	B	/	A	B	A	A	B	C	B	B	A	C	A	B	B	C	/	0,54	MODERATO
06AS6T	R. Corniolizza	Corno	R. Avenale	F. Corno	C	C	B	/	C	C	B	A	A	C	C	B	A	C	C	C	C	C	C	0,25	PESSIMO
06AS6T	F. Corno	Corno	R. di Porpetto	R. Corniolizza	A	A	A		A	A	A	A	C	B	B	A	A	A	A	B	B	C	B	0,74	BUONO
06AS6T	R. Zellina	Zellina	Inizio C.I.	S.S. 14	C	C	/	/	C	C	C	A	A	C	B	B	A	C+	C	C	C	C	C	0,18	PESSIMO
06AS6T	R. Zellina	Zellina	S.S. 14	Fine C.I.	C	C	/	/	C	C	C	A	B	C	B	B	B	C+	C	C	C	/	C	0,08	PESSIMO
/	R. Buion	Livenza	R. Paise	R. Sentirone	B	B	A	/	A	C	A	B	A	A	B	A	A	A	A	B	B	C	A(B)	0,77(0,73)	BUONO (BUONO)
/	R. San Rocco	Livenza	Cambio morf.	R. Sentirone	A	/	/	/	C	C	A	A(B)	A	A	A	A	/	A	A	C	B	C	A(B)	0,76 (0,71)	BUONO (BUONO)
/	T. Roia	Livenza	Sorgenti	C. Battistin	B	/	/	/	A	B	A	/	A	A	C	A	/	A	A	B	B	C	A(B)	0,78 (0,73)	BUONO (BUONO)
/	R.M. Gravotti	Livenza	Sorgenti	C. Battistin	B	/	/	/	A	B	A	/	A	A	B	A	/	A	A	B	B	C	A(B)	0,79 (0,74)	BUONO (BUONO)
/	R.M. Gravotti	Livenza	Sorgenti	R. Vena Storta	B	/	/	/	A	B	A	/	A	A	B	A	/	A	A	B	B	C	A(B)	0,79 (0,74)	BUONO (BUONO)
/	R.di Belgrado	Tagliamento	Sorgenti	F. Varmo	B	B	B	/	A	C	B	/	A	A	C	C	A	B	B	B	C	C	/	0,51	MODERATO

### 5.3.1 Fiume Stella a Sterpo

Questo ramo del Fiume Stella è quello che si forma dalla confluenza de Roggia Platisce con la Roggia Puroia. Il corpo idrico, terminante alla confluenza con il Torrente Corno e tipizzato come 06AS6T, è stato diviso in tre tratti morfologicamente omogenei: quello qui analizzato è il primo e termina alla confluenza del Rio Griv. Il tratto, caratterizzato da un canale singolo e una conformazione meandriforme ( $I_s=1,54$ ), è lungo 2013 metri e scorre interamente all'interno del SIC IT 3320026.

La funzionalità del tratto emerge complessivamente inalterata mentre l'artificialità e le variazioni legate all'antropizzazione risultano alterati a causa di alcuni indicatori per cui sono state valutate le classi B o C. Entrambi gli indicatori riguardanti le alterazioni delle portate liquide ricadono in classe B: l'A1 per l'influsso a monte del canale artificiale San Vito, il quale, in maniera intermittente (ovvero nei periodi di piogge intense), immette acque nel bacino dello Stella e per gli apporti di acque da alcuni depuratori e da impianti ittici con prelievi da pozzo, e l'A3 che risulta alterato a causa di un prelievo nel tratto per uso ittiogenico di circa 3000 l/s. Il taglio selettivo e, in piccoli tratti, raso nella fascia esterna della vegetazione perifluviale e l'asportazione di materiale legnoso dall'alveo eseguito di recente fanno ricadere gli indicatori A12 *Taglio della vegetazione* e A11 *Rimozione di materiale legnoso* in classe B. L'indicatore VA1 *Abbassamento della falda*, come per tutti i tratti con interazione con la falda studiati, ricade in classe C mentre le *variazioni legate alle bonifiche* (VA2) (Fig. 5.2) risultano del 30% (classe B).

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	A	A1	B	VA1	C
F2	A	A3	B	VA2	B
F4	A	A4	A	<b>Indici e classe</b>	
F8	/	A5	A	Stot	15
F11	A	A6	A	Smax	72
F12	A	A7	A	IAM	0,21
F13	A	A8	A	IQM	0,79

A9	A	Classe	BUONO
A11	B		
A12	B		

Tabella 5.3 – La scheda riassuntiva con il calcolo dell'IQM modificato per il tratto studiato del Fiume Stella.

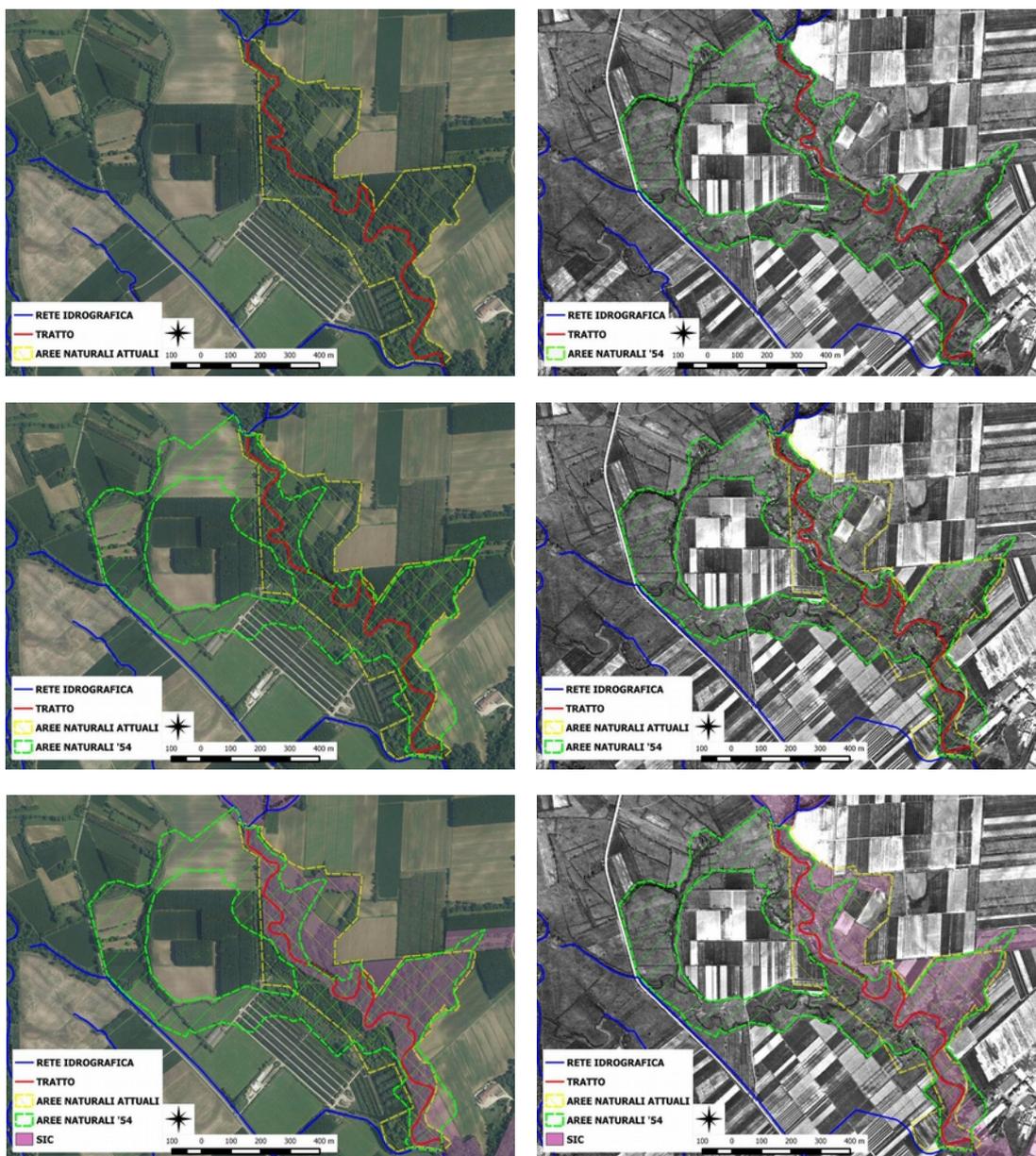


Figura 5.2 – Elaborazioni GIS per l'indicatore VA2. In prima riga le delimitazioni delle aree naturali nelle immagini del 2011 a destra e del 1954 a sinistra, successivamente i confronti tra le aree individuate e la zona SIC.

In questo tratto è stato applicato anche l'IQM classico, seguendo la nuova versione della guida alle risposte del manuale IDRAIM (*Rinaldi et al., non ancora pubblicata*).

Gli scostamenti, sempre nella classe intermedia, sono legati alla piana inondabile discontinua (F2), considerata dal metodo come un'alterazione, e al taglio e rimozione dall'alveo del legname. Gli indicatori A1 e A3 in questo caso considerano solo le alterazioni che vanno a determinare una riduzione delle portate liquide, risultando quindi entrambi in classe A; sono stati valutati inoltre, entrambi in classe A, gli indicatori A2 (*Alterazione delle portate solide a scala di bacino*) e A10 (*Rimozione di sedimenti*), entrambi ritenuti non valutabili nel metodo modificato.

La classe risultante dall'applicazione di questo metodo è ELEVATA.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	A	A1	A	V1	/
F2	B	A2	A	V2	/
F4	/	A3	A	V3	/
F5	A	A4	A	<b>Indici e classe</b>	
F7	/	A5	A	Stot	7
F8	/	A6	A	Smax	101
F9	/	A7	A	IAM	0,07
F10	/	A8	A	IQM	0,93
F11	A	A9	A	Classe	<b>ELEVATO</b>
F12	A	A10	A		
F13	A	A11	B		
		A12	B		

Tabella 5.4 – La scheda riassuntiva con il calcolo dell'IQM “classico” per il tratto studiato del Fiume Stella.

### 5.3.2 Il tratto iniziale del Fiume Torsa

Il Fiume Torsa, tipizzato come 06AS6T, è uno dei principali affluenti del Fiume Stella. Il tratto studiato è quello iniziale, ovvero dalla confluenza Rio Federico con il Canale Ledra di Martignacco fino alla confluenza con la Roggia Mandriola.

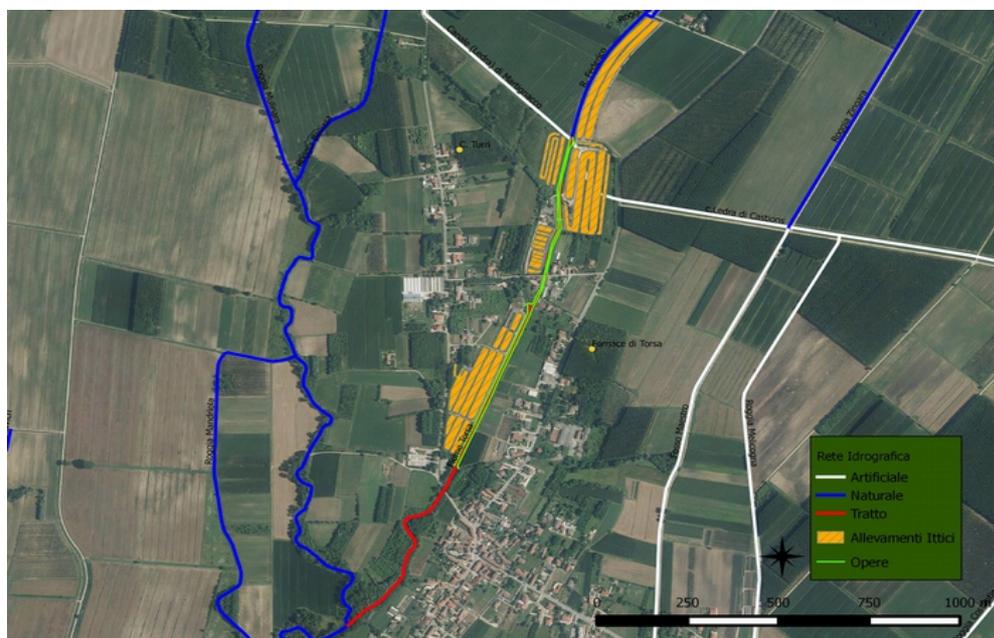


Figura 5.3 – Il tratto studiato del Fiume Torsa.

Questo tratto è quello più antropizzato tra quelli studiati, tant'è che solamente l'indicatore A1 (*alterazione delle portate liquide a monte*), non risulta alterato. Tutti gli altri registrano il massimo scostamento e per gli indicatori A6 e A8, relativi alle *difese di sponda* e *alle variazioni di tracciato*, è stata attribuita la massima penalizzazione (12 punti) perché in entrambi i casi l'alterazione interessa più dell'80% del tratto.

Il motivo principale di tale antropizzazione è la costruzione di due grossi impianti ittici a causa dei quali l'alveo è stato spostato e canalizzato; tutte le aree circostanti sono state occupate da vasche e in parte da abitazioni. Una parte di questo tratto era già stata fissata artificialmente, sia nelle sponde che nel fondo, probabilmente per mettere in funzione un mulino. Il risultato di tale antropizzazione è una canalizzazione con la completa perdita di funzionalità dell'alveo e delle forme naturali: la qualità morfologica risulta infatti PESSIMA e l'IQM assume il valore di 0,04.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	C	A1	A	VA1	C
F2	/	A3	C	VA2	C
F4	C	A4	C	<b>Indici e classe</b>	
F8	/	A5	C	Stot	78
F11	C	A6	C+	Smax	81
F12	C	A7	/	IAM	0,96
F13	C	A8	C+	IQM	0,04
		A9	C	Classe	<b>PESSIMO</b>
		A11	C		
		A12	C		

*Tabella 5.5 – La scheda riassuntiva con il calcolo dell'IQM modificato per il tratto studiato del Fiume Torsa.*

In questo tratto, a causa della ridotta dimensione del bacino (<10km<sup>2</sup>), l'IQM “classico” non stato è applicabile.

### **5.3.3 Roggia Mulignan Gravotti nel SIC IT3310010**

La Roggia Mulignan Gravotti scorre interamente all'interno del SIC IT3310010 “Risorgive del Venchiaruzzo”, il quale è contenuto nella più ampia zona di protezione ZPS IT3311001 “Magredi del Cellina”. Questo corso d'acqua di piccole dimensioni (circa 2,5 metri di larghezza) non è ancora stato tipizzato ma afferirà sicuramente alla tipologia 06AS6T. La particolarità di questo tratto è quella di essere composto da due piccole rogge che scorrono parallele a poca distanza, a circa un terzo del loro corso si uniscono per ridiversi poco dopo e riunirsi nuovamente dopo circa 600 metri, da qui scorrono a canale singolo fino a ricevere le acque della Roggia Vena Storta, dove termina il tratto studiato.

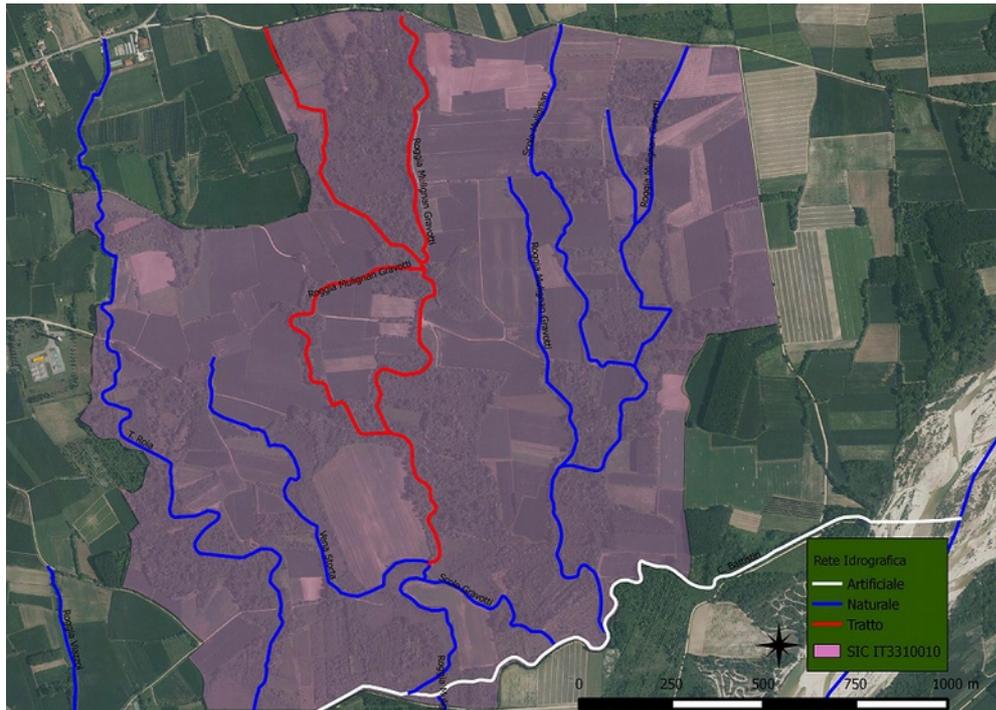


Figura 5.4 – Il tratto studiato della roggia Mulignan Gravotti.

La funzionalità risulta leggermente alterata a causa dell'*ampiezza della vegetazione perifluviale* intermedia (compresa tra  $0,5 La$  e  $La$ ) e della presenza di alcuni ponti con strutture che provocano ostacoli nel flusso dei sedimenti o del materiale legnoso, questi stessi ponti fanno ricadere anche l'indicatore A5 relativo alla *presenza di opere di attraversamento* in classe *B*. Oltre a questi anche gli indicatori A11 e A12, relativi al *taglio della vegetazione* e alla *rimozione di materiale legnoso*, risultano in classe *B*: in questo caso entrambe le alterazioni sono attribuibili alla gestione dei terreni da parte dei contadini i quali operano un taglio selettivo sulla fascia boscata e si occupano della pulizia dell'area rimuovendo eventuali tronchi o rami caduti. A causa di alcune difficoltà interpretative del materiale rinvenuto per la valutazione dell'indicatore VA2 è stata assegnata la classe *A*, ma con una confidenza nei confronti di quella inferiore. Il punteggio dell'IQM è quindi di 0,79 con un possibile scostamento verso 0,74: entrambi i punteggi permettono di definire la classe di qualità BUONO.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	B	A1	/	VA1	C
F2	/	A3	A	VA2	A (B)
F4	A	A4	A	<b>Indici e classe</b>	
F8	/	A5	B	Stot	13 (16)
F11	A	A6	A	Smax	61
F12	B	A7	/	IAM	0,21 (0.26)
F13	A	A8	A	IQM	0,79 (0.74)
		A9	A	Classe	<b>BUONO</b>
		A11	B		
		A12	B		

Tabella 5.6 – La scheda riassuntiva con il calcolo dell'IQM modificato per il tratto studiato della Roggia Mulignan Gravotti.

Anche in questo tratto, a causa della ridotta dimensione del bacino (<10km<sup>2</sup>), l'IQM “classico” non è stato applicabile.

### 5.3.4 Fiume Noncello alla confluenza con il Fiume Meduna

Il tratto analizzato è quello che inizia alla confluenza con il Rio Repolle e termina alla confluenza del Fiume Noncello nel Fiume Meduna. Il tratto, classificato come 06AS2T, è lungo 6245 m, largo mediamente 20 m e presenta un indice di sinuosità di 1,6 che permette di definire il tratto come meandriforme, le sue portate, in periodo di magra, sono di circa 20 m<sup>3</sup>/s mentre in piena possono raggiungere i 73 m<sup>3</sup>/s (Aprilis, 2013). Il tratto scorre inciso rispetto al piano di campagna ed è soggetto a frequenti piene legate alle variazioni del livello di base (il Meduna), nonostante questo aspetto la piana inondabile, anche se continua, si presenta stretta: tale caratteristica non risulta in alcuna maniera legata ad alterazioni o a modifiche apportate, anche a scala di bacino, motivo per cui l'indicatore F2 è stato valutato in classe A.

Il Noncello, nella sua parte superiore, è stato connesso a due corsi d'acqua di origine artificiale (la Roggia Brentella e il Canale Amman) e riceve le acque prelevate

da numerosi pozzi, anche utilizzati per l'itticoltura, e da alcuni depuratori: per tali motivi l'indicatore *A1*, relativo alle *Alterazioni delle portate liquide nel tratto*, risulta in classe *B*. Con le uscite in campo è stato poi possibile documentare la gestione della vegetazione in fascia fluviale e la rimozione totale del materiale legnoso dall'alveo, infatti, oltre alle evidenze di tagli selettivi (*A12* in classe *B*) è stato possibile osservare i lavori di pulizia eseguiti da una chiatta (*A11* in classe *C*). Come per tutti gli altri caso fino ad ora analizzati anche il *VA1* risulta alterato mentre non sono emerse perdite significative di ambienti umidi legate alle bonifiche (*VA2* in classe *A*).

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	A	A1	B	VA1	C
F2	A	A3	A	VA2	A
F4	A	A4	A	<b>Indici e classe</b>	
F8	/	A5	A	Stot	14
F11	A	A6	A	Smax	80
F12	A	A7	A	IAM	0,15
F13	A	A8	A	IQM	0,85
		A9	A	Classe	<b>ELEVATO</b>
		A11	C		
		A12	B		

Tabella 5.7– La scheda riassuntiva con il calcolo dell'IQM modificato per il tratto studiato del Fiume Noncello.

Nel Fiume Noncello è stata possibile anche l'applicazione dell'IQM "classico". I parametri indicati per le risposte hanno portate all'assegnazione ad una diversa classe per tre indicatori, ovvero a non considerare come larghe le formazioni funzionali (<2La, *F12* in classe *B*), a ritenere come un'alterazione la piana inondabile stretta (<2La, *F2* in classe *B*) e a non considerare gli apporti di acque dalle connessioni artificiali con altri corsi d'acqua e dai pozzi (*A1* in classe *A*). Inoltre sono stati valutati anche altri indicatori, tra cui quello relativo alle *opere di alterazioni*

delle portate solide a monte ricaduto in classe B per la presenza di alcune briglie nei pressi di una centralina elettrica e di un allevamento ittico. La classe di qualità morfologica calcolata con questo metodo è quindi BUONO.



Figura 5.5 – La vegetazione perfluviale e l'elaborazione GIS per il calcolo dell'indicatore F12.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	A	A1	A	V1	/
F2	B	A2	B	V2	/
F4	/	A3	A	V3	/
F5	A	A4	A	<b>Indici e classe</b>	
F7	/	A5	A	Stot	13
F8	/	A6	A	Smax	96
F9	/	A7	A	IAM	0,16
F10	/	A8	A	IQM	0,84
F11	A	A9	A	Classe	<b>BUONO</b>
F12	B	A10	A		
F13	A	A11	C		
		A12	B		

Tabella 5.8 – La scheda riassuntiva con il calcolo dell'IQM "classico" per il tratto studiato del Fiume Noncello.

## **6. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE DI**

### **APPROFONDIMENTO**

Le analisi della metodologia applicata durante la prima parte di questo lavoro, ovvero quella della validazione morfologica dei siti di riferimento fluviali (considerazioni sulla quale al Paragrafo 6.1), unita allo studio della più peculiare tipologia di corsi d'acqua della bassa Pianura Veneto-friulana, ossia quelli di risorgiva, ha permesso lo sviluppo di una metodologia specifica per la loro valutazione morfologica. Considerata la mancanza di una loro classificazione dal punto di vista idromorfologico, principalmente dovuta alla mancanza di un sistema che permettesse di attribuire loro, in maniera adeguata, una classe di qualità, si ritiene che il metodo stesso sia il maggior contributo fornito da questo lavoro. Inoltre, sia durante la prima fase che durante lo sviluppo del metodo, sono state raccolte molte altre informazioni e osservate dinamiche ancora non studiate che hanno permesso di stilare una serie di considerazioni che si ritiene possano essere un buon punto di partenza per l'affinamento del metodo di selezione dei siti di riferimento (Paragrafi 6.2 e 6.4) e la loro protezione (Paragrafo 6.3). Altresì il maggior numero di dati raccolti sono stati quelli sui corsi d'acqua di risorgiva, al Paragrafo 6.5 sono stati inseriti dei giudizi sulla situazione morfologica di 28 tratti friulani, studiati durante la fase di test del metodo e al Paragrafo 6.6, prima di alcune considerazioni generali al Paragrafo 6.7, sono state analizzate le possibili modifiche e i possibili sviluppi che si potrebbero applicare al metodo proposto, anche allo scopo di poterlo applicare in altre regioni.

#### **6.1 SITI DI RIFERIMENTO VALIDATI**

Le applicazioni dell'IQM hanno permesso di validare 26 tratti di corpi idrici. Su questi sarà quindi possibile istituire i siti di riferimento, attraverso i quali sarà possibile procedere al calcolo dei rapporti di qualità ecologica (EQR) per ciascun sito oggetto di monitoraggio. Questi tratti andranno quindi a formare la rete nucleo di

monitoraggio e verranno sorvegliati per poterne valutare un'eventuale evoluzione delle condizioni ecologiche.

I tratti validati afferiscono a 7 diverse tipologie di corpi idrici, la gran parte dei quali (19) appartengono al tipo 02SS1T. In solo 4 di questi (Rio Santa Maria, Rio Nero e i torrenti Cimoliana e Pezzeda) le condizioni morfologiche si sono rivelate inalterate (IQM=1). Le alterazioni più registrate sono state quelle relative alla connessione dei versanti con il corso d'acqua, i cui elementi di scostamento influiscono anche sull'ampiezza delle formazioni funzionali in fascia perifluviale. Tali formazioni sono risultate anche essere spesso soggette a tagli e sono state registrate frequenti opere di attraversamento e difese di sponda.

Tuttavia, il quadro relativo alla definizione dei siti di riferimento rimane ancora incompleto e, nonostante in questo lavoro si sia tentato di contribuire allo sviluppo di una metodologia per la definizione delle condizioni di riferimento nell'HER 06, le tipologie di corpi idrici per cui non è stata possibile la definizione rimangono ancora molte.

## **6.2 TIPIZZAZIONE DI TERZO LIVELLO PER I CORPI IDRICI 02SS1T**

Il grande numero di corpi idrici 02SS1T validati come sito di riferimento è dislocato in varie zone della Regione. I singoli corpi spesso assumono caratteristiche varie tra loro, a seconda della collocazione geografica o altimetrica: si passa, ad esempio, dagli aspri pendii in nuda roccia nel Parco delle Dolomiti Friulane a quelli dolci e ricoperti da boschi di latifoglie delle valli del Natisone, dall'altitudine di 1266 m della stazione di campionamento sul Torrente Cimoliana ai 210 m di quella sul Rio Muiè.

Queste differenze indicano la possibilità e necessità di una tipizzazione di terzo livello, ovvero un'ulteriore divisione di dettaglio di questa tipologia di corpi idrici. I dati sulle morfologie raccolti suggeriscono la possibilità di differenziare i corpi idrici basandosi sulla configurazione del fondo, sull'altitudine delle sorgenti e della fine del corpo idrico e sull'orientazione delle valli. Queste caratteristiche morfologiche e geografiche hanno presumibilmente una diretta correlazione con le tipologie di microhabitat legate alle sedimentologie presenti, alla velocità della corrente e alle

temperature delle acque: elementi che, nei loro estremi, possono rappresentare un grande ostacolo allo sviluppo della vita (Maiolini & Lencioni, 2001) e nella loro variabilità possono rappresentare le discriminanti per l'instaurarsi di comunità biologiche tipo specifiche. Condizione fondamentale per giungere ad una divisione corretta è quindi la correlazione dei dati raccolti con quelli dei campionamenti biologici, sia in termini di microhabitat che di popolazione.

Se tale correlazione evidenziasse differenze, anche piccole, all'interno delle strutture biologiche tipiche di questi corpi idrici, la tipizzazione di terzo livello assumerebbe ancor più peso allo scopo di proporre un eventuale ritaratura e ridefinizione dei sistemi di classificazione.

### **6.3 PROTEZIONE DEI SITI DI RIFERIMENTO**

Attualmente l'unico riferimento normativo riguardante la tutela dei siti di riferimento in Friuli Venezia Giulia è contenuto nell'allegato 4 alla delibera n°2000 della Giunta regionale del 15/11/2012, riguardante l'adozione definitiva del Piano Regionale di Tutela Acque. All'art.4 del titolo 7 troviamo:

*Siti in condizioni di riferimento:*

*Nell'area circostante un sito in condizioni di riferimento, individuato ai sensi dell'Allegato 2 del D.M. 14 aprile 2009 n. 56, è vietato qualsiasi intervento che possa procurare una modificazione a carico degli elementi di qualità biologica, idromorfologica e chimico-fisica.*

La generalità di questa delibera non garantisce un'efficace protezione nei confronti dei siti di riferimento. Per la conservazione delle caratteristiche ecologiche, biologiche e idromorfologiche sarebbe necessaria una definizione normativa che sostenga una tutela non solo di quel tratto di fiume riconosciuto come "di riferimento", ma anche del bacino a monte e di un significativo tratto a valle. In tale area dovrebbe essere garantito il divieto di realizzare opere capaci di alterare in modo permanente la continuità longitudinale e la connettività, laterale e verticale, del fiume. In particolare dovrà essere evitata la realizzazione di nuove opere di presa, dighe, briglie etc., che determinerebbero un'importante alterazione del trasporto solido nel fiume e ostacolerebbero i naturali processi di dinamica fluviale.

Inoltre, dovrebbero essere vietati interventi sul canale e sulle sponde che possano determinare fenomeni di incisione dell'alveo o limitarne in modo sensibile le possibilità di divagazione. Al contrario, dovrebbe essere ricercata una gestione delle aree fluviali e del bacino idrografico volta a favorire i naturali processi di dinamica fluviale (*Buffagni et al., 2010*), dovrebbero essere quindi ben regolamentate le gestioni boschive a garanzia delle naturali dinamiche ed evitate, o regolamentate, tutte le pressioni riguardanti la gestione a fini alienotici della fauna ittica.

La protezione e il monitoraggio pensato per i siti di riferimento dovrebbero essere estese anche a tutti i siti individuati in cui lo stato di naturalità è elevata ma, per problematiche sito specifiche, non è stato possibile validarli. Essi coincidono con i siti nei quali la comunità biologica appare discostata dai riferimenti per motivi naturali (ad esempio per la presenza di molto materiale fine in acqua), e quelli dove gli scostamenti attribuiti nell'applicazione del metodo IDRAIM non hanno portato ad una determinazione univoca della qualità morfologica. In tali tratti sarà dunque necessario continuare la raccolta di dati al fine di un'approvazione in un secondo momento.

## **6.4 LA QUALITÀ MORFOLOGICA PER LA SELEZIONE DEI SITI DI**

### **RIFERIMENTO**

La validazione morfologica dei tratti candidati a sito di riferimento ha portato ad un'analisi del metodo e ad individuarne alcune criticità, con la conclusione che l'applicazione *in primis* dell'IQM possa essere vantaggiosa in quanto, anche dalle osservazioni dei corpi idrici nelle zone montuose della Regione (*Mattassi, 2011; Skert & Zanello, 2012; Favrin et al., 2013*), è dimostrata la correlazione tra impatti idromorfologici e variazioni nelle strutture delle comunità biologiche (*Ward et al., 2001; Sandin, 2009; Bona et al., 2008; Jähnig et al., 2010*). Si ritiene dunque che il calcolo dell'IQM possa rappresentare una buona, e più rapida, metodologia per la selezione preliminare dei siti su cui poi estendere il campo delle analisi. Inoltre, si ritiene che la divisione in tratti morfologicamente omogenei, e l'utilizzo degli stessi

per l'impostazione del lavoro anche in ottica ecologica, sia corretta sia in termini formali che in termini di semplicità e applicabilità.

Si ritiene che anche la struttura stessa della metodologia "*Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali per la direttiva 2000/60/EC*" (Buffagni et al., 2008a) supporti questa conclusione. Tra le 52 domande previste da metodo Buffagni, infatti, 27 domande riguardano alterazioni morfologiche, prelievi idrici, regolazione del flusso e continuità della vegetazione riparia (categorie D, E, F e alcune domande della categoria C). I temi di queste domande, rivelatisi, soprattutto per i corpi idrici di montagna, tra i più discriminanti per la candidabilità dei siti (ARPA FVG, 2011), sono tutti rappresentati in maniera esauriente dagli indicatori che compongono l'IQM.

Altro aspetto applicativo notato in alcuni casi consiste nell'incongruenza tra il punto di campionamento biologico di ARPA e il tratto morfologicamente omogeneo analizzato con l'IQM. I punti di campionamento sono solitamente posti alla fine di un tratto in modo da essere rappresentativi di tutte le pressioni insistenti. Ci sono casi, tuttavia, in cui il punto di campionamento è stato messo a valle di una forte discontinuità morfologica, ovvero in un tratto IQM diverso rispetto a quello di cui rappresenta le pressioni. Tale problematica ha portato a dovere dividere il corpo idrico in maniera diversa e ad inserire, erroneamente, nel tratto su cui sono state valutate le condizioni morfologiche anche la parte con il punto di campionamento. Questo errore assume significati diversi a seconda che il tratto venga validato o meno: nel primo caso, il campionamento biologico potrebbe essere stato fatto su una morfologia diversa (e conseguentemente con un campionamento dei macroinvertebrati diverso) rispetto a quella di cui il punto rappresenta le pressioni; nel secondo caso, invece, la diversa divisione del tratto IQM può comportare la valutazione di una parte di corpo idrico in cui sono presenti pressioni non rappresentate dal punto di campionamento e tuttavia incidenti sul giudizio della qualità morfologica. La divisione in tratti morfologicamente omogenei permetterebbe, quindi, di evitare tale tipo di errori e fornirebbe, inoltre,

un'organizzazione corretta anche nel caso di una futura tipizzazione di terzo livello basata sulle morfologie dell'alveo.

## **6.5 QUALITÀ MORFOLOGICA DEI CORSI D'ACQUA DI RISORGIVA**

La scelta dei tratti su cui applicare l'IQM modificato è stata effettuata con l'obiettivo di giungere a una selezione il più possibile rappresentativa dei diversi gradi di antropizzazione. Sono stati inclusi la gran parte dei tratti nei quali ci si aspettava di incontrare condizioni morfologiche quasi inalterate, data la loro relativa "rarietà". Ciononostante, il quadro complessivo risulta pesantemente alterato, tant'è che è stato possibile individuare un solo tratto in condizioni ELEVATE per la tipologia 06AS2T, uno per la tipologia 06AS3T e uno, ma con  $IQM_{\min}$  BUONO, per la classe 06AS6T.

Le alterazioni maggiormente diffuse sono quelle relative alla vegetazione in fascia perifluviale la quale, a causa del taglio (talvolta raso) del legname, risulta spesso discontinua e di scarsa ampiezza. Diffusi scostamenti sono anche legati alla rimozione del materiale legnoso dall'alveo, dalla presenza di opere di attraversamento, dalle variazioni del tracciato del corso d'acqua e dalla banalizzazione della tessitura idrologica delle zone di alimentazione del bacino.

Nei tre tratti individuati in cui la qualità morfologica è risultata ELEVATA i valori derivate dalla analisi biologiche effettuate da ARPA hanno evidenziato però altri problemi, probabilmente legati a fonti di inquinamento, sia diffuse (agricoltura) che puntiformi (depuratori). Gli stati ecologici di questi punti sono risultati infatti SUFFICIENTI o SCARSI. Tale condizione, seguendo quanto attualmente imposto dalla Direttiva, non permetterebbe di poter definire nessun sito di riferimento nella porzione friulana dell'HER06.

Questo si traduce quindi nella necessità di estendere la ricerca dei siti con le condizioni migliori, da eventualmente poi candidare a sito di riferimento, ai tratti che presentano condizioni morfologiche BUONE. Tra quelli analizzati per questo studio si trovano anche i punti in cui si sono registrati i risultati migliori nei campionamenti biologici. In uno di questi, la Roggia Puroia, tutti gli indici biologici calcolati hanno dato risultati ELEVATI (unico tra quelli di pianura campionati), le

analisi chimiche hanno invece registrato un livello molto alto di nitrati (situazione diffusa in tutta la bassa pianura), i quali hanno portato i tecnici ARPA a dare un giudizio esperto BUONO sul tratto. Sul tratto è anche stata applicata la metodologia di *Buffagni et al., 2008a*, ottenendo un punteggio di 0,88 con 7 sforamenti totali, tra i quali il più penalizzante è stato lo sfioramento della soglia di rifiuto del criterio irrinunciabile *C1*, ovvero quello relativo all'uso naturale della zona riparia. Sono state sfiorate anche le soglie di riferimento per i criteri irrinunciabili *C7*, *G1*, *G2* e *G3*: il primo ancora relativo alla delimitazione del sito da parte delle vegetazione, mentre gli altri si riferiscono ai 3 criteri che hanno totalizzato il maggior numero di sforamenti sia nelle zone di pianura che montuose ovvero relativi alla presenza di specie alloctone, sia animali che vegetali, e alla presenza di pescatori.

La Roggia Puroia scorre interamente all'interno di un SIC, l'IT3320026 Risorgive dello Stella, si è rilevato, però, che a differenza della tendenza notata nelle aree montuose, i siti Natura 2000 (SIC e ZPS) istituiti in pianura non sembrano offrire un'efficace protezione: anche all'interno di queste aree la gestione dei terreni a uso agricolo, con conseguenze soprattutto sulla vegetazione perifluviale, risulta significativamente impattante. I valori degli IQM calcolati per i corsi d'acqua di queste aree si sono comunque quasi sempre rivelati abbastanza alti, ovvero tali da poter definire i tratti di BUONA qualità morfologica.

In alcuni dei tratti studiati è stato inoltre possibile applicare il metodo IQM "classico", permettendo dunque un confronto diretto tra i risultati ottenuti grazie a questa metodologia e quella rielaborata nell'ambito di questo lavoro. Le classi di qualità assegnate attraverso i due metodi sono spesso risultate discrepanti. In particolare, il metodo IQM "classico" ha dimostrato una tendenza a individuare un giudizio di qualità più elevato di quello ottenuto con il metodo modificato. Tuttavia, nel caso del Fiume Noncello, è stata la valutazione data dal metodo sviluppato per i corsi d'acqua di risorgiva a risultare superiore.

## 6.6 POSSIBILI SVILUPPI DEL METODO IQM PER I CORSI D'ACQUA DI RISORGIVA

Le ricerche condotte per lo sviluppo delle modifiche del metodo IQM per i corsi d'acqua di risorgiva hanno portato all'analisi di molti aspetti di questi fiumi. In alcuni casi, queste hanno portato ad una chiara definizione delle dinamiche, in altri, è stato solo possibile fare delle osservazioni sul processo, senza giungere ad una precisa descrizione dello stesso. In alcuni casi, per mantenere l'approccio della relativa "semplicità applicativa" - soprattutto in campo - del metodo IDRAIM, si è deciso consapevolmente di non approfondire in modo troppo dettagliato l'aspetto osservato; in altri casi le problematiche sono derivate dalle difficoltà di rinvenire ed elaborare i dati, mentre in altri ancora si sono riscontrati dei processi di cui non sono note le dinamiche e che potrebbero essere spunto per successivi studi specifici.

Il metodo, inoltre, è stato studiato e testato sul contesto della rete idrografica di risorgiva della Pianura Friulana, lo si considera quindi valido solamente per questa porzione. Si ritiene comunque l'IQM modificato applicabile, senza alcuna modifica, in tutta la bassa Pianura Veneto-friulana in quanto i processi geologici di formazione sono gli stessi dell'area di studio; tuttavia si rimanda tale conclusione ad un'eventuale successiva fase di test nella porzione veneta. L'estensione dell'applicazione anche ad altre aree interessate dai fenomeni di risorgenza si ritiene possibile, ma con alcune integrazioni nella metodologia: basti pensare alla diffusione in Lombardia dei "fontanili", ovvero le testate di risorgiva di origine artificiale, per capire l'importanza di adeguare il metodo alle caratteristiche dell'area e successivamente verificarlo sul campo.

Il primo aspetto su cui non è stato possibile arrivare ad una definizione quantitativa chiara ed inequivocabile è quello dei processi naturali che portano all'erosione delle sponde. Dopo la prima fase di ricerche bibliografiche (*Feruglio, 1925; Muscio, 2011; Fontana, 2006*) e dall'analisi del *Digital Terrain Model* disponibile ci si aspettava di osservare situazioni di erosione delle sponde solamente nei tratti iniziali e con la maggiore pendenza dei fiumi di maggiori dimensioni.

L'erosione delle sponde è stata invece rilevata anche in alvei di medie dimensioni e con pendenza media ridotta: questa può invece essere associata a piccole variazioni locali delle pendenze e/o a situazioni idrauliche modificate dalla presenza di legname di grosse dimensioni in alveo. Il materiale legnoso, assieme al sedimento che intercetta, tende infatti a formare una barriera naturale che sposta e aumenta la velocità del flusso della corrente, situazione che può innescare processi di erosione.

Attualmente non è stato possibile introdurre una discriminata numerica che permettesse di definire quando valutare i processi di erosione, in quanto il DTM disponibile è stato costruito dall'interpolazione delle isoipse con un passo di 10 metri e non dispone dunque di una precisione sufficiente alla corretta valutazione delle piccole variazioni di pendenza. Tale limite potrebbe essere agevolmente superato disponendo di un DTM costruito sulla base di rilevamenti LIDAR (*Laser Imaging Detection And Ranging*). Tali elaborazioni, le quali permettono di effettuare analisi altimetriche ad elevata precisione e con un errore massimo di 10 centimetri rispetto alle tecniche topografiche, sono in rapida diffusione e per molte Regioni italiane vengono già distribuite gratuitamente. In Friuli Venezia Giulia, questi dati sono attualmente di proprietà della Protezione Civile che non ne ha concesso la consultazione. L'accessibilità del dato in altre Regioni rimane però un interessante punto di partenza per l'eventuale miglioramento ed estensione del campo di applicazione del metodo.

Alcuni indicatori del metodo IQM prevedono la valutazione delle forme di fondo degli alvei, nei fiumi di risorgiva le forme descritte per i corsi d'acqua con bacino montano trovano però scarsa corrispondenza. Formazioni simili a barre laterali, ma sommerse, sono state osservate solo in alcuni tratti; risultano più comuni delle morfologie di fondo, costituite da materiali fini (presumibilmente sabbie) molto più simili a delle barre a losanga o a delle dune. Tali formazioni, di cui non si è trovata descrizione in letteratura, sembrano essere direttamente influenzate dalla presenza della vegetazione macrofitica; quest'ultimo aspetto, la cui dinamica potrebbe coincidere con quella descritta da *Madsen et al.* nel 2001, potrebbe quindi aprire un collegamento con l'alto inquinamento da nitrati legati all'agricoltura che interessa le

acqua di falda dagli anni '70: la presenza di questi nutrienti ha portato infatti a uno sviluppo anomalo della vegetazione acquatica. Uno studio mirato alla comprensione di queste forme potrebbe quindi costituire un considerevole sviluppo per la descrizione morfologica ed ecologica dei corsi d'acqua di risorgiva.

Un ultimo indicatore che potrebbe essere interessato da ulteriori sviluppi futuri è il *VA1*, ovvero quello riguardante l'abbassamento della falda. Nel metodo qui proposto si è deciso di valutarne solamente due classi, non alterata e alterata (considerando come non alterati i livelli di falda degli anni '70), a causa delle difficoltà interpretative dei dati. Non è stato quindi possibile, a causa delle differenze nelle caratteristiche degli acquiferi e delle diverse interazioni che potrebbero dare i corsi d'acqua che scorrono nelle vicinanze dei punti di campionamento, stabilire un range numerico per una classe di variazioni intermedia valido per l'intera area di studio.

Considerando anche che negli ultimi anni sono state inserite delle norme per cercare di fare fronte a questo problema, un diverso approccio, in linea con la “semplicità applicativa” del metodo, potrebbe essere tentato con un'analisi delle modifiche nelle tendenze all'abbassamento dei livelli piezometrici registrati negli anni. Condizione per lo svolgimento di questa analisi è l'aggregazione dei dati in un database che li renda quindi facilmente reperibili e consultabili. Attualmente la soluzione tecnica migliore potrebbe essere l'inserimento di tali dati in un database *PostgreSQL*, le cui estensioni spaziali permetterebbero l'analisi e la consultazione direttamente da un software GIS. Da questa piattaforma sarebbe poi semplice l'individuazione delle aree in cui la tendenza all'abbassamento della falda si è fermata o il trend è quello del recupero. Queste zone potrebbero quindi essere penalizzate in maniera minore rispetto a quelle in cui la falda continua a registrare degli abbassamenti.

## **6.7 CONSIDERAZIONI GENERALI**

Le circa 70 valutazioni delle qualità morfologica effettuate in questo lavoro, sia con il metodo studiato da *Rinaldi et al., 2011* che con quello modificato in questa

sede, hanno permesso la raccolta di una grande quantità di dati riguardanti gli impatti sui corpi idrici regionali. Essi si aggiungono alle già numerose informazioni raccolte dagli enti negli anni con le varie campagne di campionamenti biologici e di habitat (IBE, IFF ecc.), integrando un'importante componente, quella idromorfologica, a cui in passato non veniva assegnato grande valore. La conoscenza della qualità morfologica e dei processi che la regolano ha inoltre una grande importanza al fine di una corretta “gestione” della risorsa fluviale nel rispetto di uno sviluppo sostenibile.

Attualmente le condizioni idromorfologiche godono tuttavia ancora di un ruolo marginale, vengono infatti considerate dalla WFD – come già sottolineato da *Nardini et al., 2008* nella *proposta FLEA* – solamente nella valutazione dello stato ecologico ELEVATO, per cui vengono considerate un “elemento di sostegno”. Questo problema si riflette in tutti i corpi idrici in cui lo stato ecologico risulti BUONO o inferiore: la mancata considerazione della qualità morfologica non permette infatti di contribuire alla disincentivazione della loro artificializzazione e, conseguentemente, degli eventuali peggioramenti della qualità biologica. Questo limite, associato al criterio di aggregazione degli attributi chimico-fisici e biologici scelto dalla Direttiva Quadro sulle Acque (ovvero quello definibile *One Out-All Out*, il quale obbliga a determinare il giudizio ecologico sul valore dell'attributo peggiore), può portare ad una classificazione del tratto che non riflette correttamente le effettive condizioni ecologiche.

Le osservazioni hanno evidenziato come la vegetazione ripariale risulti una delle componenti più alterate, sia in montagna che in pianura. Tale problematica è stata rilevata anche all'interno delle aree SIC delle zone di risorgiva dove una migliore gestione, ovvero delle norme più restrittive sull'uso e sulla cura della fascia perifluviale, permetterebbe sicuramente una riqualificazione morfologica ed ecologica di questi corsi d'acqua. Attualmente esistono delle iniziative volte al ripristino delle aree di risorgiva, alcune delle quali hanno trovato largo consenso (basti pensare al progetto Star LIFE Natura “Conservazione e ampliamento dei boschi umidi appartenenti all'habitat 91E0”), mentre altre sono state bloccate per

motivazioni legate allo sfruttamento dei terreni per attività agricole: è notizia del 07 maggio 2014 l'annullamento da parte del T.A.R. del Friuli Venezia Giulia del piano di gestione del SIC "Risorgive dello Stella", il quale prevedeva anche azioni di ripristino ambientale e norme sulla gestione delle acque pubbliche e di scolo.

L'ultima considerazione legata alla qualità morfologica dei corsi d'acqua regionali vuole sottolineare la diffusione delle situazioni di artificializzazione: tra tutti i corpi idrici studiati, tra cui sicuramente erano compresi tutti quelli con le minori pressioni, solamente in 4 tratti si è dimostrata la totale assenza di antropizzazione, permettendo quindi di affermare che un numero inferiore allo 0,01% dei corpi idrici del Friuli Venezia Giulia si trova in uno stato di totale naturalità.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- AFNOR, 2003. *Qualité de l'eau: Détermination de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR)*. NF T 90-395, 28 pp.
- APAT - AGENZIA PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE E DEI SERVIZI TECNICI, 2003. *Atlante delle opere di sistemazione fluviale*. Manuali e Linee guida 27/2003 ISBN 88-448-0118-3.
- APAT - AGENZIA PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE E DEI SERVIZI TECNICI, 2007a. *Protocollo di campionamento ed analisi per le diatomee bentoniche dei corsi d'acqua italiani*. Metodi Biologici per le acque. Parte I. Manuali e Linee Guida. Roma.
- APAT - AGENZIA PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE E DEI SERVIZI TECNICI, 2007b. *Protocollo di campionamento ed analisi per le macrofite delle acque correnti*. Metodi Biologici per le acque. Parte I. Manuali e Linee Guida. Roma.
- APRILIS N., 2013. *Progetto definitivo-esecutivo dei lavori di manutenzione sul Fiume Noncello*. Allegato uno. Provincia di Pordenone.
- ARPA - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DEL FRIULI VENEZIA GIULIA, 2001. *Acque interne e destinate al consumo umano*. Rapporto sullo stato dell'ambiente. Capitolo 3.1, pp. 14-127.
- ARPA - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DEL FRIULI VENEZIA GIULIA, 2011. *Tabellone applicazioni metodologia "Criteri per la selezione dei siti di riferimento fluviali per la direttiva 2000/60/EC"*. Dati interni non pubblicati.
- ARPA - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DEL FRIULI VENEZIA GIULIA, 2012. *Rapporto sullo stato dell'ambiente*.

- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008. *Il recupero morfologico e ambientale del Fiume Po*. Il contributo da programma generale di gestione dei sedimenti del Fiume Po. Edizioni Diabasis, 50 pp.
- BATES R.L. & JACKSON J.A., 1987. *Glossary of geology*. New York, Botkin, 779 pp.
- BERTOLI M., MASSARUTTO S., PIAZZA G., PIZZUL E., TOMASELLA M., ZANUT E., 2010. *Il bacino del Fiume Stella*. Pesca e Ambiente, Notiziario di informazione ittica e gestione delle acque regionali Luglio 2010. Ente Tutela Pesca Friuli Venezia Giulia, 24 pp.
- BILLI P., 1988. *Morfologie fluviali*. Giornale di Geologia, Serie 3a 50(1-2), pp. 27-38.
- BONA F., FALASCO E., FENOGLIO S., IORIO L., BADINO G., 2008. *Response of macroinvertebrate and diatom communities to human-induced physical alteration in mountain streams*. River research and applications 24, pp. 1068-1081.
- BRIBAUDI P., 1949. *Di un'opera inedita di Olinto Marinelli: la descrizione delle Venezia Propria*. Bollettino della società geografica italiana. Roma, pp. 162-163.
- BRICE J.C., 1975. *Airphoto interpretation of the form and behaviour of alluvional rivers*. Report of the U.S.Army Research Office.
- BRIERLEY G.J., FRYIRS K.A., 2005. *Geomorphology and River Management*. Applications of the River Styles Framework. Blackwell Publishing, 398 pp.
- BUFFAGNI A., ERBA S., 2004. *A simple procedure to harmonize class boundaries of European assessment systems*. Discussion paper for the intercalibration process – WFD CIS WG 2.A ECOSTAT, 6 February 2004, 21 pp.
- BUFFAGNI A., ERBA S., 2007. *Macroinvertebrati acquatici e direttiva 2000/60/EC (WFD)*. Notiziario dei Metodi Analitici Marzo 2007, IRSA-CNR, pp. 94-100.
- BUFFAGNI A., ERBA S., 2008. *Definizione dello stato ecologico dei fiumi sulla base dei macroinvertebrati bentonici per la 2000/60/CE(WFD): il sistema di*

*classificazione MacrOper*. Notiziario dei Metodi Analitici numero speciale 2008, IRSA-CNR, pp. 24-46.

- BUFFAGNI A., ERBA S., ASTE F., MIGNUOLI C., SCANU G., SOLLAZZO C., PAGNOTTA R., 2008a. *Criteri per la selezione di siti di riferimento fluviali per la Direttiva 2000/60/CE*. Notiziario dei metodi analitici IRSA, pp. 2-23.
- BUFFAGNI A., ERBA S., PAGNOTTA R., 2008b. *Definizione dello stato ecologico dei fiumi sulla base dei macroinvertebrati bentonici per la 2000/6/EC (WFD): il sistema di classificazione MacrOper*. Notiziario dei metodi analitici IRSA 2008, pp. 24-42.
- BUFFAGNI, A., ERBA, S., CAZZOLA, M., KEMP, J.L., 2004. *The AQEM multimetric system for the southern Italian Apennines: assessing the impact of water quality and habitat degradation on pool macroinvertebrates in Mediterranean rivers*. *Hydrobiologia*, 516, pp. 313-329.
- BULL W.B., 1977. *The alluvial fan environment*. *Progress in physical geography* 1. pp. 222-270.
- CARULLI G.B., 2006. *Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, scala 1: 150.000*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, 44 pp.
- CASTIGLIONI G.B., 2001. *Le risposte del sistema fluviale alle alterazioni ambientali*. In: CASTIGLIONI G.B., PELLEGRINI G.B. (a cura di). *Note illustrative della carta geologica della Pianura Padana*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, supplemento 4.
- CEMAGREF, 1982. *Étude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux*. Rapport Q. E. Lyon- A. F. Bassin Rhône- Méditerranée Corse. Lyon.
- CHURCH M.A., 1983. *Pattern of instability in a wandering gravel bed channel*. In: J.D. COLLISON & J. LEWIN (a cura di). *Modern and Ancient Fluvial Systems*, IAS, pp. 169-180.

- CICOGNA A., 2008. *Andamento meteorologico 2008 in Friuli Venezia Giulia*. OSMER, Osservatorio Meteorologico Regionale, ARPA FVG.
- CNR-IRSA – ISTITUTO DI RICERCA SULLE ACQUE, 2010. *Progetto LIFE-INHABITAT*. Consultabile su: [www.life-inhabitat.it](http://www.life-inhabitat.it)
- COMMISSIONE EUROPEA, 2000. *Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*. Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea N. L327 del 22/12/2000, 71 pp.
- CUCCHI F., 2009. *Geologia e geomorfologia della Regione*. In: CUCCHI F., FINOCCHIARO F., MUSCIO G. (a cura di). *Geositi del Friuli Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, pp. 13-27.
- CUCCHI F., GIORGETTI F., GEMITI F., MASSARI G., OBERTI S., 1999. *Caratterizzazione geochimica delle falde acquifere della pianura friulana*. Atti della giornata mondiale dell'acqua. "Acque sotterranee: Risorsa invisibile". Roma, 23 marzo 1998, pubbl. CNR – GNDCI n°1955.
- CUCCHI F., MASSARI G., OBERTI S., 2000. *Il chimismo delle falde freatiche e artesiane della pianura friulana*. Atti del Museo Carsico Geologico e Paleontologico di Monfalcone, quaderno 7, 1999, pp. 1-35.
- CUCCHI F., ZINI L., MARTINI F., BOSCHIN W., CASAGRANDE G., GRILLO B., ROSSI A., ZAVAGNO E., 2010. *Paesaggi carsici del Friuli Venezia Giulia*. Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, 112 pp.
- DALLAFIOR V., BERTOLASO M., GHETTI P.F., MINCIARDI M.R., MONAUNI C., NEGRI P., ROSSI G.L., SILIGARDI M., 2011. *Valutazione della funzionalità fluviale potenziale e calcolo della funzionalità relativa: un approccio per i tratti a funzionalità naturalmente limitata*. *Biologia ambientale* 25, pp. 3-14.

- DE ROVERE A., 1992. *Modelli idrologici applicati allo studio delle piene del Torrente Torre*. Tesi di laurea in Ingegneria Civile per la difesa del suolo e la pianificazione territoriale. Università degli Studi di Udine.
- DISTRETTO IDROGRAFICO DELL'APPENNINO MERIDIONALE, 2010. *Identificazione dei corpi idrici a rischio e programma di monitoraggio*. Allegato 13 al Piano di gestione acque febbraio 2010.
- EGOZI R. & ASHMORE P., 2008. *Defining and measuring braiding intensity*. Earth surface processes and landforms, 33, pp. 2121-2138.
- FAVRIN G., STOCCA V., MATTASSI G., 2013. *Deflusso minimo vitale: il caso del Friuli Venezia Giulia*. ARPA FVG. Presentazione al Workshop "Dal DMV al flusso ecologico: stato dell'arte nel distretto padano ed esigenze future di rilevanza europea". Parma 27 giugno 2013.
- FAZZINI M., LANZARONE D., ROMEO V., GADDO M., BILLI P., 2005. *Inverno 2005: nevicate eccezionali sull'Italia centrale*. Neve e valanghe 55.
- FERUGLIO E., 1925. *La zona delle risorgive tra il basso Friuli tra il Tagliamento e il Torre*. Annali della stazione Chimica Agraria Sperimentale di Udine.
- FIORENZA A., 2010. *Caratterizzazione delle macrofite acquatiche degli ecosistemi fluviali per l'applicazione della direttiva 2000/60/CE. Caso studio in due idroecoregioni del Piemonte*. Tesi di Laurea- AA 2009/2010. Università degli Studi di Torino, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali.
- FONTANA A., 2006. *Evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e le sue relazioni con le dinamiche insediative antiche*. Pubblicazione n°47, edizioni del Museo Friulano di Storia Naturale, Comune di Udine, 285 pp.
- FONTANA A., 2009. *Meandri abbandonati del Fiume Stella presso Titiano*. In: CUCCHI F., FINOCCHIARO F., MUSCIO G. (a cura di). Geositi del Friuli Venezia Giulia. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, pp. 288-289.
- FONTANA A., BONDESAN A., 2006. *Il Tagliamento nella bassa pianura, tra dossi e incisioni fluviali*. In: BIANCO F., BONDESAN A., PARONUZZI P., ZANETTI M.,

ZANFERRARI A. (a cura di). Il Tagliamento. Università di Udine, Circolo Menocchio, Cierre Edizioni, pp. 127-146.

- FONTANA A., MONEGATO G., ZAVAGNO E., DEVOTO S., BURLA I., CUCCHI F., 2014. *Evolution of an Alpine fluvio-glacial system at the LGM decay: the Cormor megafan (NE Italy)*. *Geomorphology* 204, pp. 136-153.
- FONTANA A., MOZZI P., BONDESAN A., 2004. *Inquadramento geomorfologico ed evoluzione del territorio*. In: BONDESAN A., MENEGHEL M. (a cura di). *Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrativa della Carta geomorfologica della provincia di Venezia*. Esedra editrice, pp. 111-190.
- GEDDES A., 1960. *The alluvial fan morphology of the Indo-Gangetic plains*. *Transactions of the Institute of British geographers* 28, pp. 253-277.
- GERBORE J., 2010. *Waterlab, sviluppo di un sistema per la gestione dei dati ambientali relativi alle acque*. Tesi di Laurea Magistrale. POLITECNICO DI TORINO, III Facoltà di Ingegneria dell'Informazione, corso di Laurea in Ingegneria Informatica.
- GHETTI P.F., 1997. *Manuale di Applicazione: Indice Biotico Esteso – I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti*. Provincia Autonoma di Trento, Servizio Protezione Ambiente.
- GHETTI P.F., 2001. *Manuale di applicazione – Indice Biotico Esteso (I.B.E.). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti*. Provincia Autonoma di Trento, APPA Trento, 222 pp.
- GOHAIN K. & PARKASH B., 1990. *Morphology of the Kosi megafan*. In: RACHOKI A.H., CHURCH M. (a cura di). *Alluvial fans – A field approach*. Chichester, Wiley, pp. 151-178.
- ISPRA – ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICRECA AMBIENTALE, 2012. *Annuario dei dati ambientali*.

- ISPRA – ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICRECA AMBIENTALE, 2013. *Procedura per l'identificazione dei corpi idrici fortemente modificati*. Bozza, Aprile 2013.
- ISSN – ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ, 2009. *Metodo per la valutazione dello stato ecologico delle acque correnti: comunità diatomiche*. Rapporti ISTISAN 09/19.
- JÄHNIG S.C., BRABEC K., BUFFAGNI A., ERBA S., LORENZ A.W., OFENBÖCK T., VERDONSCHOT P.F.M., HERING D., 2010. *A comparative analysis of restoration measures and their effects on hydromorphology and benthic invertebrates in 26 central and southern European rivers*. *Journal of applied ecology* 47, pp. 671-680.
- KELLERHALS R., CHURCH M., BRAY D.I., 1976. *Classification and analysis of river processes*. *Journal Hydraulic. Div., ASCE*, 102. No.HY7.
- KELLY S.B. & HOLSEN H.O., 1993. *Terminal fans – a review with reference to Devonian examples*. *Sedimentary Geology* 85, pp. 339-374.
- KONDOLF G.M., 1994. *Geomorphic and environmental effects in instream gravel mining*. *Landscape and urban planning* 25, pp. 225-248.
- LEOPOLD L.B. & WOLMAN M.G., 1957. *River channel patterns: braided, meandering and straight*. *US Geological Survey*, 282-B, pp. 39-85.
- LORENZI A., 1914. *Studi sui tipi antropogeografici della pianura padana*. *Rivista Geologica Italiana*, pp. 524-530.
- MADSEN J.D., CHAMBERS P.A., JAMES W.F., KOCH E.W., WESTLAKE D.F., 2001. *The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes*. *Hydrobiologia* 444, pp. 71-84.
- MAIOLINI B. & LENCINI V., 2001. *La fauna a invertebrati*. In: STOCH F. (a cura di). *I torrenti montani. La vita nelle acque correnti*. Quaderni habitat n°5. Ministero dell'ambiente, Museo Friulano di Storia Naturale, Comune di Udine, 157 pp.

- MARCHETTI M., PANIZZA M., 2001. *Idrogeologia*. In: STOCH F. (a cura di). Torrenti montani. Quaderni habitat n°5. Ministero dell'ambiente, Museo Friulano di Storia Naturale, Comune di Udine, 159 pp.
- MARTINI F., 1989. *La vegetazione*. In: CALZAVARA M. E TURCO E. (a cura di). Lo Stella e il suo parco. Roberto Vattori editore, Udine, pp. 55-86.
- MARTINIS B., 1971. *Geologia e geomorfologia*. Enciclopedia monografica del Friuli Venezia Giulia Vol. 1, Il paese. Istituto per l'Enciclopedia del Friuli Venezia Giulia, pp. 85-190.
- MARTINIS B., 1971. *Geologia generale e geomorfologia*. Enciclopedia monografica del Friuli Venezia Giulia. Vol. 1, Il paese. Istituto per l'Enciclopedia del Friuli Venezia Giulia, pp. 85-190.
- MATTASSI G., 2011. *La qualità delle acque correnti superficiali nell'idroecoregione delle prealpi-dolomiti del Friuli Venezia Giulia*. ARPA FVG. Presentazione al Convegno Energie rinnovabili e sviluppo sostenibile nelle Alpi. Trento 27 gennaio 2011.
- MINCIARDI M. R., SPADA C. D., ROSSI G. L., ANGIUS R., ORRÙ G., MANCINI L., PACE G., MARCHEGGIANI S., PUCCINELLI C., 2009. *Metodo per la valutazione e classificazione dei corsi d'acqua utilizzando la comunità delle macrofite acquatiche*. RT/2009/23/ENEA, 35 pp.
- MINCIARDI M.R., AZZOLLINI R., SPADA C.D., 2010. *Le macrofite acquatiche come comunità bioindicatrice negli ambienti fluviali del bacino padano: ricerche pregresse, prospettive di utilizzo e necessità conoscitive*. Atti del XVIII Convegno Nazionale S.It.E. "Ecologia, Emergenza, Pianificazione", Parma 1-3 Settembre 2008. *Biologia Ambientale* 24 (1), 10 pp.
- MINCIARDI M.R., ROSSI G.L., AZZOLLINI R., BETTA G., 2003. *Linee guida per il biomonitoraggio di corsi d'acqua in ambiente alpino*. ENEA, Provincia di Torino, Torino: 64 pp.

- MINISTERO DELL'AMBIENTE, 2010. *Decreto Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 8 novembre 2010, n. 260. Regolamento recante «Criteri tecnici per la classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici superficiali per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo»*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 190 pp.
- MINISTERO DELL'AMBIENTE, 2011. *Supplemento ordinario n°31/L alla Gazzetta Ufficiale*.
- MONTGOMERY D.R., BUFFINGTON J.M., 1997. *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*. Geological Society of America Bulletin, 109 (5), pp. 596-611.
- MOSETTI F., 1983. *Sintesi sull'idrologia del Friuli Venezia Giulia*. Quaderni ETP, Ente Tutela Pesca del Friuli Venezia Giulia, 295 pp.
- MUSCIO G., 2001. Aspetti geologici e geomorfologici. In: MINELLI A. (a cura di). *Risorgive e fontanili*. Quaderni habitat n°2. Ministero dell'ambiente, Museo Friulano di Storia Naturale, Comune di Udine, 157 pp.
- NARDINI A., SANSONI G., SCHIPANI I., CONTE G., GOLTARA A., BOZ B., BIZZI S., POLAZZO A., MONACI M. *Problemi e limiti della Direttiva Quadro sulle Acque . Una proposta integrativa: FLEA (Fluvial Ecosystem Assessment)*. Biologia Ambientale 22, pp. 3-18.
- NEGRISIN C. & STEFANINI E., 1971. *Descrizione delle acque della regione*. Enciclopedia monografica del Friuli Venezia Giulia. Vol. 1, Il paese. Istituto per l'Enciclopedia del Friuli Venezia Giulia, pp. 357-426.
- NOVELLI G., 1990. *Le risorgive del Friuli-Venezia Giulia un patrimonio da conoscere e proteggere*. Ente Tutela Pesca del F.V.G., Laboratorio di Idrobiologia, Tip. Pellegrini, R.A.F.-V.G., Udine, 59 pp.

- POLDINI L., ORIOLO G., VIDALI M., TOMASELLA M., STOCH F., OREL G., 2006. *Manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia. Strumento a supporto della valutazione d'impatto ambientale (VIA), ambientale strategica (VAS) e d'incidenza ecologica (VIEc)*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione Centrale ambiente e lavori pubblici, Servizio valutazione impatto ambientale, Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Biologia.
- POLLI S., 1971. *Il clima della regione*. Enciclopedia monografica del Friuli Venezia Giulia. Vol. 1, Il paese. Istituto per l'Enciclopedia del Friuli Venezia Giulia, pp. 443-484.
- PROVINCIA DI UDINE, 2003. *La carta della vulnerabilità intrinseca delle falde contenute nelle aree di pianura della provincia di Udine*. Relazione generale.
- PROVINCIA DI UDINE, 2003. *La carta della vulnerabilità intrinseca delle falde contenute nelle aree di pianura della provincia di Udine*. Area ambiente, Relazione tecnica generale. Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, Università degli Studi di Trieste.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 2006. *Bilancio idrologico*. Allegato 1 alla relazione idrologica. Piano regionale tutela acque.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 2011. *Aree naturali protette del Friuli Venezia Giulia*. Direzione centrale risorse agricole, naturali e forestali. Udine.
- REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA, 2012. *Individuazione dei corpi idrici*. Allegato alla delibera n°2000 del 15 novembre 2012, Relazione conoscitiva del Piano regionale tutela acque, 26 pp.
- RINALDI M., 2003. *Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28 (6), pp. 587-608.
- RINALDI M., SURIAN N., COMITI F., BUSSETTINI M., 2010. *Sistema di Valutazione Morfologica dei corsi d'acqua – Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed*

*il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, 191 pp. ISBN: 978-88-448-0438-1.

- RINALDI M., SURIAN N., COMITI F., BUSSETTINI 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.
- RINALDI M., SURIAN N., COMITI F., BUSSETTINI M., non ancora pubblicato. *Guida alle risposte, Indice di Qualità Morfologica*. Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua. Versione 2, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.
- RINALDI M., TERUGGI L., SIMONCINI C., NARDI L., 2009. *Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio appenninici (Italia centro-settentrionale)*. Il Quaternario 21(1B), pp. 291-302.
- RINALDI M., WYZGA B., SURIAN N., 2005. *Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives*. River research and application 21, pp. 805-828.
- ROSGEN D.L., 1994. *A classification of natural rivers*. Catena, vol. 22, pp. 169-199.
- SANDIN L., 2009. *The effects of catchment land-use, near-stream vegetation, and river hydromorphology on benthic macroinvertebrate communities in a south-Swedish catchment*. Fundamental and applied limnology 174, pp. 75-87.
- SCHUMM S.A., 1977. *The fluvial system*. Wiley, New York, 338 pp.
- SEAR D., NEWSON M.D., THORNE C.R., 2004. *Guidebook of applied fluvial geomorphology*. R&D technician report FD1914. Defra/Environment Agency, Flood and Coastal Defence R&D Programme.
- SESTINI A., 1963. *Il paesaggio*. Conosci L'Italia. Touring Club italiano. VII, Milano.

- SIARDI E. & VOLPI G., 2010. *Progetto ST.A.R. Conservazione valorizzazione dei boschi di frassino e ontano nero sulle rive dello Stella*. Relazione tecnico scientifica, Comune di Rivignano (UD) per il progetto LIFE07 NAT/IT/0498, 66 pp.
- SINGH I.B., 2001. *Late quaternary evolution of Ganga Plan and proxy records of climate change, neotectonics and anthropogenic activity*. Pragdhara, Journal of teh U.P. State (India) Archeological Departement 12, pp. 1-25.
- SKERT N. & ZANELLO A., 2012. *Qualità delle acque superficiali interne*. In: Rapporto sullo stato dell'ambiente 2012 - Tematiche ambientali in primo piano nel Friuli Venezia Giulia. APRA FVG.
- STEFANUTO L., 2003. *Il clima del Friuli Venezia Giulia*. OSMER, Osservatorio Meteorologico Regionale, ARPA FVG, 23 pp.
- SURIAN N. & RINALDI M., 2003. *Morphological response to river engineering and management in alluvial chnannels in Italy*. Geomorphology 50, pp. 307-326.
- SURIAN N. & RINALDI M., 2004. *Channel adjustments in response to human alteration of sediment fluxes: examples of Italian rivers*. In: GOLOSOV V., BELYAEV V., WALLING D.E. (a cura di). Sediment transef through the fluvial system. IAHS Publication 288, pp. 276-282.
- SURIAN N., 2003. *Impatto antropico sulla dinamica recente del fiume Piave (Alpi Orientali)*. In: BIANCOTTI A., MOTTA M. (a cura di). Risposta dei processi geomorfologici alle variazioni ambientali. MIUR, Glauco Brigati, Genova, pp. 425-440.
- SURIAN N., 2006. *Effects of human impact on braided river morphology: examples from nothern Italy*. In: SAMBROOK SMITH G.H., BEST J.L., BRISTOW C., PETTS G.E (a cura di). Braided Rivers, IAS special publication 36, Blackwell Science, pp. 327-338.
- SURIAN N., PASQUALINI D., TUNIS G., 2009. *La dinamica dell'alveo del torrente Torre negli ultimi 200 anni*. Memorie della Società Geografica Italiana 87, pp. 415-426.

- SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., 2009. *Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*. Cleup, Padova, 80 pp., ISBN: 9788861294998.
- SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., AUDISIO C., MARAGA F., TERUGGI L., TURITTO O. & ZILIANI L., 2009. *Channel adjustments in northern and central Italy over the last 200 years*. The geological society of America 451, pp. 83-95.
- SURIAN N., ZILIANI L., CIBIEN L., CISOTTO A., BARUFFI F., 2008. *Variazioni morfologiche degli alvei dei principali corsi d'acqua veneto-friulani negli ultimi 200 anni*. Il Quaternario, 21(1B), pp. 279-290.
- THORNE C.R., 1997. *Channel types and morphological classification*. In: THORNE C.R., HEY R.D., NEWSON M.D. (a cura di). Applied Fluvial Geomorphology for River and Engineering Management, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 133 pp.
- TIRELLI R., 2009. *Originalità ed evoluzione del paesaggio naturale friulano fra le sorgive e le lagune*. In FANTIN E. (a cura di), Paesaggio naturale e paesaggio umano nella bassa friulana. Editrice La Bassa, Udine, pp. 75-125.
- TUBARO P., 2004. *Le acque superficiali dell'alta pianura: le Lavie*. Progetto Intergrato Cultura del Medio Friuli. Scheda 3.1.10., 2 pp.
- VALUSSI A., 1971. *L'ambiente geografico generale*. Enciclopedia monografica del Friuli Venezia Giulia. Vol. 1, Il paese. Istituto per l'Enciclopedia del Friuli Venezia Giulia, pp. 41-84.
- VENETO AGRICOLTURA, 2001. *I suoli dell'area a DOC di Lison-Pramaggiore, scala 1:25.000*. 180 pp.
- VENTURINI C., 2003. *Il Friuli nel Quaternario. Evoluzione del territorio*. In: MUSCIO G. (a cura di). Glaciers, l'età dei ghiacci in Friuli, ambienti, climi e vita negli ultimi 100.000 anni. Catalogo della mostra, Museo Friulano di Storia Naturale, Comune di Udine.

- VENTURINI C., 2009. *Introduzione ai geositi della Regione*. In: CUCCHI F., FINOCCHIARO F., MUSCIO G. (a cura di). *Geositi del Friuli Venezia Giulia*. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, pp. 11-12.
- WARD J.V., TOCKNER K., UEHLINGER U., MALARD F., 2001. *Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration*. *Regulated Rivers: Research and Management* 17, pp. 311-323.
- WASSON J.G., GARCIA BAUTISTA A., CHANDESIRIS H., ARMANINI D., BUFFAGNI A., 2006. *Approccio dell'Idro-Ecoregioni Europee e tipologia fluviale in Francia per la Direttiva Quadro sulle Acque (EC 2000/60)*. *Notiziario dei metodi analitici IRSA*, Dicembre 2006, pp. 20-38.
- WOHL E.E., 2000. *Mountain rivers*. American Geophysical Union, Washington DC, 320 pp.
- ZERUNIAN S., GOLTARA A., SCHIPANI I., BOZ B., 2009. *Adeguamento dell'Indice Ecologico delle Comunità Ittiche alla Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE*. *Biologia ambientale* 23 (2), pp. 15-30.
- ZINI L., 2010. *Il Carso classico*. IN: CUCCHI F., ZINI L., MARTINI F., BOSCHIN W., CASAGRANDE G., GRILLO B., ROSSI A., ZAVAGNO E. *Paesaggi carsici del Friuli Venezia Giulia*. Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, pp. 103-112.
- ZINI L., CALLIGARIS C., TREU F., IERVOLINO D., LIPPI F., CIMOLINO A., MEREU A., BARISON E., ZAVAGNO E., 2011. *Risorse idriche sotterranee del Friuli Venezia Giulia: sostenibilità dell'attuale utilizzo*. Università degli studi di Trieste, Dipartimento di Geoscienze, 89 pp.