

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali**

Corso di Laurea in Tutela e Riassetto del Territorio

**TESI DI LAUREA**

**APPLICAZIONE DELL'INDICE DI QUALITÀ MORFOLOGICA (IQM) A TREDICI  
TRATTI DEI TORRENTI FIORENTINA E CORDEVOLE**

**APPLICATION OF THE MORPHOLOGICAL QUALITY INDEX (IQM) IN THIRTEEN  
REACHES OF FIORENTINA AND CORDEVOLE RIVERS**

Relatore

Prof. Mario Aristide LENZI

Correlatore

Dott. Emanuel RIGON

Laureando:

Matteo LOREGGIAN

Matricola 541100

Anno Accademico 2012 / 2013



# INDICE GENERALE

RIASSUNTO .....	2
ABSTRACT .....	2
INTRODUZIONE E OBIETTIVI .....	3
1. CONCETTI DI BASE DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE .....	5
1.1 Il sistema fluviale e la connettività dei processi.....	5
1.2 Tipologie morfologiche degli alvei fluviali.....	8
1.3 Variazioni morfologiche degli alvei fluviali.....	10
1.4 Principali termini utilizzati in geomorfologia fluviale.....	12
2. IDRAIM: STORIA E INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA.....	15
3. STRUTTURA METODOLOGICA.....	21
3.1 Concetto di stato di riferimento.....	21
3.2 Metodologie di analisi.....	22
3.2.1 Campi di applicazione.....	22
3.3 Scale spaziali e temporali.....	23
3.4 Aspetti trattati e suddivisione in fasi.....	26
4. FASI DI APPLICAZIONE.....	31
4.1 Fase 1, inquadramento e suddivisione del corso d'acqua in tratti.....	31
4.1.1 Definizione della Tipologia fluviale.....	39
4.2 Fase 2, valutazione dello stato attuale.....	43
4.2.1 Classificazione dello stato morfologico attuale.....	43
4.2.2 Compilazione delle schede.....	46

4.3 Fase 3: monitoraggio morfologico.....	54
<b>5. PRECEDENTI ESPERIENZE DI APPLICAZIONE DELL'IQM.....</b>	<b>55</b>
<b>6. DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO .....</b>	<b>57</b>
6.1. Inquadramento generale.....	57
6.1.1. Inquadramento geografico. Il bacino del Cordevole.....	57
6.1.2. Cenni storici.....	62
6.1.3. Dissesti idrogeologici importanti.....	64
6.2. Bacini analizzati.....	67
6.2.1. Il sottobacino del Fiorentina.....	67
6.2.2. Il bacino del Cordevole da Caprile a Sala di Alleghe.....	69
<b>7. MATERIALI E METODI UTILIZZATI PER L'APPLICAZIONE DELL'IQM.....</b>	<b>73</b>
7.1 Materiali.....	73
7.1.1 Raccolta di materiale GIS e telerilevato.....	73
7.1.2 Schede di valutazione.....	74
7.2 Metodi.....	74
7.2.1 Elaborazioni tramite GIS.....	74
7.2.2 Valutazione dello stato attuale.....	77
<b>8. RISULTATI .....</b>	<b>79</b>
8.1 Campagna di rilievi sul bacino del Fiorentina.....	79
8.2 Campagna di rilievi sul bacino del Cordevole.....	88
<b>9. DISCUSSIONE.....</b>	<b>95</b>
9.1 Analisi generale dell'IQM: panoramica di tutti i tratti valutati.....	95

11.2 Pro e contro di questo metodo.....	111
12 . CONCLUSIONI .....	113
13. BIBLIOGRAFIA.....	115

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1.1: Il corso d'acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti.....</i>	5
<i>Figura 1.2: Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico ..</i>	6
<i>Figura 1.3: Grado di confinamento e dimensioni dei corsi d'acqua nelle diverse zone del bacino .....</i>	7
<i>Figura 1.4: Classificazione dei corsi d'acqua montani secondo MONTGOMERY &amp; BUFFINGTON (1997) e classificazione delle morfologie fluviali secondo CHURCH (1992).....</i>	9
<i>Figura 1.5: Classificazione delle morfologie fluviali secondo ROSGEN (1994).....</i>	9
<i>Figura 1.6: Morfologie fluviali e relazioni con i principali parametri di controllo.....</i>	10
<i>Figura 3.1: Schema delle aree spaziali e degli aspetti considerati .....</i>	23
<i>Figura 3.2: Schema dei rapporti tra scale temporali e scale spaziali di indagine.....</i>	25
<i>Figura 3.3: Schematizzazione a blocchi della struttura metodologica.....</i>	28
<i>Figura 4.1: suddivisione della FASE 1 in STEP.....</i>	31
<i>Figura 4.2: Criteri di classificazione morfologica .....</i>	35
<i>Figura 4.3: Schema delle morfologie fluviali e dei relativi campi di variabilità degli indici.....</i>	37
<i>Figura 4.4: Suddivisione in STEP della fase di classificazione dello stato morfologico attuale .....</i>	44
<i>Figura 6.1: Bacino idrografico del torrente Cordevole.....</i>	57
<i>Figura 6.2: Alleghe ed il lago omonimo.....</i>	58
<i>Figura 6.3: DEM del bacino del Cordevole chiuso alla confluenza con il ponte di Sala di Alleghe....</i>	59

<i>Figura 6.4. curva ipsografica delle quote del bacino del Cordevole.....</i>	60
<i>Figura 6.5. curva ipsometrica adimensionale del bacino del Cordevole.....</i>	60
<i>Figura 6.6; carta delle pendenze.....</i>	61
<i>Figura 6.7. carta delle esposizioni del bacino.....</i>	62
<i>Figura 6.8. Caprile dopo l'alluvione del 1966.....</i>	66
<i>Figura 6.9. Caprile dopo l'alluvione del 1966.....</i>	66
<i>Figura 6.10. delimitazione del sottobacino del Fiorentina.....</i>	67
<i>Figura 6.11. Selva di Cadore e val Fiorentina all'inizio del XX secolo.....</i>	69
<i>Figura 6.12. Selva di Cadore e val Fiorentina ai giorni nostri.....</i>	69
<i>Figura 6.13. Caprile all'inizio del XX secolo.....</i>	70
<i>Figura 6.14. Caprile ai giorni nostri.....</i>	70
<i>Figura 6.15; delimitazione del sottobacino del Cordevole da Caprile al ponte di Sala di Alleghe.....</i>	70
<i>Figura 6.16: il Cordevole a valle di Caprile.....</i>	71
<i>Figura 6.17. Opera di difesa trasversale al confine tra il Cordevole ed il lago di Alleghe.....</i>	71
<i>Figura 6.18: Tratto del Cordevole a valle del ponte di Masarè.....</i>	72
<i>Figura 8.1: tratti analizzati nella campagna di rilievi sul bacino del Fiorentina.....</i>	78
<i>Figura 8.2: foto aerea del tratto <b>50501</b> e foto che indica le caratteristiche principali del tratto.....</i>	79
<i>Figura 8.3: foto aerea del tratto <b>50502</b> e foto che indica le caratteristiche principali del tratto.....</i>	80
<i>Figura 8.4: foto aerea del tratto <b>50503</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto.....</i>	81
<i>Figura 8.5: foto aerea del tratto <b>50504</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto.....</i>	82
<i>Figura 8.6: foto aerea del tratto <b>40501</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto.....</i>	83
<i>Figura 8.7: foto aerea del tratto <b>40503</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto....</i>	84
<i>Figura 8.8: foto aerea del tratto <b>40504</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto.....</i>	85
<i>Figura 8.9: foto aerea del tratto <b>40505</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto.....</i>	86
<i>Figura 8.10: tratti analizzati nella campagna di rilievi sul bacino del Cordevole.....</i>	87
<i>Figura 8.11: foto aerea del tratto <b>60133</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto..</i>	88
<i>Figura 8.12: foto aerea del tratto <b>60134</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto..</i>	89
<i>Figura 8.13: foto aerea del tratto <b>60135</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto..</i>	90
<i>Figura 8.14: foto aerea del tratto <b>60136</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto..</i>	91

<i>Figura 8.15: foto aerea del tratto <b>60137</b> e foto che indicano le caratteristiche principali del tratto..</i>	92
<i>Figura 9.1: istogramma delle risposte inerenti alla funzionalità.....</i>	93
<i>Figura 9.2: istogramma delle risposte inerenti all'artificialità.....</i>	106

## INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 3.1. Valutazione dello stato morfologico dei corsi d'acqua.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabella 4.1. Unità fisiografiche principali riguardanti la nostra area di studio.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabella 4.2. Differenze tra morfologie fluviali in termini di indici di sinuosità, intrecciamento e anastomizzazione.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabella 4.3. Tipologie fluviali derivanti dalla combinazione di confinamento e morfologia.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabella 4.4. Lista degli indicatori e relativi campi di applicazione.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabella 4.5. Punteggi relativi agli indicatori di funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabella 4.6. Riepilogo dei massimi punteggi per le principali tipologie.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabella 4.7. Classi di qualità morfologica.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabella 6.1. principali parametri morfometrici del bacino del Fiorentina.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabella 8.1. riepilogo dei punteggi per il tratto 50501.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabella 8.2. riepilogo dei punteggi per il tratto 50502.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabella 8.3. riepilogo dei punteggi per il tratto 50503.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabella 8.4. riepilogo dei punteggi per il tratto 50504.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabella 8.5. riepilogo dei punteggi per il tratto 40501.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabella 8.6. riepilogo dei punteggi del tratto 40503.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabella 8.7. riepilogo dei punteggi per il tratto 40504.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabella 8.8. riepilogo dei punteggi per il tratto 40505.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabella 8.9. riepilogo dei punteggi per il tratto 60133.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabella 8.10. riepilogo dei punteggi per il tratto 60134.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabella 8.11. riepilogo dei punteggi per il tratto 60135.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabella 8.12. riepilogo dei punteggi per il tratto 60136.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabella 8.13. riepilogo dei punteggi per il tratto 60137.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabella 9.1. panoramica dei punteggi dei tratti, inerenti alla FUNZIONALITÀ.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabella 9.2. panoramica dei punteggi dei tratti, inerenti all' ARTIFICIALITÀ.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabella 9.3. panoramica dei punteggi dei tratti, inerenti alle VARIAZIONI MORFOLOGICHE.....</i>	<i>108</i>



## **RIASSUNTO**

In questa tesi è stato applicato l'indice di qualità morfologica (IQM) a tredici tratti dei torrenti Cordevole (principale affluente del fiume Piave) e Fiorentina, entrambi collocati in zona montana. Nella prima fase è stata eseguita una suddivisione in tratti secondo la metodologia prevista dal protocollo di applicazione. Queste operazioni, eseguite su supporto geografico informatizzato (GIS) hanno permesso anche una prima valutazione di diversi indicatori anche grazie all'utilizzo delle ortofoto, della carta geologica e del catasto delle opere di sistemazione idraulico-forestale. Nella fase di campagna sono state applicate le schede di valutazione IQM, attraverso cui è stato calcolato lo scostamento dei tratti analizzati dalle condizioni di riferimento. I risultati evidenziano che in linea generale i tratti analizzati hanno una discreta qualità morfologica anche se vi sono dei casi particolari. Riassumendo risultano 2 tratti con qualità ELEVATA, 2 di qualità BUONA, 8 di qualità MODERATA e un solo tratto di qualità SCADENTE.

## **ABSTRACT**

In this thesis we have applied the morphological quality index (IQM) to thirteen stream reaches in rio Cordevole (main tributary of the river Piave) and Fiorentina, both situated in a mountainous area. In the first step was performed a division into sections according to the methodology provided by the application protocol. These operations, carried out on computerized support geographic (GIS) has allowed a pre-evaluation of various indicators thanks to the use of orthophotos, geological map and land register of the works of hydraulic-forestry. In the phase of field survey have been applied the IQM protocol sheets, through which was calculated the deviation of the reaches analyzed from the reference conditions. The results show a general moderate morphological quality even if there are some varies cases. Summarizing have 2 sections with HIGH quality, 2 GOOD quality, 8 MODERATE quality and a single reaches of POOR quality.

## INTRODUZIONE E OBIETTIVI

In questo lavoro viene presentato ed applicato un nuovo indice di valutazione della qualità idromorfologica dei corsi d'acqua. Tale indice costituisce un quadro metodologico complessivo di analisi, valutazione post-monitoraggio e di definizione delle misure di mitigazione degli impatti ai fini della pianificazione integrata prevista dalla Direttiva "Alluvioni" 2007/60/CE relativa alla gestione dei rischi di alluvione e dalla Direttiva Quadro Europea "Acque" (Water Framework Directive o WFD: EUROPEAN COMMISSION, 2000), la quale introduce gli aspetti idromorfologici come elementi da valutare, oltre a quelli chimico-fisici relativi alla qualità dell'acqua e agli aspetti biologici, per giungere ad una classificazione dello stato ecologico dei corsi d'acqua.

Questa metodologia ha dettato le linee guida per quanto riguarda lo svolgimento della presente tesi, che ha lo scopo di estendere e testare l'applicazione di questo nuovo indice.

L'IDRAIM tiene conto in maniera integrata di obiettivi di qualità ambientale e di mitigazione dei rischi legati ai processi di dinamica fluviale, e si pone quindi come sistema atto al supporto della gestione dei corsi d'acqua e dei suoi processi geomorfologici.

La procedura dell'IDRAIM prevede l'uso, in parallelo, di due indici usati al fine della valutazione: il primo è l'Indice di Alterazione del Regime Idrologico (IARI), che valuta il corso d'acqua seguendo la Direttiva "Alluvioni"; il secondo dei due indici, quello analizzato ed applicato in questo studio, è l'Indice di Qualità Morfologica (IQM), il quale segue la sopracitata Direttiva Quadro Europea "Acque". Lo scopo di questa direttiva è di istituire un quadro per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, delle acque costiere e sotterranee: a) impedendone un ulteriore deterioramento e quindi proteggendo e migliorando lo stato degli ecosistemi acquatici e terrestri sotto il profilo del fabbisogno idrico; b) agevolando un utilizzo sostenibile delle risorse idriche; c) proteggendo e migliorando l'ambiente acquatico attraverso misure specifiche per la graduale riduzione degli scarichi, delle emissioni e delle perdite di sostanze nocive; d) assicurando la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e impedendone l'aumento, contribuendo a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

In questo elaborato di tesi è stato applicato l'Indice di Qualità Morfologica (IQM) a tredici tratti dei torrenti Fiorentina e Cordevole, collocati in ambito montano, situati nei comuni di Alleghe e Selva di Cadore, entrambi in provincia di Belluno, e prevede l'analisi di segmenti di quarto, quinto e sesto ordine (classificazione di Horton-Strahler). L'obiettivo è di poter dare un giudizio tecnico su questi tratti, per evidenziare le condizioni che corsi d'acqua presentano attualmente, tramite l'applicazione di un nuovo sistema atto a valutare lo stato di qualità morfologica ed ecologica dei corpi idrici correnti superficiali, l'IDRAIM (Sistema di Valutazione Idromorfologica E Monitoraggio Dei Corsi D'Acqua).

# 1. CONCETTI DI BASE DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE

La Geomorfologia Fluviale 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).

## 1.1 Il sistema fluviale e la connettività dei processi.

Il sistema fluviale che fa parte di un bacino idrografico può essere idealmente suddiviso in tre zone secondo lo schema proposto da SCHUMM (1977):

- 1) la zona 1 rappresenta la porzione alta del bacino, nella quale prevalgono i processi che determinano la *produzione di sedimenti* (erosione, frane);
- 2) la zona 2, caratterizzata prevalentemente dal *trasferimento di sedimenti* verso valle da parte dei corsi d’acqua principali del sistema;
- 3) la zona 3 costituisce la porzione più valliva del bacino idrografico e rappresenta l’area di prevalente *accumulo di sedimenti*. I corsi d’acqua convogliano sedimenti dalle zone sorgenti nelle porzioni alte del bacino, attraverso la zona di trasferimento, alle pianure alluvionali che rappresentano le zone di accumulo.

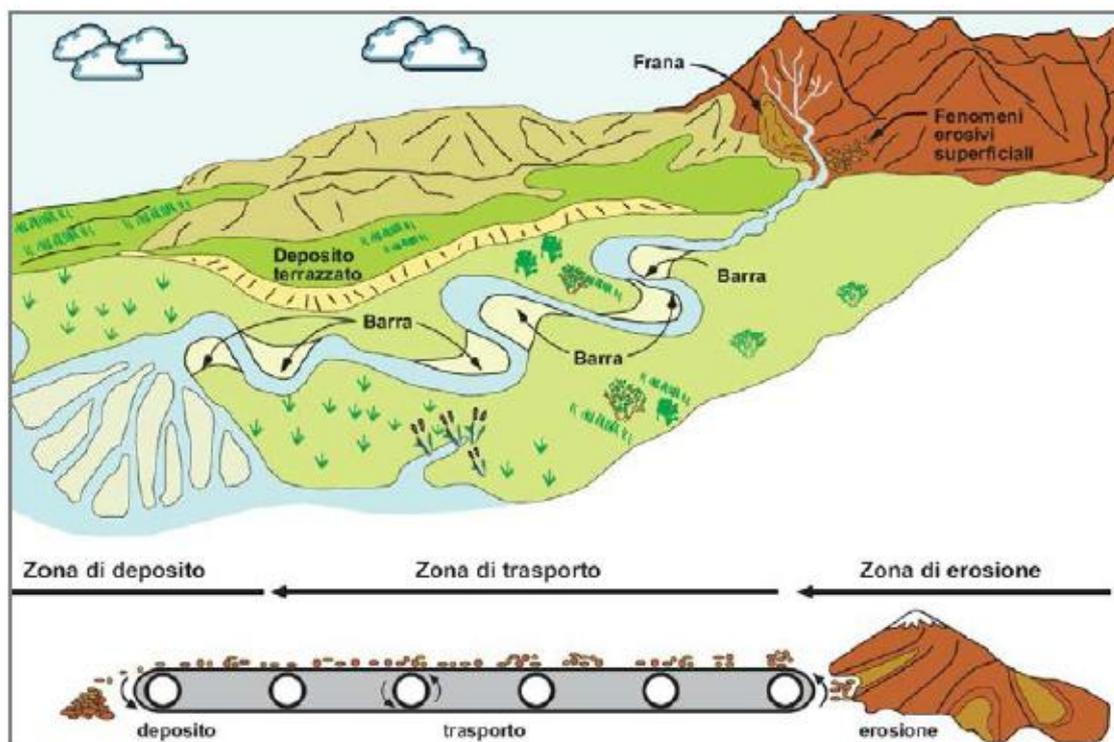
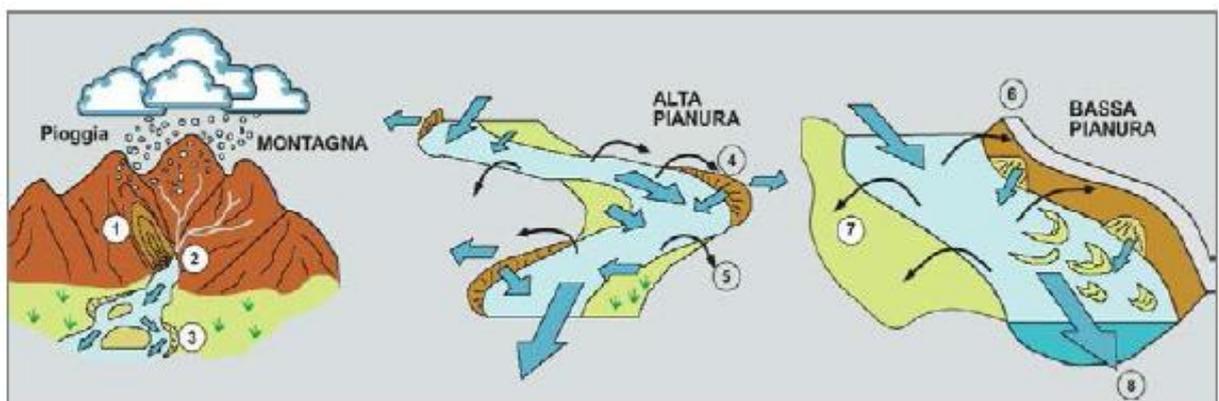


Figura 1.1: Il corso d’acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti.

Tale suddivisione riflette la prevalenza, in ognuna delle tre zone, di una delle tre principali categorie di processi: erosione (produzione di sedimenti), trasporto solido (trasferimento di sedimenti verso valle), sedimentazione (immagazzinamento di sedimenti). Secondo tale schema idealizzato, il corso d'acqua è paragonabile ad un nastro trasportatore: una sua funzione essenziale è quella di trasferire sedimenti dalle zone di origine (versanti) verso le zone di recapito finale del sistema (*Figura 1.1*).

Tuttavia le tre categorie di processi agiscono, in misura diversa, in ogni tratto del sistema fluviale, in particolar modo nei tratti in cui il corso d'acqua è di tipo alluvionale a fondo mobile, dove si realizzano continui scambi di sedimenti tra le sponde ed il fondo (*Figura 1.2*).



*Figura 1.2: Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico (Da AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008, modificato da SEAR et al., 2003). Zona montana di produzione di sedimenti: (1) frane; (2) alimentazione ed eventuale sbarramento da parte dei sedimenti in alveo; (3) sedimentazione in alveo ed erosione delle sponde. Zona di trasferimento di sedimenti (alta pianura): (4) erosione delle sponde ed accrezione delle barre; (5) costruzione delle sponde per tracimazione. Zona di accumulo di sedimenti (bassa pianura): (6) erosione delle sponde per movimenti di massa; (7) deposizione di sedimenti fini nella piana inondabile; (8) trasporto di wash load dei sedimenti fini al mare.*

La suddivisione del sistema in zone ed in processi dominanti riflette anche altre caratteristiche fisiche dei corsi d'acqua, quali il confinamento e le dimensioni. Infatti si possono distinguere tre situazioni in base al grado di confinamento dei corsi d'acqua (*Figura 1.3*):

- 1) nella zona collinare-montana prevalgono i corsi d'acqua confinati tra versanti;
- 2) nella zona pedemontana i corsi d'acqua sono prevalentemente semiconfinati;
- 3) una volta raggiunta la zona di deposizione prevalgono i corsi d'acqua non confinati in pianure alluvionali.

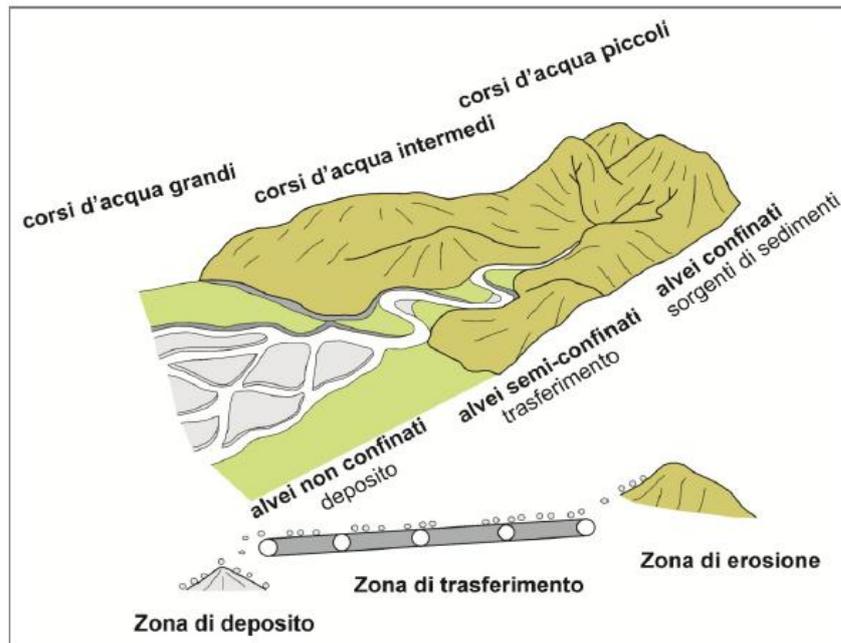


Figura 1.3: Grado di confinamento e dimensioni dei corsi d'acqua nelle diverse zone del bacino.

È tuttavia possibile un'alternanza di tratti non confinati e confinati laddove il corso d'acqua attraversa bacini compresi all'interno di catene montuose o rilievi collinari.

Per quanto riguarda le dimensioni dei corsi d'acqua, esse aumentano sistematicamente attraverso il sistema fluviale al crescere dell'area di drenaggio e quindi delle portate liquide. *CHURCH (1992)* propone uno schema di suddivisione degli alvei scalandone la larghezza rispetto al diametro medio dei sedimenti presenti sul fondo. In base a tale criterio, si possono distinguere:

- 1) *alvei di piccole dimensioni o corsi d'acqua piccoli (small channels)*, con il fondo costituito da materiale grossolano e larghezza compresa tra 1 e 10 volte circa le particelle presenti sul fondo;
- 2) *alvei di medie dimensioni o corsi d'acqua intermedi (intermediate channels)*, quando la larghezza dell'alveo è superiore a 10 volte le particelle presenti sul fondo, ma possono essere ancora influenzati da sbarramenti naturali di sedimenti o di tronchi che possono occupare una porzione significativa della loro sezione;
- 3) *alvei di grandi dimensioni o corsi d'acqua grandi (large channels)*, quando la larghezza è di gran lunga superiore (vari ordini di grandezza) rispetto alle dimensioni granulometriche dei sedimenti e non esistono vincoli laterali che condizionano la forma e le dimensioni della sezione.

L'efficienza dei processi di trasferimento di sedimenti verso valle dipende dalla connettività tra le diverse unità fisiografiche. Affinché ciò avvenga in maniera funzionale, deve esistere una *continuità longitudinale*, che esprime il fatto che siano attivi vari processi di scambio dalle zone di origine dei sedimenti al reticolo idrografico, e che tali sedimenti si muovano verso valle senza significative interruzioni (seppure siano possibili fenomeni di sbarramento dovuti a cause naturali quali frane che invadono l'alveo o affioramenti rocciosi).

Per il funzionamento dei processi ecologici, è importante non solo la continuità longitudinale dei flussi liquidi e solidi, ma anche i processi fisici che determinano la continuità laterale e verticale. Vari concetti in ecologia fluviale mettono in evidenza come la connettività ecologica è funzione della struttura fisica del corso d'acqua a differenti scale spaziali e temporali. La *continuità laterale* è determinata dall'esistenza di una fascia di pertinenza fluviale nella quale si esplicano periodicamente i processi di esondazione e di mobilità laterale del corso d'acqua, mentre la *continuità verticale* è determinata dal continuo scambio di acqua tra la falda ed il corso d'acqua all'interno della zona iporreica, che è sempre presente quando il fondo dell'alveo è costituito da sedimenti permeabili.

## **1.2 Tipologie morfologiche degli alvei fluviali.**

La classificazione degli alvei fluviali varia a seconda che il tratto considerato si trovi in montagna o in pianura, infatti se negli alvei della zona medio-alta del bacino idrografico prevalgono dimensioni ridotte, elevate pendenze, alto grado di confinamento e dimensioni dei sedimenti elevate, nei tratti di pianura le dimensioni aumentano le pendenze diventano estremamente basse ed i sedimenti sono di dimensioni ridotte. Per questo sono stati sviluppati diversi tipi di classificazione, in base a diversi parametri. Nelle *Figg. 1.4, 1.5, 1.6* se ne riportano alcuni esempi.

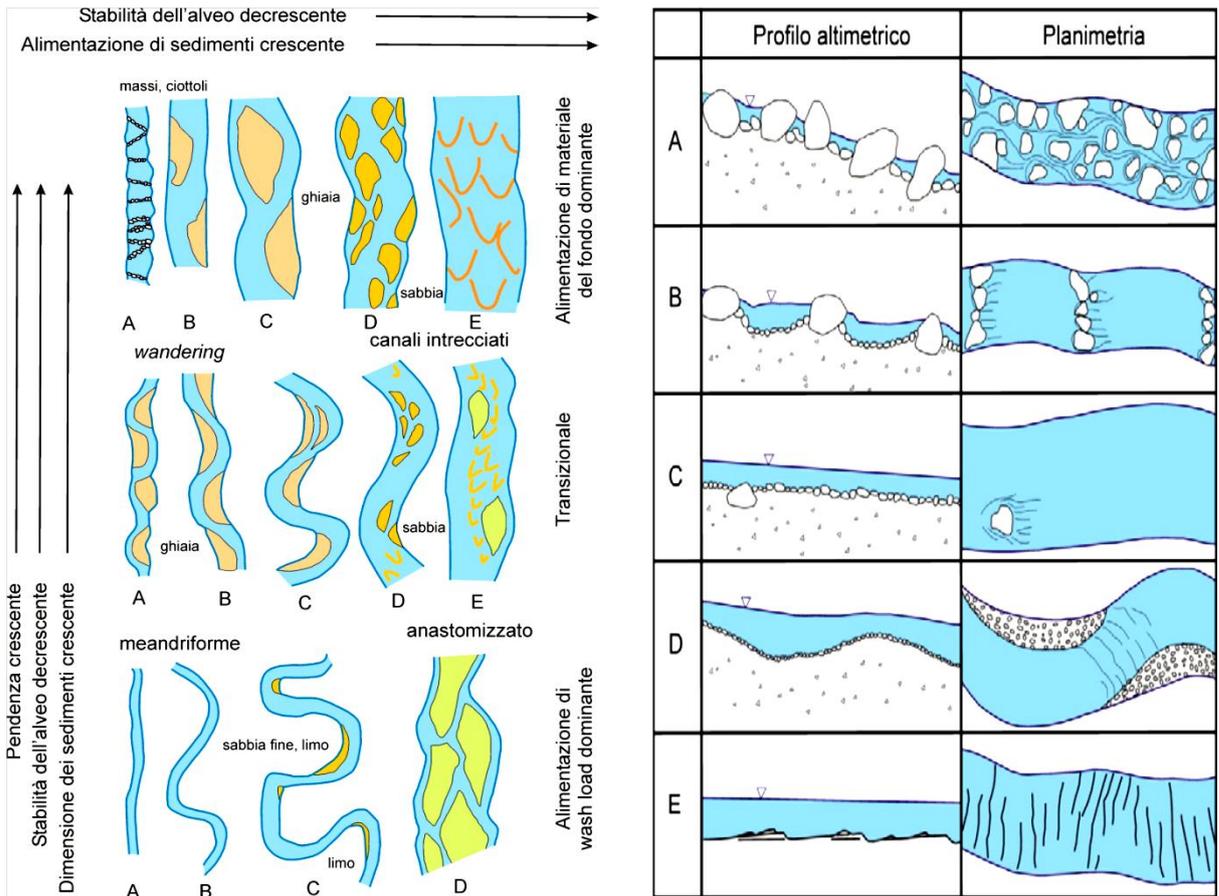


Figura 1.4: Sul lato sinistro abbiamo la classificazione dei corsi d'acqua montani secondo MONTGOMERY & BUFFINGTON (1997). (A) Cascade; (B) a gradinata (step-pool); (C) letto piano (plane bed); (D) riffle-pool; (E) dune-ripple. Sul lato destro abbiamo la classificazione delle morfologie fluviali secondo CHURCH (1992).

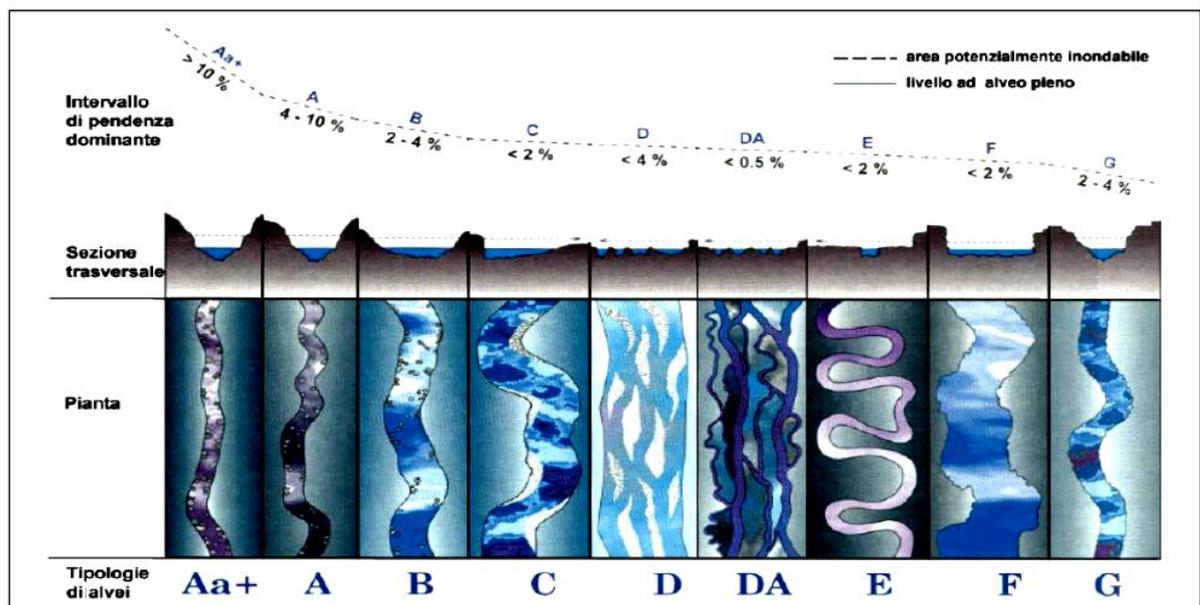


Figura 1.5: Classificazione delle morfologie fluviali secondo ROSGEN (1994).

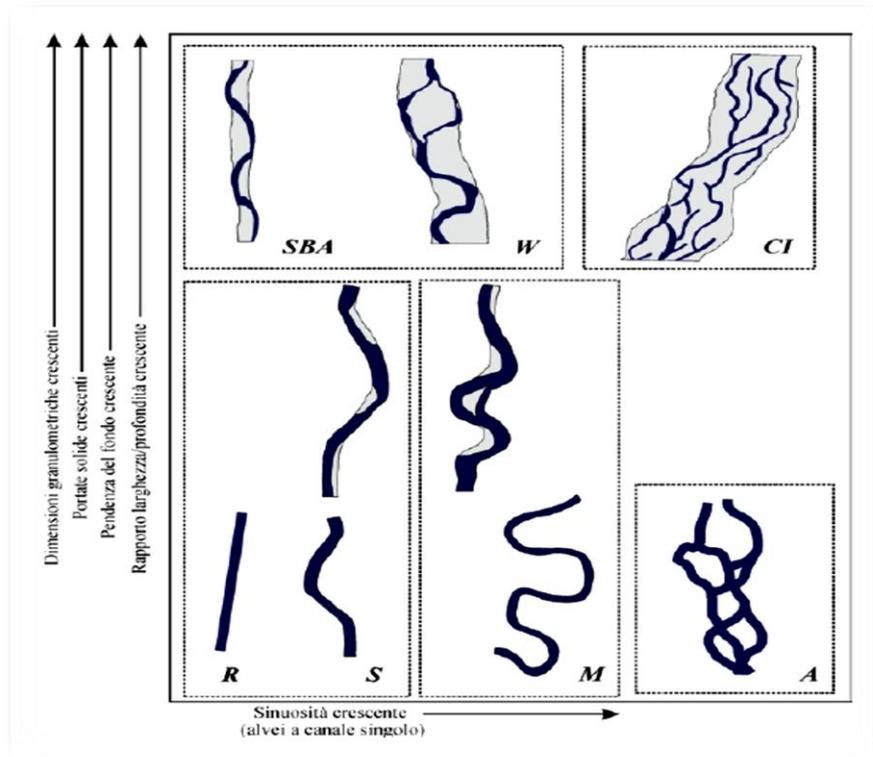


Figura 1.6: Morfologie fluviali e relazioni con i principali parametri di controllo. (da RINALDI, 2003, modificato).  
 R: Rettilineo; S: Sinuoso; M: Meandriforme; A: Anastomizzato; SBA: Sinuoso a barre alternate; W: Wandering;  
 CI: Canali intrecciati.

### 1.3 Variazioni morfologiche degli alvei fluviali.

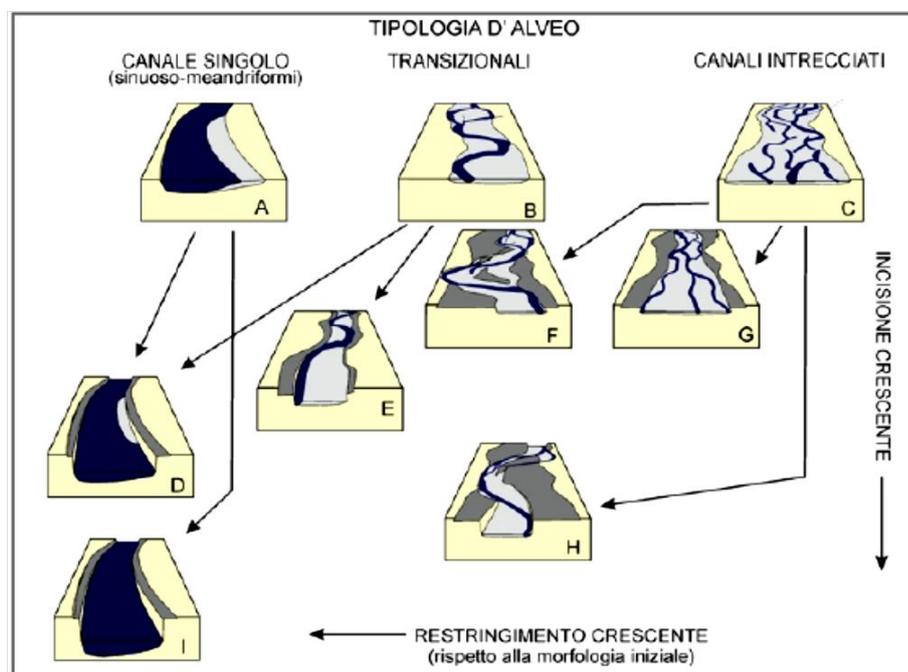
La scala temporale che preferibilmente viene utilizzata nel campo della moderna Geomorfologia Fluviale è la media scala temporale, cioè quella dell'ordine dei 100 anni (confrontabile con la scala della vita umana), seppure lo studio dell'evoluzione nel lungo termine del reticolo idrografico (catture, subsidenza ed altri fenomeni di neotettonica) può fornire utili informazioni per una migliore comprensione delle possibili cause di variazioni morfologiche degli alvei. Tuttavia, per definire le tendenze attuali, vale a dire per stabilire se un alveo è stabile o in equilibrio dinamico, è più appropriato restringere ulteriormente la scala temporale agli ultimi 10-15 anni circa (SHIELDS *et al.*, 2003). I fattori che contribuiscono al cambiamento dell'equilibrio si dividono in due gruppi:

- 1) **naturali**, (quali variazioni climatiche ed idrologiche, movimenti tettonici, fenomeni vulcanici, variazioni del livello del mare, ecc.);
- 2) **antropici**, i quali comprendono interventi a scala di bacino (rimboschimenti, disboscamenti, sistemazioni idraulico-forestali, urbanizzazione), che vanno a modificare il regime della portate liquide e solide, oppure interventi diretti in alveo

(tagli di meandro, canalizzazioni, dighe, escavazione di inerti) che agiscono direttamente sulla forma dell'alveo.

Tra i due fattori di cambiamento, bisogna inoltre indicare la differenza di risposta da parte dell'alveo alle modificazioni in ambito temporale, che nel caso di eventi naturali è più lenta a volte impercettibile rispetto alla vita umana, mentre quando gli agenti di cambiamento sono di natura antropica la variazione per la ricerca di una nuova situazione di equilibrio, è sicuramente più veloce. Molta importanza, in un territorio come quello italiano, viene infatti data al monitoraggio dagli anni '50 in poi, in quanto è in questo lasso temporale che ci sono state le maggiori perturbazioni agli alvei fluviali consecutive sia al prelievo di materiale che a costruzioni di dighe, manufatti, difese di sponda e tutti quegli interventi a difesa o ad uso degli insediamenti urbani.

Le variazioni hanno riguardato tutti i parametri, in generale si sono avuti un approfondimento dell'alveo dovuto ad una maggiore incisione, diminuzioni di portata che hanno prodotto una diminuzione del numero dei canali nelle morfologie di tipo intrecciato, una diminuzione della sinuosità e tutto ciò ha portato ad una diminuzione della variazione degli alvei fino a trovare quasi tutti i corsi d'acqua ridotti a monocursali, come rappresentato nella *Figura 1.7*.



*Figura 1.7: Schema di classificazione delle variazioni morfologiche di fiumi italiani ( SURIAN & RINALDI, 2003, modificato).*

### 1.3 Principali termini utilizzati in geomorfologia fluviale.

Segue un elenco in ordine alfabetico di definizioni utili alla comprensione di termini maggiormente utilizzati in geomorfologia fluviale (LENZI, 2011):

- **Alveo bagnato** – Porzione dell'alveo in cui è presente l'acqua;
- **Alveo di magra** – Porzione dell'alveo che resta bagnata anche in condizioni di magra. Si trova all'interno del letto ordinario, in particolare nei fiumi a regime irregolare. È sinuoso e spesso si divide in diversi bracci;
- **Alveo di piena** – Porzione del letto fluviale occupata nelle condizioni di piena;
- **Argine** – Opera longitudinale rilevata rispetto al piano di campagna. Ha la funzione di contenere le acque di piena e, perciò, di proteggere la piana alluvionale dalle inondazioni;
- **Briglia** – Opera trasversale rilevata. Ha la funzione di intrappolare i sedimenti, elevando il livello del letto e perciò, di proteggere dall'erosione manufatti, scarpate spondali o versanti (rincalzandoli al piede e riducendo la pendenza, quindi la forza erosiva);
- **Difesa spondale** – Opera longitudinale, solitamente in massi ciclopici o in gabbionate di rete metallica riempite di ciottoli. A differenza dell'argine, la difesa spondale non è rilevata rispetto al piano di campagna e non ha funzione di protezione dalle esondazioni. Quando è realizzata con un muro verticale si parla di muro spondale;
- **Fascia perifluviale** – Fascia di territorio localizzata topograficamente lungo il corso d'acqua, immediatamente esterna all'alveo di morbida. Nell'ambito della fascia perifluviale si collocano, se presenti, le formazioni riparie arbustive ed arboree; in ogni caso, comprende al suo interno l'ecotono tra l'alveo ed il territorio circostante;
- **Isole fluviali** – Deposito di sedimenti fluviali caratterizzato da una stabilità temporale, ecologicamente in evoluzione, emergente all'interno dell'alveo con vegetazione arbustiva e/o arborea;
- **Magra** – Condizione di acque basse. Si parla di magra naturale quando la scarsità idrica è dovuta ad eventi stagionali naturali. Se, invece, è conseguente a cause antropiche (sbarramenti, captazioni, derivazioni) si parla di magra indotta;
- **Morbida** – Condizione di portata ordinaria;

- **Opere fluviali o idrauliche** – Comprendono un vasto insieme di opere ingegneristiche che incidono più o meno pesantemente sulla funzionalità dell’ecosistema fluviale; fanno parzialmente eccezione gli interventi di ingegneria naturalistica, che fanno ricorso alle capacità consolidanti delle piante. Tra le più diffuse opere *longitudinali* (parallele all’asse fluviale) vi sono gli argini e le difese spondali; tra le opere *trasversali* (perpendicolari all’asse fluviale) vi sono soglie, briglie, traverse, dighe, pennelli, deflettori; tra le opere *di fondo* vi sono le plateazioni, i rivestimenti e i cunettoni;
- **Piena** – Quando il corso d’acqua supera determinati livelli prefissati dagli idrometri. Un periodo di acque alte;
- **Pozze o pools** – Tratti con profondità maggiore rispetto alla media, con ridotta velocità di corrente e, spesso, con granulometria ridotta;
- **Raschi o riffles** – Tratti d’alveo il cui fondo si eleva, caratterizzati da un substrato più grossolano da forti increspature e/o turbolenze con velocità di corrente in genere superiore rispetto alla media;
- **Riva** – In senso lato, linea di confine tra acqua e terra;
- **Rivestimento** – Si parla di rivestimento quando un tratto più o meno lungo di alveo viene rivestito (fondo e/o sponde). Solitamente i rivestimenti sono realizzati in massi ciclopici, in massi cementizi o in calcestruzzo. Possono essere finalizzati a proteggere l’alveo dall’erosione o a ridurre l’attrito e ad accelerare la velocità della corrente o ad assorbire entrambe le funzioni. Quando il rivestimento interessa solo il fondo dell’alveo si parla di *plateazioni*, mentre la forma estrema di rivestimento è il *cunettone* in calcestruzzo, a sezione parabolica. Oltre a presentare anche indicazioni di tipo idraulico, tutte le forme di rivestimento dell’alveo esercitano un impatto ambientale rilevante;
- **Scabrezza di fondo** – Irregolarità del fondo dovute alla presenza di elementi di diversa grandezza e a diverse distanze in grado di creare turbolenze delle vene d’acqua;
- **Soglie** – Strutture simili a briglie interrato, dalle quali affiora in superficie solo la sommità: a monte di esse non si accumulano quindi né acqua né sedimenti. La loro funzione è quella di stabilizzare la quota dell’alveo, impedendone l’approfondimento. Per tale motivo sono spesso realizzate al piede di ponti, per proteggerli dallo

scalzamento dei piloni, oppure vengono disposte in serie in tratti fluviali nei quali l'approfondimento dell'alveo minerebbe la stabilità dei versanti. Se si prescinde dalla fase di costruzione, l'impatto ambientale e biologico della soglia può essere considerato trascurabile;

- **Vegetazione riparia** – A partire dall'alveo di magra, esternamente alle erbacce pioniere di greto, le formazioni arbustive ed arboree riparie s'interpongono tra le fitocenosi acquatiche e le fitocenosi zonali del territorio circostante, non più influenzate dalla presenza del corso d'acqua. L'aggettivo *riparie* non ha un significato topografico, ma ecologico: indica cioè quelle specie idrofile, strettamente legate alla vicinanza del loro apparato radicale alla falda freatica.

## **2. IDRAIM: STORIA E INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA.**

Negli ultimi anni è divenuta sempre più forte l'esigenza di disporre di uno strumento per valutare le condizioni morfologiche ed il grado di alterazione delle forme e dei processi rispetto a condizioni meno disturbate, come base di partenza per la definizione di strategie di recupero morfologico e per la programmazione di interventi di gestione e/o riqualificazione fluviale.

La Direttiva Quadro Europea "Acque" (Water Framework Directive o WFD: European Commission, 2000) introduce gli aspetti idromorfologici come elementi da valutare, oltre a quelli fisico-chimici relativi alla qualità dell'acqua e agli aspetti biologici, per giungere ad una classificazione dello stato ecologico dei corsi d'acqua. Nonostante l'impostazione innovativa della WFD, è stato evidenziato il fatto che esistano alcuni limiti, e tra questi la componente idromorfologica rappresenta certamente quella che denota una più insufficiente considerazione nella classificazione dello stato ecologico, che possono compromettere il raggiungimento degli obiettivi fondamentali della direttiva stessa.

Nonostante tali esigenze, non è al momento disponibile una metodologia organica finalizzata ad una valutazione dello stato morfologico di un corso d'acqua, sulla base dello scostamento rispetto ad una condizione di riferimento, e che sia basata sulla considerazione e comprensione dei processi geomorfologici che determinano il funzionamento fisico del corso d'acqua.

Attualmente non esiste ancora una piena comprensione di quali siano gli aspetti ed i parametri geomorfologici più strettamente correlabili con lo stato di salute ecologico di un corso d'acqua, seppure numerose ricerche si siano dedicate recentemente a questo argomento. Esiste tuttavia un ampio consenso sul fatto che il funzionamento dei processi geomorfologici del corso d'acqua e le sue condizioni di equilibrio dinamico promuovono spontaneamente la diversità di habitat ed il funzionamento degli ecosistemi acquatici e ripariali. Ciò è dimostrato anche dal fatto che si ritiene inappropriato definire uno stato di riferimento morfologico statico per i progetti di riqualificazione fluviale ma che esso debba essere sostituito da un'immagine guida che si identifica con un sistema dinamico (PALMER et al., 2005) e con la necessità di una più ampia considerazione dei processi geomorfologici e delle tendenze evolutive del corso d'acqua (Clarke et al., 2003).

In campo internazionale sono stati sviluppati da diversi anni numerosi metodi che si basano sul censimento degli habitat fisici e della diversità di forme fluviali, noti anche come procedure di “rilievo degli habitat fluviali” (“river habitat survey”). Una dettagliata rassegna di tali metodologie è contenuta ad esempio nel documento “*Water Framework Directive: A desk study to determine a methodology for the monitoring of the Morphological conditions of Irish Rivers (2002-W-DS/9). Final Report. Prepared for the Environmental Protection Agency by Central Fisheries Board and Compass Informatics*”, nel quale vengono elencate e brevemente descritte 29 metodologie di valutazione morfologica dei corsi d’acqua in Europa ed altrove.

Tra le metodologie in uso al di fuori dell’Europa, si possono citare ad esempio:

- *Australian River Assessment System (AusRivAS) – Physical Assessment Module* (PARSONS et al., 2002);
- *Victorian Index of Stream Condition (ISC)* (LADSON et al., 1999; LADSON & WHITE, 1999, 2000);
- *US EPA Rapid Assessment Method* (BARBOUR et al., 1999).

Tra i metodi europei, si possono citare i seguenti:

- *Stream Habitat Survey – Method for small and medium size waters* (LAWA, 2000);
- *Assessment of river stretches with high or good habitat in Austria* (MUHAR et al., 1998);
- *National Physical Habitat Index* (National Environmental Research Institute (NERI, Denmark, 1999);
- *River Habitat Survey (RHS)* (RAVEN et al., 1997);
- *CARAVAGGIO* (BUFFAGNI et al., 2005).

Le metodologie finora descritte, le quali sono adatte a caratterizzare la presenza e diversità di habitat fisici ma non sono state sviluppate per soddisfare i requisiti della stessa Direttiva, sono, di fatto, quelle più frequentemente proposte ai fini della WFD. Tra i principali limiti di queste metodologie, qualora si applicassero alla WFD, si rimarcano i seguenti: (a) usano un approccio basato sulle forme e non includono considerazioni sui processi e sulle tendenze evolutive, (b) di conseguenza, utilizzano “condizioni di riferimento” in termini di forme (presenza e numero di determinate caratteristiche) facendo uso di “tratti di riferimento”

nelle attuali condizioni (seppure già in parte alterati); (c) la scala spaziale di indagine (quella del “sito”, cioè con lunghezza dell’ordine di qualche centinaio di m) non può essere considerata adeguata per una reale diagnosi e comprensione dei problemi morfologici, considerato che generalmente la degradazione fisica in un sito è conseguenza di processi e cause a più ampia scala; (d) tali procedure poco si adattano ad un’analisi delle pressioni e degli impatti finalizzata alla progettazione di misure e verifiche della loro efficacia, come richiesto nei piani di gestione previsti dalla WFD.

Oltre ai metodi di censimento degli habitat prima descritti, è necessario ricordare che in alcuni paesi membri della Comunità Europea sono stati sviluppati protocolli o metodi di valutazione degli aspetti idromorfologici appositamente ai fini dell’applicazione della WFD.

Tra questi metodi si segnalano:

- HIDRI – *Protocolo para la valoracion de la calidad hidromorfologica de los rios*. Si tratta di una metodologia piuttosto articolata messa a punto dall’Agenzia Catalana de l’Aigua che prende in esame i vari aspetti idromorfologici necessari per la valutazione ai fini della WFD ( continuità fluviale, condizioni morfologiche, geometria dell’alveo, struttura e substrato del letto, struttura delle zone riparie) attraverso l’integrazione di vari indici e parametri per la valutazione della qualità delle condizioni morfologiche e vegetazionali;
- *A Desk Study to Determine a Methodology for the Monitoring of the “Morphological Condition” of Irish Rivers for the Water Framework Directive*. Sulla base della revisione dei metodi esistenti, questo studio raccomanda che il protocollo per la valutazione delle condizioni morfologiche dei fiumi irlandesi debba basarsi sul AusRivAS Physical Habitat Assessment Protocol. In tale metodo, le informazioni riguardanti gli aspetti fisici, chimici e di habitat sono raccolte in corrispondenza di siti di riferimento ed usate per costruire modelli predittivi che sono, a loro volta, usati per verificare le condizioni di siti campione. Viene raccomandato di effettuare alcune modifiche all’AusRivAS che tengano conto dei recenti sviluppi tecnologici nel telerilevamento e nelle tecnologie informatiche;
- *Establishment of the Protocol on Monitoring and Assessment of the Hydromorphological Elements, Slovak Republic*. Lo sviluppo di questo metodo è basato su una bozza di protocollo sviluppato dalla Repubblica Slovacca dallo Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) nel 2003. La metodologia si rifà altri metodi

sviluppati precedentemente, modificati in alcune parti per adattarsi alle condizioni dei fiumi della Slovacchia. Inoltre si propone l'uso integrato anche di carte storiche e foto aeree per misurare alcuni parametri planimetrici.

Questi metodi, seppure ancora molto basati sui vari protocolli di rilevamento degli habitat visti precedentemente, dimostrano uno sforzo crescente di adottare anche approcci diversi (telerilevamento, GIS, ecc.) che si integrino con il rilevamento sul terreno. Essi denotano ancora un'insufficiente considerazione dei processi fisici e delle alterazioni morfologiche avvenute ad una scala temporale differente da quella attuale.

Più recentemente, si registra uno sviluppo crescente di nuovi metodi che denotano una sempre più forte impostazione geomorfologica, con una considerazione sempre maggiore nei processi fisici, di scale temporali sufficientemente ampie e di impiego sempre più sistematico di metodologie adatte agli scopi (telerilevamento, GIS) affiancate alle indagini sul terreno. In questo modo si segnalano le nuove metodologie sviluppate, o tuttora in corso di sviluppo, in Spagna ed in Francia e di seguito brevemente descritte:

- *Indice Idro-Geomorfologico (IHG)*. La metodologia di valutazione è strutturata in tre aspetti: 1) qualità funzionale del sistema fluviale, che include la naturalità del regime delle portate, la disponibilità a mobilità dei sedimenti, la funzionalità della pianura inondabile; 2) qualità dell'alveo, che include la naturalità della configurazione dell'alveo e della sua morfologia, la continuità e naturalità del letto e dei processi di continuità longitudinale e verticale, la naturalità delle sponde e la mobilità laterale; 3) qualità del corridoio ripariale, che include la continuità longitudinale, larghezza, struttura e naturalità, la connettività trasversale;
- *Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (SYRAH)*: si tratta di una procedura molto articolata, sviluppata presso il CEMAGREF (Francia), di censimento, archiviazione e settorializzazione (tramite procedure in GIS) degli elementi antropici di pressione, ma non rappresenta un vero e proprio sistema di valutazione. L'obiettivo finale è, infatti, quello di promuovere l'implementazione di misure designate a correggere le disfunzioni fisiche dei corsi d'acqua piuttosto che quello di classificare lo stato morfologico di alterazione rispetto ad un dato stato di riferimento.

In ambito nazionale, oltre al già citato CARAVAGGIO, che rientra tra i metodi di censimento degli habitat considerati prima, è certamente da ricordare l'IFF (Indice di Funzionalità Fluviale), il quale tuttavia non nasce dall'esigenza specifica di valutare un grado di scostamento rispetto ad una situazione di riferimento né approfondisce gli aspetti idromorfologici. Recentemente è stato inoltre proposto uno schema di valutazione integrata dello stato ecologico (*FLEA: Fluvial Ecosystem Assessment*) che include a pieno titolo anche gli elementi di qualità idromorfologica. In tale schema vengono introdotti alcuni attributi (in parte previsti nella WFD) finalizzati a caratterizzare l'assetto morfologico attuale (quali la continuità laterale, l'equilibrio geomorfologico e lo spazio di libertà), dove ogni attributo viene espresso come grado di vicinanza alle proprie condizioni di riferimento. Lo schema proposto, rispetto ad una delle principali lacune di tutti i metodi visti precedentemente, intende tener conto almeno in parte delle tendenze evolutive dell'alveo. Inoltre viene rimarcata l'opportunità di utilizzare dati ricavati da telerilevamento ad integrazione dei rilievi sul terreno e di lavorare ad una scala più ampia di quella del singolo sito. Il *FLEA* rappresenta tuttavia, al momento attuale, una proposta metodologica piuttosto che un pacchetto completamente definito che necessita di essere sviluppata nei dettagli per gli aspetti idromorfologici come per altri aspetti.

In definitiva, a livello comunitario, manca un indice di qualità idromorfologica che sia in grado di accorpare le caratteristiche di territori diversi. Sulla base dell'inquadramento del problema e della rassegna bibliografica sullo stato dell'arte sull'argomento, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- Necessità di un approccio basato sulla comprensione dei processi e delle cause, se si intende procedere non solo ad una classificazione dello stato morfologico ma anche ad un'analisi delle pressioni e degli impatti, fondamentali anche per la progettazione di misure e verifiche della loro efficacia ;
- Non esiste una metodologia già disponibile nel panorama internazionale che abbia tali requisiti e che consenta di essere importata nel contesto nazionale. Seppure esistano delle procedure (si veda in particolare il *River Styles Framework*) basate su concetti ed approcci coerenti con le necessità rimarcate prima, è necessario sviluppare una metodologia ad hoc, progettata sulla base degli obiettivi, applicabile quindi alla scala spaziale funzionale al raggiungimento di tali obiettivi e che tenga

anche conto del contesto fisico ed antropico in cui si va ad applicare (analisi delle pressioni e degli impatti);

- Si può fare riferimento alle recenti esperienze di ricerca nel campo della geomorfologia e dinamica fluviale sviluppate durante gli ultimi anni in ambito nazionale, cercando di finalizzarle agli scopi di questo progetto.

L'IDRAIM quindi nasce dalla necessità di disporre di uno strumento per valutare le condizioni ecologiche, morfologiche ed il grado di alterazione dei corsi d'acqua rispetto a condizioni meno compromesse, da usare come base di partenza definire strategie di recupero morfologico e per la programmazione di interventi di gestione o riqualificazione fluviale. Nel contempo questo metodo cerca di riportare i fattori che rendono il corso d'acqua instabile e pericoloso da un punto di vista idrologico.

### 3. STRUTTURA METODOLOGICA

#### 3.1 Concetto di stato di riferimento.

Un corso d'acqua, nelle sue attuali condizioni, è il risultato di una traiettoria più o meno complessa di variazioni morfologiche, in risposta ad alcune modificazioni di alcune variabili di controllo. La comprensione di tale traiettoria e dei legami casuali tra variabili guida e morfologia è fondamentale, non tanto per il recupero di una condizione passata (la quale non è più realizzabile visto che sono cambiate le variabili di controllo), quanto invece per capire quale potrà essere l'evoluzione futura (salvo condizionamenti attuali oppure nel caso in cui essi vengano modificati attraverso azioni di gestione). In questo modo si ha uno schema concettuale di riferimento che può guidare nella scelta delle procedure di analisi più appropriate da sviluppare ai fini dei piani di gestione per la WFD.

Fatta questa premessa, lo **stato di riferimento** di un corso d'acqua si identifica in prima approssimazione con **quelle condizioni idromorfologiche che esisterebbero, nelle attuali condizioni del bacino, in assenza di influenza antropica in alveo, nelle zone riparie e nella pianura adiacente, considerate in una scala temporale sufficientemente ampia**. Si ritiene che un intervallo significativo possa essere quello degli anni '50, sia perché in questo lasso di tempo è disponibile una copertura a scala nazionale di foto aeree (volo IGM GAI 1954-55), e perché, dal punto di vista concettuale, la situazione dei corsi d'acqua negli anni '50 può essere considerata generalmente con un'influenza antropica ancora contenuta (rispetto a quello che accadde nemmeno un decennio più tardi in buona parte del paesaggio italiano). Articolando la valutazione dello stato attuale in tre componenti, vale a dire funzionalità geomorfologica, artificialità e variazioni morfologiche, la precedente definizione di stato di riferimento viene ad identificarsi con le seguenti condizioni:

- a) **Piena funzionalità dei processi geomorfologici tipici che caratterizzano una determinata morfologia fluviale (condizione di equilibrio dinamico;**
- b) **Assenza di artificialità;**
- c) **Assenza di variazioni significative di forma, dimensioni e quota del fondo in un arco temporale degli ultimi 50 anni, che sono sintomo di avvenute alterazioni.**

## 3.2 Metodologie di analisi.

La valutazione delle condizioni attuali ed il monitoraggio futuro si basano su un approccio integrato, utilizzando sinergicamente le due principali metodologie impiegate per lo studio geomorfologico dei corsi d'acqua, vale a dire:

- **telerilevamento** (*remote sensing*) e analisi GIS. Queste prevedono l'utilizzo soprattutto di foto aeree, ma per alcuni tipi di osservazioni (ricognizione iniziale, opere, uso del suolo, ecc.) possono essere impiegate anche immagini satellitari, che sono di facile reperibilità e con elevata risoluzione geometrica;
- **rilevamento sul terreno**. Queste prevedono misure di vario tipo e misure condotte con vari strumenti (analisi granulometriche, misure topografiche, analisi geomorfologiche, ecc.).

### 3.2.1 Campi di applicazione.

Vengono di seguito definiti i campi di applicazione di questi metodi di analisi:

- **campi di applicazione ed analisi GIS da telerilevamento** - Per quanto riguarda le dimensioni dei corsi d'acqua, si fa riferimento a queste definizioni: (1) *corsi d'acqua piccoli* (P) quelli con larghezze inferiori a 20 m circa; (2) *corsi d'acqua medi* (M) quelli con larghezze dell'ordine dei 20-30 m; (3) *corsi d'acqua grandi* (G) quelli con larghezze superiori ai 30 m. Questa terminologia è adatta per definire le **dimensioni minime campionabili** per le quali vengono analizzati alcuni aspetti di **funzionalità morfologica** e, soprattutto, le **variazioni morfologiche**. Per tali aspetti, infatti, le analisi delle caratteristiche dell'alveo tramite GIS possono essere condotte solo per corsi d'acqua grandi (>30 m). Per alvei di dimensione inferiore, le misure non sono in genere attendibili.
- **Campi di applicazione di analisi e misure sul terreno** - Per le attività condotte sul terreno, non esistono limiti vin termini di dimensioni degli alvei investigati. I corsi d'acqua piccoli e medi richiedono ovviamente più osservazioni sul terreno, non essendo utilizzabili le immagini telerilevate. Nel caso di corsi d'acqua grandi, la fase sul terreno è importante anche per verificare o integrare quegli aspetti analizzati da immagini.

### 3.3 Scale spaziali e temporali.

Coerentemente con quanto riportato nelle norme *CEN (2002)*, le **condizioni di riferimento per gli aspetti idromorfologici** devono essere definite relativamente ai **seguenti aspetti**: (a) caratteri del letto e delle sponde; (b) forma planimetrica e profilo del fondo; (c) connettività e libertà di movimento laterali; (d) continuità longitudinale del flusso liquido e di sedimenti; (e) vegetazione nella zona riparia. Tali condizioni andrebbero definite per ogni differente tipologia fluviale: non sono infatti definibili delle condizioni morfologiche “ottimali” assolute, valide cioè per qualsiasi corso d’acqua, ma esse dipendono ovviamente dal contesto fisiografico (ad es., area montana o di pianura) e dalle caratteristiche morfologiche del corso d’acqua stesso (ad esempio un alveo a canali intrecciati avrà forme e processi tipici notevolmente differenti rispetto a quelle di un alveo a canale singolo).

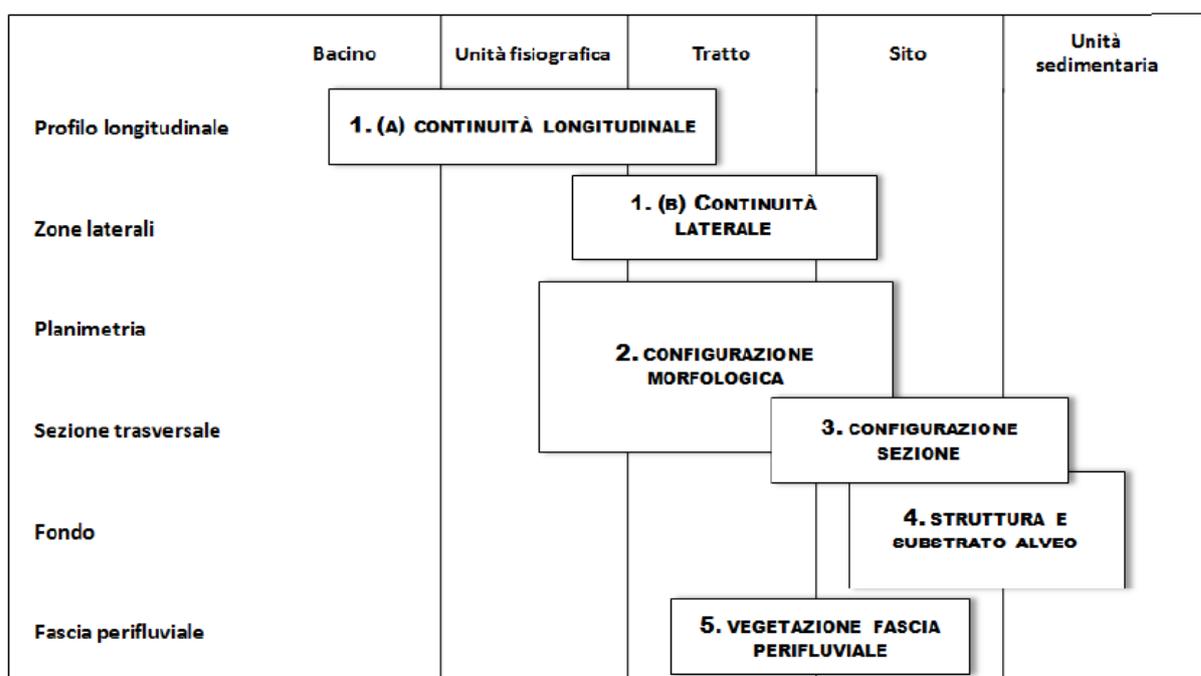


Figura 3.1: Schema delle aree spaziali e degli aspetti considerati.

Per quanto riguarda le **scale spaziali di analisi**, viene adottato un approccio di **suddivisione gerarchica** (*hierarchical nested approach*). Si fa riferimento alle seguenti **unità spaziali**, con dimensioni progressivamente decrescenti (vedi Figura 3.1):

1) **Bacino idrografico**. Il bacino idrografico rappresenta l’unità spaziale fondamentale di partenza.

2) **Unità fisiografica e segmento.** Le unità fisiografiche sono aree relativamente omogenee all'interno del bacino per caratteristiche morfologico-fisiografiche (area montuosa, collinare, pianura intermontana, bassa pianura, ecc.). I segmenti sono determinati dall'intersezione degli ambiti fisiografici con il reticolo idrografico. Per quanto riguarda i corsi d'acqua principali del bacino, i segmenti costituiscono dei "macrotratti" relativamente omogenei che possono anche riflettere i maggiori controlli fisiografico-strutturali del fondovalle (grado di confinamento, andamento e tipologia di valle, ecc.). La loro definizione non è strettamente indispensabile ai fini della classificazione e della valutazione dello stato attuale, ma ha piuttosto un carattere descrittivo.

3) **Tratto:** si tratta della suddivisione di base funzionale alla classificazione. La suddivisione in tratti (*reaches*) si basa su vari aspetti quali il grado di confinamento, la tipologia morfologica, le principali discontinuità idrologiche, la presenza di elementi antropici significativi, ecc. La lunghezza di un tratto è generalmente dell'ordine dei chilometri (normalmente 1÷5 km). Dal punto di vista metodologico il tratto rappresenta l'unità elementare di misure da telerilevamento ed analisi GIS.

4) **Sito:** si tratta di un sottotratto campione, rappresentativo dell'insieme tipico di forme, dei loro rapporti altimetrici reciproci e quindi della forma della sezione che si riscontrano all'interno del tratto. Dal punto di vista metodologico, si tratta dell'unità elementare di rilevamento dei dati sul terreno, preso come campione del tratto. Per alvei a canale singolo, il sito ha una lunghezza generalmente compresa tra 10 e 20 volte la larghezza, mentre per alvei a canali intrecciati ha una lunghezza confrontabile con la larghezza stessa, e comunque di norma non superiore ai 500 m. Generalmente si assume un sito rappresentativo di ogni tratto, ma qualora ritenuto necessario (soprattutto nel caso di tratti relativamente lunghi) è possibile caratterizzare un tratto con più di un sito.

5) **Unità sedimentaria:** ad una scala spaziale gerarchicamente inferiore, in alcuni casi (per le misure granulometriche dei sedimenti del fondo) è necessario scegliere un ulteriore punto di campionamento che sia rappresentativo del sito e a sua volta del tratto .

Per quanto riguarda le **scale temporali di analisi** considerate in Geomorfologia Fluviale, esse variano a seconda degli aspetti e delle relative scale spaziali che si vanno ad indagare, nonché a seconda degli obiettivi dello studio. In linea generale si possono definire le seguenti scale temporali (*Figura 3.2*):

- **Scala geologica** (104÷106 anni): è la scala che è opportuno considerare per inquadrare le caratteristiche geologiche e fisiografiche del bacino e l'evoluzione del reticolo idrografico nel lungo termine (ad es., catture fluviali, fenomeni di sovrimposizione, ecc.);
- **Scala storica** (102÷103 anni): utile per comprendere la morfologia naturale dei corsi d'acqua ed i tipi di sistemazioni ed altri tipi di controlli antropici a cui sono stati soggetti;
- **Media scala temporale** (ultimi 100÷150 anni): è la scala più importante per identificare e comprendere l'attuale forma a seguito di variazioni morfologiche planimetriche (alveo ristretto o allargato) o altimetriche (alveo inciso o aggradato) dei corsi d'acqua. È la scala di maggiore interesse per studi di carattere applicativo (denominata talora anche *scala gestionale*). Al suo interno si possono ulteriormente distinguere:
  - **Scala degli ultimi 10÷15 anni**: è la scala più adatta per definire le tendenze attuali (alveo in incisione, in sedimentazione o in equilibrio dinamico) (SHIELDS *et al.*, 2003);
  - **Scala annuale**: è una scala poco significativa per l'interpretazione delle forme e dei processi evolutivi, mentre può avere qualche effetto temporaneo sulle caratteristiche granulometriche o vegetazionali locali, in funzione degli eventi verificatisi durante l'ultimo ciclo stagionale.

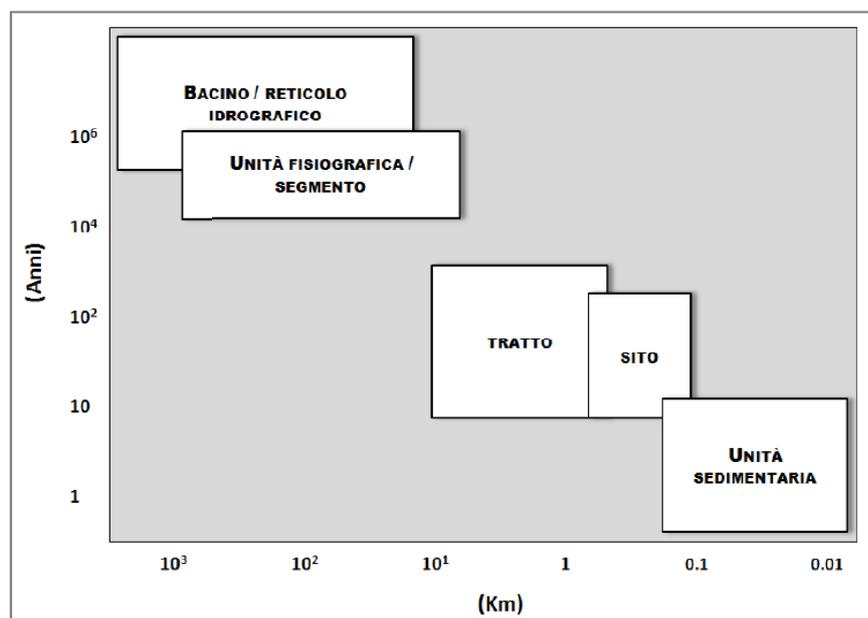


Figura 3.2: Schema dei rapporti tra scale temporali e scale spaziali di indagine.

Esistono ovviamente dei legami tra scale temporali più adatte ad inquadrare o interpretare le forme ed i processi e le varie unità spaziali all'interno delle quali si effettuano queste interpretazioni. Uno schema di massima che evidenzia tali interazioni è quello riportato in *Figura 3.2*, dalla quale si osserva in particolare: (1) il bacino e le unità fisiografiche sono meglio inquadrati alla scala geologica; (2) il tratto ed il sito sono riferibili alle stesse scale temporali (essendo il sito una sotto-unità presa a campione del tratto), vale a dire la media scala temporale, per l'interpretazione delle variazioni morfologiche, e la scala degli ultimi 10÷15 anni per l'interpretazione delle tendenze attuali, seppure è utile inquadrare l'evoluzione morfologica anche nella scala storica; (3) le unità sedimentarie sono principalmente condizionate dai processi evolutivi degli ultimi 10÷15 anni, ma possono risentire in una certa misura anche degli eventi di piena più recenti (scala annuale).

### **3.4 Aspetti trattati e suddivisione in fasi.**

Al fine di differenziare le tipologie fluviali suddividendo il reticolo in tratti relativamente omogenei, la prima fase della valutazione è quella di **inquadramento e suddivisione in tratti**. Questa operazione viene effettuata in funzione soprattutto del contesto fisiografico, del grado di confinamento e della morfologia dei corsi d'acqua. Successivamente hanno inizio le fasi di **valutazione delle condizioni attuali**. A tal fine si fa riferimento a vari aspetti tra quelli riportati nelle norme CEN (2002), secondo una riorganizzazione sequenziale che comprende nell'ordine (vedi *Tabella 3.1*):

- a) **continuità** (laterale e longitudinale);
- b) **morfologia**, comprendente la configurazione morfologica, la configurazione della sezione e la struttura del substrato dell'alveo;
- c) **vegetazione** nella fascia perifluviale.

Tabella 3.1: Valutazione dello stato morfologico dei corsi d'acqua: suddivisione in categorie ed aspetti trattati.

CATEGORIE MORFOLOGICHE	ASPETTI TRATTATI	DESCRIZIONE
(1) Continuità	A. Continuità longitudinale	Riguarda la capacità del corso d'acqua di garantire la continuità di portate solide anche attraverso la naturale occorrenza delle portate formative.
	B. Continuità laterale	Riguarda la continuità laterale dei processi fisici di esondazione (possibilità di esondare, presenza di piana inondabile) e di erosione (possibilità di muoversi lateralmente).
(2) Configurazione morfologica	Configurazione planimetrica ed altimetrica longitudinale	Riguarda la morfologia planimetrica e l'assetto altimetrico (forma del profilo, pendenza). Comprende le variazioni del profilo (in termini di pendenza) in seguito a processi di incisione o sedimentazione.
(3) Configurazione della sezione	Configurazione della sezione (larghezza, profondità, ecc.)	Riguarda in maggior dettaglio la configurazione altimetrica in sezione trasversale. Comprende le variazioni di quota del fondo in seguito a processi di incisione o sedimentazione.
(4) Struttura e substrato alveo	Configurazione e struttura del letto	Riguarda la strutturazione del letto e le caratteristiche tessiturali, la continuità tra flusso superficiale ed iporreico.
(5) Vegetazione nella fascia perifluviale	Caratteristiche vegetazionali	Comprende gli aspetti legati all'ampiezza ed estensione lineare della vegetazione nella fascia perifluviale.

Gli aspetti che vengono considerati per la valutazione dello stato attuale e per il monitoraggio futuro comprendono sia elementi artificiali che caratteristiche morfologiche naturali. Gli elementi artificiali possono avere un impatto diretto sugli elementi morfologici di un corso d'acqua, andando a modificarne direttamente le caratteristiche naturali (ad es., modificando la forma o interrompendo la continuità del flusso solido).

Complessivamente, l'analisi morfologica comprende le seguenti **FASI** (Figura 3.3):

- (a) **inquadramento e suddivisione in tratti** - Vengono delineati i caratteri principali che condizionano i corsi d'acqua all'interno di un bacino e viene effettuata una prima suddivisione degli stessi in segmenti e tratti, funzionale alle fasi successive;
- (b) **valutazione dello stato attuale** - Ogni tratto dei corsi d'acqua in esame viene valutato sulla base delle sue condizioni attuali (funzionalità, artificialità) e delle sue variazioni recenti;

(c) **monitoraggio** - Per alcuni tratti, scelti come rappresentativi, vengono misurati i parametri ritenuti significativi per capire se il corso d'acqua mantiene le sue condizioni attuali o tende verso un miglioramento o un peggioramento.

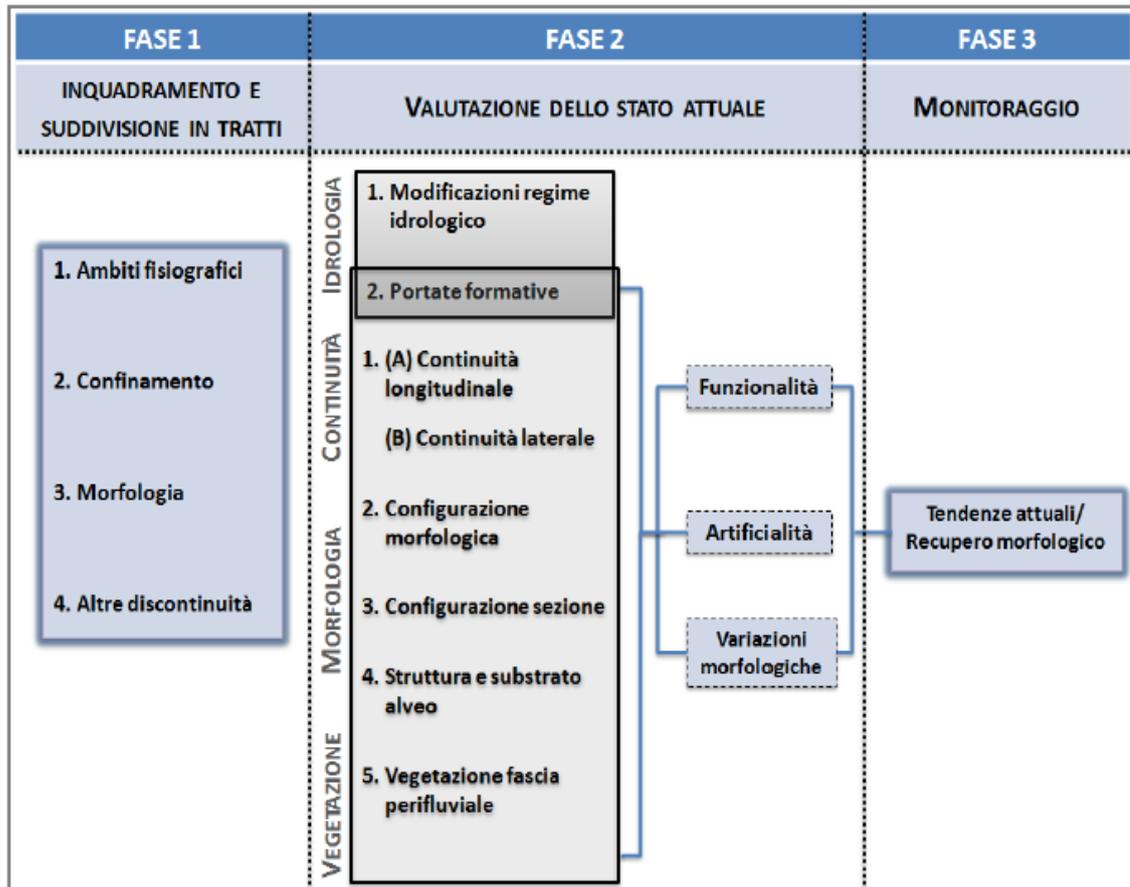


Figura 3.3: Schematizzazione a blocchi della struttura metodologica.

La struttura complessiva del sistema di valutazione comprende quindi sia aspetti strettamente morfologici che aspetti idrologici e vegetazionali della fascia riparia.

La **valutazione dello stato morfologico** avviene sulla base di tre componenti:

- 1) **funzionalità geomorfologica**: si basa sull'osservazione delle forme e dei processi del corso d'acqua nelle condizioni attuali e sul confronto con le forme ed i processi attesi per la tipologia fluviale presente nel tratto in esame. In altri termini si valuta la funzionalità del corso d'acqua relativamente ai processi geomorfologici (l'assenza di determinate forme e processi tipici per una data tipologia può essere sintomo di condizioni morfologiche alterate);
- 2) **elementi artificiali**: si valutano presenza, frequenza e continuità delle opere o interventi antropici che possono avere effetti sui vari aspetti morfologici considerati.

Alcuni elementi artificiali hanno effetti molteplici su diversi aspetti: essi verranno ovviamente rilevati una sola volta ma verranno valutati per ogni singolo tratto.

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

Secondo questa impostazione, lo **stato di riferimento** per un corso d'acqua in un dato tratto può essere identificato con le seguenti condizioni di riferimento:

- **funzionalità dei processi;**
- **assenza di artificialità;**
- **assenza di variazioni** significative di forma, dimensioni e quota del fondo in un arco temporale.

La procedura complessiva prevede l'applicazione in sequenza delle tre fasi, con la valutazione dello stato attuale realizzato per tutti i corsi d'acqua principali del bacino: ciò è indispensabile per interpretare complessivamente i trend e le cause di evoluzione.

La **valutazione dello stato attuale** può essere quindi condotta in due modalità:

- 1) *Analisi in continuo:* si tratta di una valutazione di tutti i corsi d'acqua di interesse. Tale tipo di valutazione sarebbe auspicabile in modo da poter selezionare i punti in corrispondenza dei quali monitorare gli aspetti morfologici con criteri di rappresentatività.
- 2) *Analisi per tratto:* nei casi in cui un tratto venga scelto per il monitoraggio sulla base di altri criteri, è comunque indispensabile effettuare l'analisi dello stato morfologico attuale per lo meno in quel tratto per definire la sua condizione iniziale a cui far riferimento per il monitoraggio futuro. L'analisi per tratto richiede alcune informazioni sulle condizioni a monte (presenza di principali opere che hanno effetti sulla continuità longitudinale delle portate liquide e solide).

Sulla base di tale impostazione, la valutazione morfologica dei corsi d'acqua si sviluppa per livelli successivi. Si possono distinguere due livelli di approfondimento diversi:

- 1) **Valutazione di primo livello:** classificazione dello stato morfologico attuale. Si basa sulle condizioni attuali di funzionalità ed artificialità e tiene conto delle variazioni morfologiche subite dal corso d'acqua in tempi relativamente recenti (ultimi 50 anni) come risultato di alterazioni antropiche passate. Tale valutazione può essere effettuata su singoli tratti del reticolo idrografico con limitate informazioni delle condizioni a scala di bacino e consente quindi una prima classificazione dello stato idromorfologico tale da permettere di individuare i tratti con maggiori criticità o pregi.
- 2) **Valutazione di secondo livello:** analisi degli impatti e delle cause. Esaurita la prima fase su tutti i tratti di un sistema idrografico, è possibile approfondire, anche con l'integrazione di altre informazioni a scala di bacino, la comprensione degli impatti, delle cause e dei rapporti fra tratti o porzioni diverse del bacino. Tale analisi è quindi funzionale alla definizione di azioni e misure per il miglioramento o la preservazione dell'attuale stato idromorfologico nei vari tratti.

Rispetto alle tre componenti di valutazione dello stato attuale (funzionalità, artificialità, variazioni), il **monitoraggio** consentirà di valutare le tendenze evolutive attuali e future e di rapportarle alle modificazioni passate, in modo da giungere ad una valutazione del possibile recupero morfologico o dell'ulteriore allontanamento da condizioni meno alterate, aspetti fondamentali per le successive analisi degli impatti e per la definizione delle misure di mitigazione ai fini del raggiungimento degli obiettivi della Direttiva.

Esistono alcuni aspetti e parametri che è necessario analizzare nella prima fase di valutazione, ma che non è poi necessario monitorare, mentre viceversa si possono individuare alcuni parametri o grandezze la cui misura non è indispensabile per la fase di caratterizzazione iniziale, ma che sarà invece necessario misurare periodicamente da ora in avanti.

## 4. FASI DI APPLICAZIONE

### 4.1 Fase 1: inquadramento e suddivisione del corso d'acqua in tratti.

La prima fase della procedura di valutazione morfologica ha lo scopo di fornire un inquadramento delle condizioni fisiche dei corsi d'acqua e soprattutto di effettuare una prima suddivisione in tratti relativamente omogenei, funzionale alle analisi successive. Questa fase è a sua volta suddivisa in vari STEP, come rappresentato in *Figura* e come descritto dettagliatamente in seguito.



*Figura 4.1: suddivisione della FASE 1 in STEP.*

È importante sottolineare il **carattere iterativo del processo di suddivisione in tratti**: in alcuni casi l'individuazione di importanti discontinuità può determinare un'ulteriore suddivisione dei tratti precedentemente individuati, richiedendo una rideterminazione di alcuni parametri misurati negli STEP precedenti il cui valore dipende dalla lunghezza del tratto (ad es., parametri di confinamento, indice di sinuosità, ecc.). Si suggerisce pertanto di partire con una **suddivisione iniziale di tentativo**, avendo già dall'inizio presenti i criteri relativi ad ognuno dei 4 STEP, per poi perfezionarla progressivamente.

## STEP 1: inquadramento e definizione delle unità fisiografiche.

Lo scopo è quello di ottenere un primo inquadramento del contesto fisico nel quale sono inseriti i corsi d'acqua ed effettuare una prima suddivisione in macro-aree (unità fisiografiche) e macro-tratti (segmenti), tramite la consultazione: di carte geologiche, geomorfologiche, di uso del suolo; studi esistenti; raccolta ed elaborazione dati idrologici; telerilevamento/GIS. Le informazioni e i dati di base necessari per procedere con le operazioni sono: area del bacino, informazioni su litologie prevalenti, clima e regime idrologico, uso del suolo nel bacino, profili longitudinali dei corsi d'acqua.

Sulla base di questa prima raccolta di informazioni, vengono individuate le principali **unità fisiografiche** attraversate dai corsi d'acqua in esame; la *Tabella 4.1* indica esattamente le unità riguardanti la nostra area di studio:

*Tabella 4.1: Unità fisiografiche principali riguardanti la nostra area di studio.*

DENOMINAZIONE	NOTE
<i>Settore Alpino e Pianura Padana</i>	
(1) Aree montuose alpine	Aree a quote elevate, con valli frequentemente ereditate da forme glaciali.
(2) Aree montuose e collinari prealpine	Comprendono la fascia montuosa e collinare prealpina, inclusi i rilievi collinari corrispondenti agli apparati morenici (anfiteatri morenici).
(3) Alta pianura	Comprende la fascia pedemontana a partire dagli apici dei conoidi. È caratterizzata da pendenze superiori a 0.15% ( <a href="#">CASTIGLIONI &amp; PELLEGRINI, 2001</a> ) e tessiture dei sedimenti in genere grossolane (ghiaia grossolana). Include le alte pianure sublacuali. Può essere indicata come Alta pianura "antica" quando è costituita da terrazzi antichi (in tal caso l'alveo può essere confinato).

I tratti dei corsi d'acqua compresi all'interno di ogni unità fisiografica sono denominati **segmenti**. Essi derivano dall'intersezione dei corsi d'acqua con i limiti di unità fisiografica e rappresentano una prima suddivisione in macro-tratti omogenei, funzionale alla successiva definizione dei tratti. Una volta individuati i segmenti, è utile definire per ognuno di essi i seguenti parametri:

- **Area di drenaggio** sottesa (valutata al limite di valle del segmento);

- **Pendenza media della valle**.

Riassumendo, questo primo step si può descrivere in quattro fasi:

1. Si delimitano arealmente le diverse unità fisiografiche;
2. Dall'intersezione dei limiti delle unità fisiografiche con i corsi d'acqua si determina una prima suddivisione in segmenti. Un segmento, se non suddiviso ulteriormente, è un'unità lineare corrispondente ad un'unità fisiografica;
3. In ambito collinare-montuoso, ogni corso d'acqua deve corrispondere ad almeno un segmento. Non esiste pertanto un limite inferiore di lunghezza dei segmenti;
4. Il grado di confinamento valutato in prima approssimazione (tratti prevalentemente confinati, semiconfinati o non confinati), la direzione della valle, quando ritenuta significativa, e le variazioni più significative della pendenza del fondo possono essere elementi da considerare per un'ulteriore suddivisione in segmenti.

## **STEP 2: definizione del grado di confinamento.**

Durante questo passaggio vengono caratterizzate più in dettaglio le condizioni di confinamento, procedendo ad una preliminare suddivisione dei segmenti in tratti. E' dunque necessario recuperare i dati che si riferiscono a: larghezza della piana inondabile, grado di confinamento, indice di confinamento. Come nello step precedente, anche in questo caso si utilizzano carte topografiche e geologiche, assieme a sistemi di telerilevamento / GIS.

Per l'analisi del confinamento si fa riferimento alle due seguenti grandezze:

### **- GRADO DI CONFINAMENTO (GC).**

Esprime la percentuale di lunghezza di un tratto in cui si verifica o meno (presenza/assenza) la condizione di confinamento (contatto diretto con elementi che impediscono la mobilità laterale).

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

1. *Alveo confinato*: oltre il 90% delle sponde è direttamente in contatto con versanti o terrazzi antichi. Eventualmente la pianura è ristretta a punti isolati (meno del 10% della lunghezza del tratto).
2. *Alveo semiconfinato (o parzialmente confinato)*: la pianura è discontinua. Le sponde sono a contatto con pianura alluvionale per una lunghezza compresa tra il 10 ed il 90% della lunghezza del tratto.

3. *Alveo non confinato*: la pianura è continua. Meno del 10% dei margini dell'alveo sono a contatto con i versanti o terrazzi antichi. Le sponde sono quindi completamente deformabili, in modo tale che l'alveo è completamente libero di rimodellare i suoi limiti esterni.

**- INDICE DI CONFINAMENTO (IC).**

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

In base all'indice di confinamento si definiscono 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  $n$ .

Il valore di  $n$ , che permette di separare le classi di confinamento medio e basso, è definito a seconda della morfologia fluviale come segue:

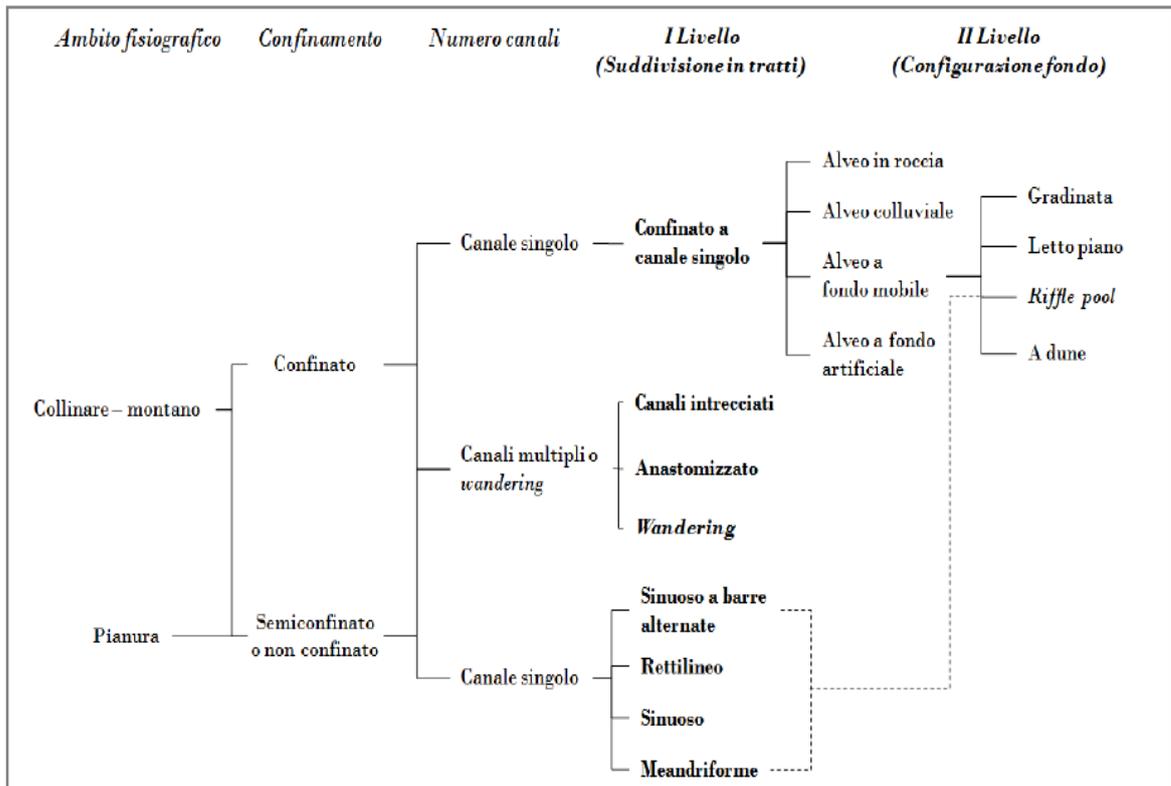
- $n = 5$  per alvei a canale singolo o transizionali sinuosi a barre alternate;
- $n = 2$  per alvei a canali intrecciati o transizionali *wandering*.

In seguito ai risultati di queste due grandezze, i segmenti vengono opportunamente suddivisi in base al confinamento.

**STEP 3: definizione della morfologia dell'alveo.**

In questo caso si procede ad una definizione delle morfologie fluviali presenti, relative al corso d'acqua considerato. I dati necessari a tale scopo sono vari fattori quali: il grado di confinamento, l'indice di sinuosità, l'indice di intrecciamento (indica la forma dei canali), l'indice di anastomizzazione (indica il numero dei canali), la configurazione del fondo (necessario nella classificazione di secondo livello: si veda in seguito). I metodi utilizzati sono,

anche in questo caso, sistemi di telerilevamento / GIS. Una prima schematizzazione del sistema di classificazione morfologica si può ricondurre in prima analisi all'ambito fisiografico nel quale il corso d'acqua è inserito (definito nel precedente STEP), dal quale dipendono le possibili condizioni di confinamento, secondo lo schema riportato in *Figura 4.2* e di seguito descritto.



*Figura 4.2: Criteri di classificazione morfologica basata sul tipo di ambito fisiografico, sul confinamento, sulla forma planimetrica e sulla configurazione del fondo.*

Nel nostro caso (ambito collinare-montuoso), si distingue innanzitutto tra corsi d'acqua confinati e corsi d'acqua semiconfinati o non confinati. Nel caso di **corsi d'acqua confinati**, ad un **primo livello di classificazione** si distingue tra alvei a canale singolo (non ulteriormente classificati) ed alvei a canali multipli o transizionali. Ad un **secondo livello di classificazione** (che avviene contestualmente alla fase di valutazione sul terreno: si veda il capitolo successivo) si può operare un'ulteriore distinzione all'interno dei confinati a canale singolo basata sulla configurazione del fondo. Per i **corsi d'acqua semiconfinati o non confinati**, il criterio è sempre basato sulla forma planimetrica, alla pari dei corsi d'acqua di ambito di pianura.

### 1) **Classificazione dei corsi d'acqua non confinati o semiconfinati**

Per la definizione della morfologia fluviale dei corsi d'acqua non confinati e semiconfinati, si procede con un'analisi GIS di immagini telerilevate facendo riferimento agli indici di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione, descritti in seguito. A tal fine, la **delimitazione dell'alveo** rappresenta un'operazione propedeutica sia alla misura degli indici necessari per la definizione della morfologia fluviale che della larghezza dell'alveo.

L'**alveo** (identificabile anche con il termine "a piene rive" o *bankfull channel*) comprende quella porzione di letto fluviale soggetta a modificazioni morfologiche determinate dalla mobilizzazione ed il trasporto al fondo di sedimenti, ed è identificabile con il canale o canali attivi e le barre. I limiti dell'alveo sono definiti dalla presenza di piana inondabile o, in sua assenza, del terrazzo più basso che è a contatto con l'alveo. Le linee esterne derivanti da tale delimitazione rappresentano le **sponde** dell'alveo.

Per alvei sufficientemente larghi (larghezza > 30 m), la delimitazione dell'alveo avviene in GIS da immagini telerilevate. Per alvei di piccole o medie dimensioni (larghezza < 30 m), la delimitazione non è necessaria e le misure di larghezza e degli indici successivi si basano su rilievi sul terreno alla scala del sito.

- **INDICE DI SINUOSITÀ (IS)** - Si definisce come il rapporto tra lunghezza misurata lungo il corso d'acqua (*la*) e lunghezza misurata per lo stesso tratto seguendo la direzione del tracciato planimetrico complessivo del corso d'acqua.
- **INDICE DI INTRECCIAMENTO (II)** - Si definisce come il numero di canali attivi separati da barre.
- **INDICE DI ANASTOMIZZAZIONE (IA)** - Si definisce come il numero di canali attivi separati da isole fluviali.

Sulla base dei tre precedenti indici, ai quali si aggiungono per alcune tipologie altre osservazioni di tipo qualitativo (si veda in seguito), viene definita la configurazione morfologica complessiva (o pattern morfologico). A tal fine, si fa riferimento a varie definizioni e classificazioni proposte in letteratura, senza tuttavia adottarne una specifica nella sua totalità, in quanto si ritiene che non esistano classificazioni che siano completamente soddisfacenti per gli scopi di questa metodologia. Pertanto le tipologie qui utilizzate, ed in alcuni casi le soglie dei parametri che le individuano, sono definite

appositamente e tengono conto del contesto di applicazione (territorio italiano) e delle esperienze maturate nell'ambito di ricerche condotte a scala nazionale.

## 2) Classificazione dei corsi d'acqua confinati

Per i corsi d'acqua confinati, il criterio di classificazione si differenzia a seconda che siano a canali multipli o transizionali *wandering* oppure a canale singolo.

Nel caso di **canali multipli o transizionali *wandering***, rientrano in queste tipologie quegli alvei a canali multipli o di transizione, che presentano le stesse caratteristiche morfologiche planimetriche degli stessi tipi inclusi tra gli alvei di pianura. In genere gli alvei a canali intrecciati o quelli transizionali corrispondono a tratti deposizionali (LENZI *et al.*, 2000), con pendenze inferiori al 3÷4%, granulometrie costituite in prevalenza da sabbie e ciottoli, con creazione di barre e filoni della corrente che si ramificano attorno ai depositi.

Nel caso di **canale singolo** (inclusi i transizionali sinuosi a barre alternate), la *classificazione di I° livello* non prevede ulteriori suddivisioni, in modo da consentire che tale livello di classificazione, finalizzato alla suddivisione in tratti, sia realizzabile sulla base di analisi di immagini telerilevate e non richieda necessariamente osservazioni sul terreno. Successivamente (contestualmente alla fase di valutazione sul terreno) è possibile procedere alla *Classificazione di II° livello* che si basa sul riconoscimento della configurazione del fondo.

Nella *Figura 4.3* e nella *Tabella 4.2* vengono riprodotte e descritte le caratteristiche principali delle morfologie fluviali presenti nella nostra area di studio.

$1 \leq I_s < 1.05$ e $I_a < 1.5$  <b>Rettilineo</b>		
$1.05 \leq I_s < 1.5$ e $I_a < 1.5$  <b>Sinuoso</b>	 <b>Transizionale wandering</b>	
$I_s \geq 1.5$ e $I_a < 1.5$  <b>Meandriforme</b>	 <b>Transizionale sinuoso a barre alternate</b>	 <b>Canali intrecciati</b>
$I_a \geq 1.5$  <b>Anastomizzato</b>		
$1 \leq I_i < 1.5$	$1 \leq I_i < 1.5$	$I_i \geq 1.5$

Figura 4.3: Schema delle morfologie fluviali e dei relativi campi di variabilità degli indici morfologici planimetrici.

Tabella 4.2: Differenze tra le varie morfologie fluviali in termini di indici di sinuosità, intrecciamento e anastomizzazione.

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		

Per completare la definizione, si descrivono in seguito alcuni parametri che, seppure non influiscano direttamente ai fini dell'attribuzione del tratto di studio ad una tipologia morfologica, sono fondamentali per la caratterizzazione morfologica del tratto stesso, che sono:

- **Pendenza media del fondo (*S*)**: è il rapporto tra il dislivello di quota del fondo e la distanza misurata lungo l'alveo (adimensionale). Per i tratti semiconfinati e non confinati, se non esistono rilievi topografici pregressi, una stima di prima approssimazione può essere ottenuta da carte topografiche;
- **Larghezza dell'alveo (*L*)** (in m): è la larghezza dell'alveo pieno o "a piene rive" ("bankfull channel").
- **Sedimenti dominanti dell'alveo**: ai fini di una più completa caratterizzazione morfologica, è necessario indicare il tipo di sedimenti dominanti presenti nella porzione più attiva dell'alveo (canale e barre), scegliendo tra le seguenti classi granulometriche: Argilla ( $d < 0.002$  mm), Limo ( $0.002$  mm <  $d < 0.0625$  mm), Sabbia ( $0.0625$  mm <  $d < 2$  mm), Ghiaia ( $2$  mm <  $d < 64$  mm).

mm), Ciottoli (64 mm < d < 256 mm), Massi (d > 256 mm). Nel caso di sedimenti eterogenei, è possibile indicare più di una classe. Tale osservazione viene effettuata durante la fase di rilievi sul terreno, successiva alla suddivisione in tratti.

Con i risultati ottenuti, i segmenti vengono infine suddivisi in base alla morfologia dell'alveo.

#### 4.1.1 Definizione della Tipologia fluviale.

Il risultato complessivo degli **STEP 2** e **3** porta ad una prima suddivisione del corso d'acqua in una serie di **Tipologie** sulla base del confinamento e della morfologia dell'alveo (*Tabella*).

Tabella 4.3: Tipologie fluviali derivanti dalla combinazione di confinamento (**STEP 2**) e morfologia (**STEP 3**).

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

#### STEP 4: suddivisione finale in tratti.

Attraverso questo STEP viene ultimata la definizione di tratti omogenei dal punto di vista morfologico. Si ha necessità quindi di avere informazioni sulla presenza o meno di discontinuità idrologiche come dighe o affluenti, presenza di artificializzazioni, informazioni riguardanti le dimensioni della pianura, la larghezza dell'alveo e le dimensioni del profilo longitudinale. I tre criteri precedenti (ambito fisiografico, confinamento e morfologia) sono quelli alla base della suddivisione in tratti omogenei dal punto di vista morfologico. Tuttavia,

per procedere alla suddivisione definitiva, occorre prendere in considerazione anche i seguenti aspetti:

- **Discontinuità della pendenza del fondo.** La presenza di discontinuità significative della pendenza del fondo, nel caso degli alvei confinati, è il primo criterio di ulteriore suddivisione dei tratti definiti nel precedente STEP sulla base del numero dei canali. In questo STEP viene completato il profilo longitudinale anche per i tratti non confinati o semiconfinati, al fine di verificare l'esistenza di eventuali variazioni di pendenza, le quali in genere trovano corrispondenza in altri elementi (ad esempio variazione della morfologia dell'alveo), ma possono servire di ausilio per la delimitazione di un tratto;
- **Discontinuità idrologiche naturali o artificiali.** Si possono considerare come discontinuità idrologiche gli affluenti che determinano significativi incrementi localizzati di portate liquide e/o solide. Le discontinuità artificiali sono invece costituite dalle **dighe**, le quali in genere determinano la presenza di un vaso più o meno esteso a monte e di un tratto immediatamente a valle con una significativa riduzione delle portate di piena e di quelle solide. Similmente, anche **briglie di trattenuta** di notevole altezza (indicativamente maggiori di 5÷6 m) e traverse di una certa dimensione rappresentano delle discontinuità di cui tener conto, soprattutto nel caso di totale intercettazione del trasporto solido al fondo che le rende sostanzialmente assimilabili a dighe;
- **Artificializzazione.** Nel caso di alvei montani, l'artificializzazione, quando molto spinta (cunettoni o briglie molto ravvicinate), rappresenta un criterio per la stessa classificazione morfologica (alveo a fondo artificiale), e pertanto ne viene già tenuto conto nella suddivisione in tratti nello **STEP 3**. In casi di minore "irrigidimento" del corso d'acqua montano, l'artificializzazione non impedisce l'attribuzione di un alveo ad una categoria morfologica in quanto i parametri planimetrici possono essere ancora misurati. È possibile pertanto tener conto del grado di artificializzazione in questa fase. In genere, i tratti delimitati in base a tale criterio devono essere quelli per i quali il grado di artificializzazione è tale da impedirne ogni dinamica planimetrica (ad es., sponde completamente stabilizzate);

- **Variazioni delle dimensioni della pianura e/o dell'indice di confinamento.** Talora si può ritenere importante considerare significative discontinuità di uno o entrambi questi parametri come criterio per l'individuazione dei limiti di un tratto;
- **Variazioni della larghezza dell'alveo.** In alcuni casi, l'alveo può mantenere la sua tipologia morfologica ma variare significativamente le sue dimensioni, seppure ciò in genere è associato a variazioni idrologiche (es. apporti di un affluente) oppure effetti antropici (es. diga o altre opere) che sono già stati considerati precedentemente. Tale aspetto può essere un criterio aggiuntivo, ad esempio nei casi di dubbio proprio per stabilire se è opportuno considerare o meno una certa discontinuità idrologica;
- **Variazioni della granulometria dei sedimenti:** può essere in alcuni casi un altro fattore di suddivisione, laddove ad esempio esista un passaggio a sedimenti con dimensioni significativamente differenti.

A conclusione della fase di suddivisione in tratti, è utile raccogliere ulteriori informazioni e dati, qualora disponibili, relativamente ai seguenti aspetti:

- **Area di drenaggio** sottesa alla chiusura del tratto, almeno per i tratti successivamente individuati per il monitoraggio;
- **Diametro dei sedimenti:** nel caso in cui fossero disponibili dati relativi a misure granulometriche nel tratto. Tale informazione risulta molto utile, sia per una migliore caratterizzazione della tipologia di alveo che per eventuali stime di trasporto solido;
- **Portate liquide.** In questa fase è utile individuare i punti del sistema fluviale dove esistono sufficienti informazioni sulle portate liquide, vale a dire le **stazioni di misura idrometrica** per le quali sia disponibile un numero sufficiente di dati storici tale da poter delineare con sufficiente grado di dettaglio il regime idrologico;
- **Portate solide.** Il trasporto solido ha un ruolo determinante per la morfologia dei corsi d'acqua e per le variazioni morfologiche degli alvei. Entrambe le componenti principali del trasporto solido, quello in sospensione e quello al fondo, sono importanti. Tuttavia, ai fini delle modificazioni morfologiche dell'alveo, quello al fondo (seppure rappresenta la frazione minore) è il più significativo. La determinazione del trasporto solido, come noto, è molto complessa. È necessario comunque, ai fini di un'analisi morfologica, prendere in considerazione se esistano nel bacino misure pregresse, studi o valutazioni atte a quantificare il trasporto solido in una o più sezioni del sistema fluviale;

- **Opere di alterazione delle portate liquide e solide nel bacino.** È opportuno procedere, già in questa fase, ad una raccolta delle informazioni esistenti riguardo alle opere di alterazione delle portate liquide e solide a scala di bacino. Tali informazioni saranno infatti indispensabili nella fase di valutazione dello stato attuale. Le **opere di alterazione delle portate liquide** sono le seguenti: dighe, casse di espansione, derivazioni, canali diversivi o scolmatori. Riguardo a tali opere, oltre alla loro ubicazione, è opportuno raccogliere le informazioni disponibili riguardo all'anno di realizzazione, funzionamento (es. diga per scopi solo idroelettrici o con effetti di laminazione delle portate di piena) ed entità delle alterazioni delle portate liquide. Le **opere di alterazione delle portate solide** che occorre considerare sono quelle che sporgono dal fondo dell'alveo e che possono produrre una totale o parziale intercettazione del trasporto solido al fondo, ovvero dighe, briglie, traverse. Anche per tali opere è opportuno raccogliere informazioni riguardo ubicazione, epoca di realizzazione (quando disponibile), eventuale presenza di dispositivi di rilascio di sedimenti. Particolare attenzione va posta, in **ambito montano**, alla tipologia di briglia (di trattenuta, di consolidamento, filtrante) ed al suo grado di riempimento, in modo da valutare se ha un effetto di intercettazione totale o parziale del trasporto solido al fondo oppure (nel caso di totale riempimento) se esercita solo un effetto indiretto di riduzione della capacità di trasporto (a causa della riduzione di pendenza).

I segmenti vengono quindi definitivamente suddivisi in tratti, i quali rappresentano l'unità elementare di base funzionale alle analisi successive.

## 4.2 Fase 2: valutazione dello stato attuale.

La valutazione morfologica dei corsi d'acqua si sviluppa per livelli successivi. Si possono distinguere due livelli di approfondimento diversi:

**1) Valutazione di primo livello: Classificazione dello stato morfologico attuale.** Si basa sulle condizioni attuali di funzionalità ed artificialità e tiene conto delle variazioni morfologiche subite dal corso d'acqua in tempi relativamente recenti come risultato di alterazioni antropiche passate. Tale valutazione può essere effettuata su singoli tratti del reticolo idrografico con limitate informazioni delle condizioni a scala di bacino e consente quindi una prima classificazione dello stato morfologico tale da permettere di individuare i tratti con maggiori criticità o pregi.

**2) Valutazione di secondo livello: Analisi delle cause e definizione delle azioni.** Esaurita la prima fase su tutti i tratti di un sistema idrografico, o su una serie di tratti rappresentativi, è possibile approfondire, anche con l'integrazione di altre informazioni a scala di bacino, la comprensione degli impatti, delle cause e dei rapporti tra tratti o porzioni diverse del bacino.

In questo caso verrà trattata la sola valutazione di primo livello; non è ancora possibile eseguire un'analisi approfondita delle cause. Quindi si rimanda a sviluppi successivi.

### 4.2.1 Classificazione dello stato morfologico attuale.

La fase di classificazione dello stato attuale viene suddivisa nei seguenti *STEP* (Figura 4.4):

- 1) **Funzionalità geomorfologica.** Si valutano le forme e la funzionalità dei processi;
- 2) **Artificialità.** Si valuta in base all'esistenza di opere e di interventi;
- 3) **Variazioni morfologiche.** Si valutano le variazioni avvenute negli ultimi decenni (con particolare riferimento agli anni '50 per quanto riguarda le variazioni planimetriche).

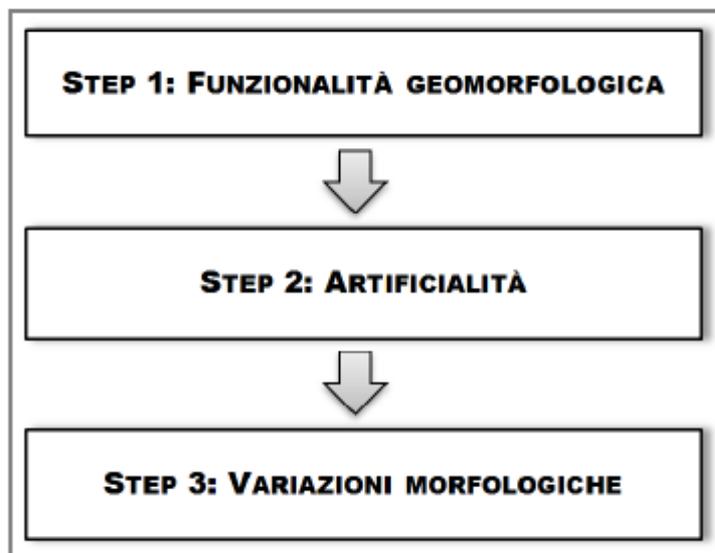


Figura 4.4: Suddivisione in STEP della fase di classificazione dello stato morfologico attuale.

Le fasi di analisi della funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche vengono effettuate attraverso l'ausilio di apposite **schede di valutazione**, che consentono un'analisi guidata dei vari aspetti, attraverso l'impiego integrato di analisi GIS da immagini telerilevate e rilevamenti sul terreno. A tal fine vengono usati un certo numero di **indicatori**, intesi di seguito in senso lato, per indicare attributi o descrittori qualitativi dei vari aspetti considerati. Ogni indicatore è poi valutato attraverso una o più variabili quantitative o qualitative (per alcuni indicatori, soprattutto per la funzionalità, si fa ricorso a valutazioni interpretative piuttosto che a parametri). Le schede si differenziano in alcune componenti a seconda della tipologia fluviale e delle dimensioni del corso d'acqua, in modo da consentire una valutazione relativa alle caratteristiche morfologiche della tipologia d'alveo alla quale il tratto analizzato appartiene.

La **funzionalità** e l'**artificialità** si differenziano in funzione delle seguenti tipologie fluviali:

- 1) Alvei confinati (**C**);
- 2) Alvei semiconfinati/non confinati (**SC/NC**).

Le **variazioni morfologiche** vengono analizzate per i corsi d'acqua di grandi dimensioni (**G**) (larghezza  $L > 30$  m), sia per quelli semiconfinati/non confinati che per quelli confinati. Nella *Tabella 5.1* è riportata una lista di indicatori relativa ai tre aspetti (funzionalità, artificialità, variazioni).

Tabella 4.4: Lista degli indicatori e relativi campi di applicazione (alcuni indicatori non si valutano per qualche sottocaso specificato nelle schede). **C**: confinati; **SC**: semiconfinati; **NC**: non confinati; **CI/W**: canali intrecciati e wandering; **G**: grandi (L > 30 m).

SIGLA	INDICATORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
<b>Funzionalità</b>		
<i>Continuità</i>		
F1	Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso	Tutti
F2	Presenza di piana inondabile	Solo SC/NC
F3	Connessione tra versanti e corso d'acqua	Solo C
F4	Processi di arretramento delle sponde	Solo SC/NC
F5	Presenza di una fascia potenzialmente erodibile	Solo SC/NC
<i>Morfologia</i>		
<i>Configurazione morfologica</i>		
F6	Morfologia del fondo e pendenza della valle	Solo C
F7	Forme e processi tipici della configurazione morfologica	SC/NC: tutti; C: solo CI/W
F8	Presenza di forme tipiche di pianura	Solo SC/NC meandriformi in ambito fisiografico di pianura
<i>Configurazione sezione</i>		
F9	Variabilità della sezione	Tutti
<i>Struttura e substrato alveo</i>		
F10	Struttura del substrato	Tutti
F11	Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni	Tutti
<i>Vegetazione fascia perifluviale</i>		
F12	Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Tutti
F13	Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde	Tutti
<b>Artificialità</b>		
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte</i>		
A1	Opere di alterazione delle portate liquide	Tutti
A2	Opere di alterazione delle portate solide	Tutti
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto</i>		
A3	Opere di alterazione delle portate liquide	Tutti
A4	Opere di alterazione delle portate solide	Tutti
A5	Opere di attraversamento	Tutti
<i>Opere di alterazione della continuità laterale</i>		
A6	Difese di sponda	Tutti
A7	Arginature	Solo SC/NC
<i>Opere di alterazione della morfologia dell'alveo e/o del substrato</i>		
A8	Variazioni artificiali di tracciato	Solo SC/NC
A9	Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato	Tutti
<i>Interventi di manutenzione e prelievo</i>		
A10	Rimozione di sedimenti	Tutti
A11	Rimozione di materiale legnoso	Tutti
A12	Taglio della vegetazione in fascia perifluviale	Tutti
<b>Variazioni morfologiche</b>		
V1	Variazione della configurazione morfologica	Solo G
V2	Variazioni di larghezza	Solo G
V3	Variazioni altimetriche	Solo G

#### **4.2.2 Compilazione delle schede.**

Si riportano di seguito alcune informazioni relative alla fase di preparazione ed alla compilazione delle schede di valutazione. La versione delle **Schede** da utilizzare sul terreno.

#### **Fonti di informazione e successione delle fasi.**

Si riporta di seguito la successione generale delle fasi di lavoro, partendo per completezza da quelle relative alla fase di inquadramento e suddivisione in tratti (1 e 2), per poi concentrarsi su quelle relative alla compilazione delle schede e valutazione dello stato attuale (punti successivi).

In generale, si possono idealmente distinguere le seguenti fasi di lavoro, tenendo presente che le prime tre sono già state effettuate durante la fase di inquadramento e suddivisione in tratti:

1) *Raccolta di materiale esistente e ricognizione iniziale.* È necessario acquisire il materiale esistente (carte topografiche, geologiche, uso del suolo, ecc.) utile per un inquadramento iniziale del bacino e degli aspetti fisici di interesse. Può essere utile in questa fase una prima ricognizione speditiva all'interno del bacino per l'individuazione delle unità fisiografiche presenti e la delimitazione dei segmenti. La consultazione del Portale Cartografico Nazionale può essere molto utile in questa fase, così come in alcune fasi successive.

2) *Classificazione morfologica iniziale e delimitazione del tratto.* Tale fase può essere condotta partendo da un'osservazione delle caratteristiche del corso d'acqua da immagini satellitari a sufficiente risoluzione, integrata poi dagli altri tipi di materiale (carte geologiche, carte topografiche, foto aeree) per la misura dei parametri necessari ai fini della classificazione delle morfologie dell'alveo e per l'individuazione di eventuali altre discontinuità.

3) *Acquisizione di informazioni relative alle opere ed interventi* presenti e passati da parte degli enti responsabili della gestione dei corsi d'acqua (comunità montane, consorzi di bonifica, genio civile, ecc.).

4) *Osservazione ed analisi delle immagini telerilevate.* Si analizzano le immagini telerilevate disponibili e, quando necessario, si effettuano alcune misure su GIS relativamente ad alcuni parametri (es. ampiezza e continuità fascia erodibile e

vegetazione perifluviale, ecc.) per definire preliminarmente le classi relative a tutti i vari indicatori, eccetto che per quelli che richiedono necessariamente la ricognizione sul terreno. Durante questa fase e quella successiva sul terreno viene compilata la scheda di valutazione in formato cartaceo. È importante che in questa fase venga effettuato un elenco dei punti critici e delle informazioni strettamente necessarie da raccogliere durante la successiva fase sul terreno. Per gli indicatori di artificialità, si integrano le informazioni eventualmente raccolte durante la fase precedente con le osservazioni delle opere esistenti che si possono individuare sulle immagini disponibili. Per gli indicatori di variazione planimetrica, si effettuano le osservazioni e analisi GIS relative al confronto di foto aeree (volo IGM GAI e volo recente), nonché si acquisiscono eventuali dati ed informazioni esistenti relativi alle variazioni altimetriche.

5) *Rilievi sul terreno*. Affinché non risulti dispersiva e dispendiosa, la fase sul terreno deve essere ben organizzata ed indirizzata a risolvere gli aspetti e punti critici già individuati durante la fase precedente, oltre che a definire quegli aspetti che è possibile osservare esclusivamente sul terreno. È importante disporre sul terreno della copertura delle foto aeree più recenti (o immagini satellitari) e di tutto il materiale che può essere utile (suddivisione dei tratti, profilo longitudinale, documentazione delle opere, ecc.). In particolar modo, per l'interpretazione delle variazioni altimetriche e di altri aspetti (es. piana inondabile) è estremamente utile disporre della stampa del confronto tra il tracciato del 1954 – '55 e quello attuale.

6) *Perfezionamento e conclusione delle analisi da immagini telerilevate*. Attraverso i rilievi sul terreno sarà stato possibile chiarire i punti critici precedentemente individuati (ad esempio identificazione della piana inondabile, vegetazione, ecc.), pertanto sarà possibile successivamente perfezionare alcune misure in GIS di alcuni parametri e concludere quindi la valutazione. Durante questa fase si riportano inoltre le informazioni raccolte sul terreno sulla scheda in formato elettronico e si giunge al calcolo definitivo dell'Indice di Qualità Morfologica (IQM).

Relativamente alle fasi riguardanti la compilazione delle schede, è opportuno aggiungere una serie di precisazioni riguardanti gli **ambiti spaziali** di analisi e la loro delimitazione, nonché l'**intervallo temporale** di applicazione.

- **Delimitazione dell'ambito laterale** di applicazione delle schede (ampiezza della regione fluviale o corridoio fluviale). Per gli alvei semi- e non confinati, l'ambito laterale comprende in teoria l'intera pianura alluvionale (almeno per alcuni indicatori), fino quindi al contatto con i versanti o con terrazzi antichi che presentano significativi dislivelli rispetto alla pianura. A tal fine si utilizzano le varie fonti di informazione disponibili, quali carte geologiche, topografiche ed immagini telerilevate. Nel caso di alvei confinati, possono essere presenti piccoli lembi di pianura, oppure essa può essere piuttosto continua ma di larghezza molto limitata. Oltre alle porzioni di pianura eventualmente presenti, l'ambito laterale di un alveo confinato si estende per 50 m (in pianta) lungo i versanti su entrambi i lati. Alcuni indicatori (si veda di seguito) vengono infatti valutati considerando tale fascia.
- **Delimitazione dell'alveo.** A tal fine, si individuano le immagini più recenti disponibili a risoluzione adeguata per consentire le osservazioni necessarie per la fase di valutazione e si procede con la delimitazione dell'alveo in GIS, secondo quanto descritto nello STEP 3 della FASE 1. La delimitazione dell'alveo è funzionale a vari aspetti, in particolar modo alla definizione della morfologia ed alla misura della larghezza media nel tratto. Quest'ultima non entra in gioco nella definizione della morfologia, ma è necessaria per alcuni indicatori per i quali l'ampiezza di determinate caratteristiche (es. piana inondabile, fascia di vegetazione, ecc.) viene rapportata alla larghezza dell'alveo ai fini della definizione delle classi.
- **Osservazioni sul terreno.** È importante precisare che la delimitazione dell'alveo rimane quella definita sulle immagini più recenti, secondo quanto specificato nel punto precedente, e non necessita di essere modificata sul terreno nel caso in cui si osservino delle variazioni (peraltro molto probabili nel caso di alvei dinamici e liberi di modificarsi lateralmente). Per quegli indicatori per i quali sono necessarie misure GIS (ad esempio di ampiezza o continuità longitudinale di determinate caratteristiche), queste si riferiscono infatti alla data dell'immagine. Le osservazioni sul terreno servono per verificare determinati aspetti che non è possibile definire del tutto dalle immagini (ad es., se una superficie è o meno piana inondabile), integrare o confermare le osservazioni da immagini (es. verificare se sono presenti erosioni di sponda), oltre che definire quegli indicatori che sono invece osservabili esclusivamente sul terreno. Per quanto riguarda gli elementi di artificialità, le

osservazioni sul terreno possono integrare le eventuali informazioni già disponibili o le osservazioni effettuate da immagini (se ad esempio si osserva sul terreno un'opera realizzata successivamente all'anno delle immagini utilizzate, essa va considerata).

La compilazione delle schede non è pertanto da riferire rigidamente ad una precisa **data** (quella delle immagini o quella del rilievo sul terreno), quanto piuttosto ad un certo **intervallo temporale** (quello compreso tra le due), facendo uso sinergico di immagini e osservazioni sul terreno.

Infine, riguardo al **periodo dell'anno durante il quale effettuare i rilievi sul terreno**, non ci sono particolari indicazioni o preclusioni, se non quella di evitare eventi di piena, sia per ovvi motivi di sicurezza sia perché si tratta di una situazione sfavorevole per osservare le caratteristiche dell'alveo. Durante i periodi di estrema siccità (ad esempio nel caso di alveo asciutto) non è preclusa la possibilità di effettuare la valutazione, seppure tale condizione possa creare qualche problema nell'interpretazione di alcune forme e caratteristiche (ad es., l'indice di intrecciamento). È importante a tal proposito precisare che la valutazione riguarda l'alveo del corso d'acqua (non la sola parte sommersa dell'alveo).

#### **Campi di applicazione.**

Il sistema di valutazione può essere applicato a qualunque corso d'acqua. Si tenga conto dei seguenti campi di applicazione e/o limitazioni:

- Non è adatto a rappresentare le forme ed i processi tipici di alvei di piccole dimensioni alla testata del bacino (aste di primo ordine) o a forme di incisione tipo *gullies* (seppure la tipologia di alveo colluviale è considerata nella classificazione dei confinati);
- Può essere applicato anche nel tratto di foce, fino allo sbocco in mare, cioè fin laddove presenta un alveo ben delimitato tra sponde;
- Si applica al caso di alvei fortemente artificializzati, ad esempio corsi d'acqua parzialmente o completamente fissati di attraversamento di aree urbane;
- Non si applica invece al caso di canali artificiali, ovvero corsi d'acqua creati artificialmente e non esistenti originariamente;
- Non si applica ai laghi o agli invasi artificiali (non essendo corsi d'acqua).

### **Attribuzione dei punteggi e sintesi delle informazioni.**

Per poter giungere ad una classificazione dello stato morfologico attuale, è necessario definire una procedura di valutazione. Il criterio qui utilizzato rientra tra i sistemi di valutazione a punteggi, ovvero si assegnano ai descrittori (attributi) considerati dei punteggi proporzionali all'importanza che ciascuno di essi assume nella valutazione complessiva.

La procedura qui sviluppata, seppure relativamente semplice, include un numero elevato di attributi ed indicatori. Infatti si è scelto, piuttosto che selezionare pochi fattori ritenuti più significativi, di prendere in considerazione tutti gli aspetti necessari per una valutazione complessiva, vale a dire consentire un'analisi sistematica ed organizzata (seppure non esaustiva) del problema. A tal fine, le alterazioni antropiche sono prese in esame sia dal punto di vista della presenza di elementi di artificialità, che dei loro impatti sulla funzionalità dei processi morfologici e sulle variazioni morfologiche indotte da tali alterazioni. Si noti che gli indicatori relativi alla funzionalità richiedono in una certa misura un livello interpretativo di forme e processi geomorfologici (ovvero uso di indicatori qualitativi), piuttosto che essere basati sulla misura di determinati parametri, pertanto necessitano di esperti con adeguata estrazione professionale e preparazione specifica sull'argomento. Si riportano nella *Tabella 4.5* i punteggi assegnati ai singoli indicatori.

Tabella 4.5: Punteggi relativi agli indicatori di funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche.

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
<b>ARTIFICIALITÀ</b>					<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<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
<i>V3</i>		Variazioni altimetriche			0	4	8   12

I **principali criteri di attribuzione dei punteggi** sono i seguenti:

- I punteggi attribuiti ai vari attributi sono numeri interi non negativi (come osservabile nelle *Tabelle 4.5 e 4.6*);
- Essi esprimono degli scostamenti rispetto alla condizione di riferimento di corso d'acqua non alterato, e sono quindi direttamente proporzionali al grado di alterazione relativo ad un dato indicatore. Pertanto, la classe *A* è associata ad uno scostamento nullo (assenza di alterazioni) mentre la classe *C* è associata al massimo scostamento (massima alterazione);
- I punteggi sono stati differenziati tenendo conto dell'importanza relativa di ogni indicatore;
- I punteggi tengono inoltre conto del peso che si ritiene possa avere ognuna delle tre categorie (Funzionalità, Artificialità e Variazioni) sul punteggio complessivo (secondo quanto deducibile dalla *Tabella 4.6*).

*Tabella 4.6:* Riepilogo dei massimi punteggi per le principali tipologie. **F** = funzionalità; **A** = artificialità; **V** = variazioni; *P* = piccoli; *G* = medio - grandi.

DIMENSIONI	F	A	V	MASSIMO PUNTEGGIO
<i>Confinati</i>				
<i>P</i>	37	63		100
<i>G</i>			14	114
<i>Semi- non confinati</i>				
<i>P</i>	46	72		118
<i>G</i>			24	142

Riguardo ai **massimi punteggi**, essi variano a seconda della tipologia (confinati e semi- non confinati) ed a seconda delle dimensioni (corsi d'acqua piccoli o medio-grandi), in funzione delle quali dipende se vengono considerati o meno gli indicatori relativi alle variazioni. È stato ritenuto utile definire i punteggi in maniera tale che il valore minimo tra i punteggi massimi fosse pari a 100 (confinati di piccole dimensioni). Per quanto riguarda il massimo punteggio relativo alla funzionalità per i confinati, si noti che il valore totale di 37 corrisponde alla somma dei massimi punteggi per tutti gli indicatori di *F* meno 5, considerando che *F6* ed *F7* (entrambi valgono 5) sono alternativi tra loro, applicandosi ad alvei a canale singolo oppure a canali multipli / transizionali rispettivamente.

Per quanto riguarda la valutazione finale, come già riportato nella Guida alle risposte, si definisce un **Indice di Alterazione Morfologica (IAM)** ed un **Indice di Qualità Morfologica  $IQM=1-IAM$** , con significato corrispondente all'*EQR (Environmental Quality Ratio)*. Tale indice infatti assume valore pari ad 1 nel caso di un corso d'acqua completamente inalterato (coincidente con condizione di riferimento) e pari a 0 per un corso d'acqua completamente alterato. Sulla base dei valori dell'*IQM*, sono state definite le **classi di qualità morfologica** secondo quanto specificato di seguito (*Tabella 4.7*).

*Tabella 4.7: Classi di qualità morfologica.*

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

I valori dei punteggi relativi ai vari indicatori ed i limiti tra le classi di qualità sono stati verificati e meglio definiti a seguito di una fase di test che è stata condotta su un numero sufficientemente elevato di tratti rappresentativi di diverse morfologie (confinati, semi- e non confinati, meandriformi, a canali intrecciati, ecc.) e di varie situazioni di antropizzazione (da corsi d'acqua relativamente naturali a fortemente antropizzati).

Per quanto riguarda il **grado di confidenza** nelle risposte, si distingue tra alto, medio e basso grado di confidenza (il caso di alto grado per semplicità viene omissis, mentre gli altri due casi vengono segnati in un'apposita colonna sulla scheda a destra dei punteggi). Nei casi in cui il livello di confidenza non sia alto (indifferentemente se è medio o basso), bisogna innanzitutto indicare sulla scheda la possibile classe di risposta alternativa (è anche previsto il caso in cui esiste un'incertezza tra tutte e tre le classi), e successivamente calcolare la differenza di punteggio che si avrebbe tra le due (o più) possibili risposte. Al termine, si effettuano le somme degli scostamenti negativi e positivi e si determina il risultante campo di valori di *IAM* ed *IQM*.

### 4.3 Fase 3: monitoraggio morfologico.

#### Tipi di monitoraggio morfologico.

Sulla base della valutazione dello stato morfologico attuale, possono essere individuati, all'interno di un bacino idrografico, alcuni **tratti rappresentativi** di varie situazioni (in funzione ad esempio degli ambiti fisiografici e della posizione nel bacino) sui quali realizzare un'attività di monitoraggio.

In generale si possono distinguere **due metodologie di monitoraggio**:

**1) Monitoraggio non strumentale:** consiste nella ripetizione periodica della procedura di valutazione dello stato morfologico attuale (applicazione delle schede di valutazione). Oltre ad un nuovo rilievo sul terreno e all'eventuale aggiornamento degli elementi artificiali, esso richiede possibilmente l'analisi di nuove immagini al fine di poter aggiornare la valutazione delle variazioni morfologiche. Tale monitoraggio permette di valutare se si sono verificate delle variazioni delle condizioni morfologiche, ossia dei segnali di miglioramento o peggioramento (rispettivamente attraverso un incremento o riduzione dell'Indice di Qualità Morfologica). Si tratta di una procedura relativamente rapida che tuttavia non consente un'analisi approfondita delle eventuali cause di alterazione e trend di aggiustamento morfologico.

**2) Monitoraggio strumentale:** richiede l'effettuazione di alcune misure periodiche sul terreno (oltre che da immagini telerilevate), in particolar modo per analizzare in maniera più sistematica le eventuali variazioni morfologiche (p.e., variazioni di sezione e di quota del fondo). Tale monitoraggio è più oneroso del precedente ma può consentire di analizzare in modo più approfondito le cause ed i trend di aggiustamento morfologico in atto.

## 5. PRECEDENTI ESPERIENZE DI APPLICAZIONE DELL'IQM

Precedentemente a questo studio ci sono state quattro applicazioni dell'indice IQM nel territorio italiano, in cui si è valutata la qualità morfologica in tipologie fluviali molto diverse tra loro, il che consolida l'efficacia di tale indice in molti dei suoi aspetti.

- *Paper: "L'Indice di Qualità Morfologica (IQM) dei corsi d'acqua: applicazione del metodo di valutazione al F. Chiani (Italia centrale)" (CENCETTI et al., 2010).* Si tratta di uno studio eseguito in Italia centrale, sul bacino del torrente Chiani, un affluente del Tevere. Lo studio non applica fino in fondo la procedura di valutazione dell'IQM, in quanto si ferma alla suddivisione in tratti omogenei tramite GIS, definendo 14 tratti omogenei che partono dalla sorgente (ordine 1), fino alla confluenza con il fiume Paglia (ordine 7). Si tratta comunque della prima vera applicazione di questo indice in Italia.
- *Tesi di laurea: "Applicazione dell'indice di qualità morfologica a due tratti del fiume Adige" (VANGELISTA M., 2011).* In questa tesi è stato applicato l'Indice di Qualità Morfologica (IQM) a due tratti del fiume Adige, il primo in pianura alluvionale in località San Martino di Venezze (RO) ed il secondo collocato in zona pedemontana-collinare in località Rivoli Veronese (VR). I dati, rappresentati da foto aeree, lavori di sezione e piante topografiche, sono poi stati supportati da rilievi sul campo per valutarne l'impatto sul terreno, e confrontati con i dati disponibili dagli anni '50. Eseguita la scheda di valutazione per ogni tratto, è stato quindi ricavato l'IQM ed assegnato ad ognuno la propria classe di merito, con il risultato di un tratto di qualità *scadente* in bassa pianura ed un tratto di qualità *moderata* in zona pedemontana-collinare.
- *Paper: "A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI)" (SURIAN et al., 2012).* In questo studio si è svolta la sperimentazione dell'IQM a 102 fiumi italiani, comprendendo una vasta gamma di condizioni fisiche e antropiche, ed ha permesso la sperimentazione della metodologia generale per controllare la precisione degli indicatori nei punteggi. Inoltre, sono stati discussi nel documento limiti, punti di forza ed applicabilità del metodo.

- *Paper: "Assessment of morphological and ecological conditions of Italian alpine rivers using the Morphological Quality Index (IQM) and Odonata" (SURIAN et al., 2012).* In questo studio si è cercato se sono uniti l'indice IQM ed insetti bioindicatori della famiglia Odonata, ai quali appartengono le più conosciute libellule, allo scopo di verificare le condizioni generali di salute dei fiumi alpini italiani sotto l'aspetto morfologico ed ecologico. I tratti presi in considerazione sono 6, rispettivamente dei fiumi Adige, Brenta e Tagliamento, in un ambito morfologico di pianura. I risultati indicano un IQM generalmente moderato, con un livello che tende ad abbassarsi se si prendono in considerazione anche i bioindicatori.
  
- *Tesi di laurea: "Valutazione Idromorfologica (IDRAIM) e applicazione dell'indice di qualità morfologica (IQM) con tecniche di analisi GIS avanzate nel torrente Cordevole" (ZORZI A., 2013).* Questa tesi, ancora inedita, prende in considerazione una ventina di tratti nel bacino del torrente Cordevole, ed indica le fasi preparatorie per le operazioni di valutazione della tesi che sto descrivendo. In questa tesi, infatti, si è proceduto all'inquadramento ed alla suddivisione in tratti del torrente Cordevole ed i suoi affluenti, fino all'ordine 3, dalla sorgente alla confluenza con il fiume Piave. I tratti valutati sono di ambiti diversi, ed hanno riguardato sia il Cordevole che alcuni dei suoi affluenti principali, cercando di dare una valutazione generale delle condizioni morfologiche dell'intero bacino. Non è quindi un caso che i tratti abbiano una forte dispersione di classi di livello, e la loro descrizione ne spiega i motivi.

## 6. DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

### 6.1. Inquadramento generale.

#### 6.1.1. Inquadramento geografico: Il bacino del Cordevole.

Il Cordevole è un torrente del Veneto, principale affluente del fiume Piave, misura 78.92 km ed è il più lungo corso d'acqua fra quelli interamente compresi nella provincia di Belluno. Il Cordevole nasce presso il Passo Pordoi a quota 1919 m s.l.m., in comune di Livinallongo del Col di Lana e confluisce nel fiume Piave presso il comune di Mel, posto a 275m s.l.m.

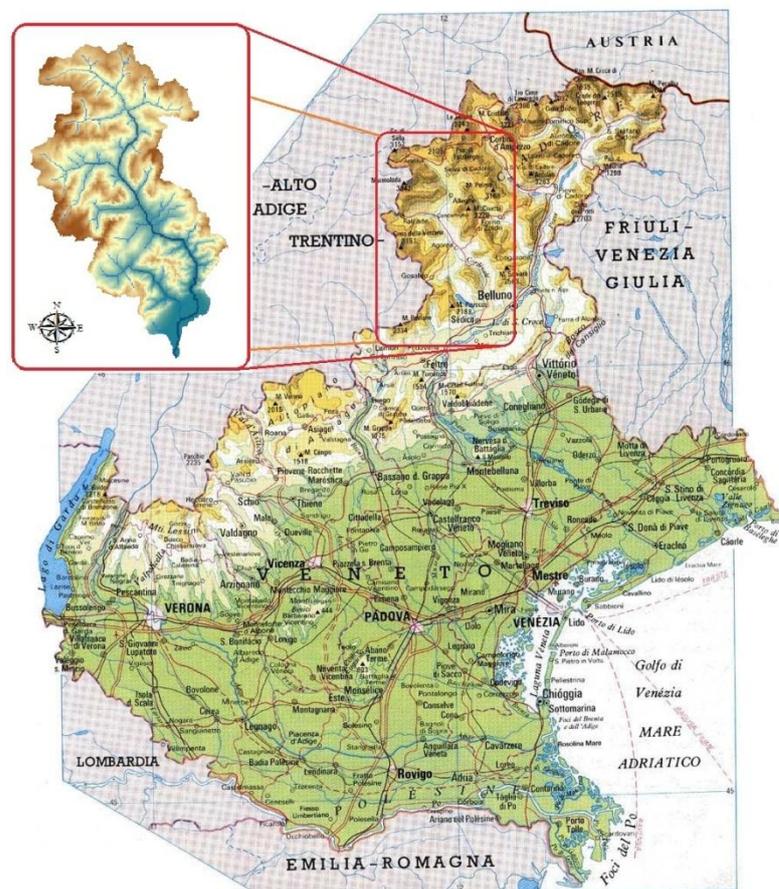


Figura 6.1: Bacino idrografico del torrente Cordevole.

Il torrente Cordevole estende il suo bacino (Figura 6.1) che misura 876.77 Km<sup>2</sup>, quasi tutto all'interno dell'Agordino. A Caprile riceve l'apporto da due dei suoi principali tributari, il torrente Fiorentina ed il Pettorina, poi, ad Alleghe forma l'omonimo lago di sbarramento originatosi a seguito di una frana del monte Piz nel 1771.

Il Cordevole prosegue il suo corso verso Cencenighe Agordino, dove riceve il torrente Biois e forma il lago del Ghirlo. All'altezza di Taibon Agordino vi confluisce in esso il Tegnas,

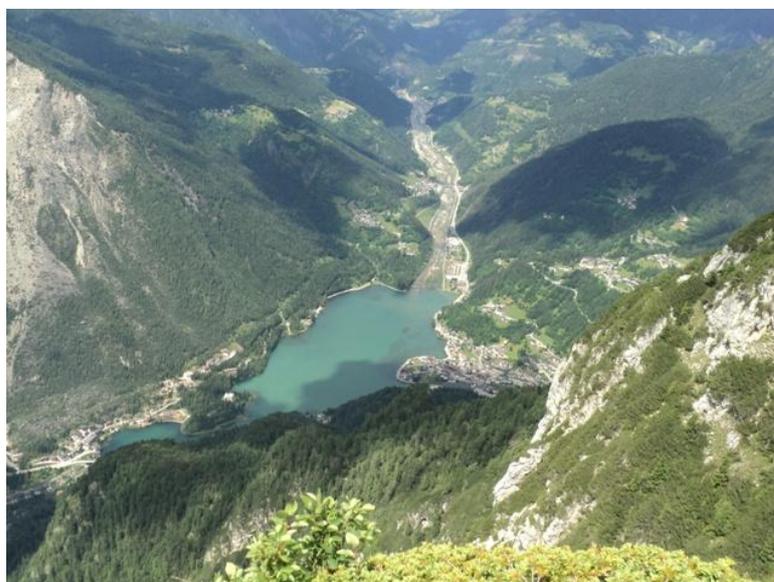
successivamente passa il paese di Agordo e poi prosegue lungo una valle non molto ampia, dove talvolta rimane in secca a causa dei prelievi operati a scopi idroelettrici, fino a scorrere nel paese di Peron in comune di Sedico.

A pochi chilometri dalla foce a 320 m s.l.m. riceve dalla destra le acque del torrente Mis, altro principale tributario, che sono più abbondanti di quelle del Cordevole stesso in quanto all'altezza del paese di Gron di Sospirolo vengono restituiti i prelievi idrici effettuati a monte dal lago del Mis nel quale si riversano le condutture che partono dall'Agordino.

L'analisi morfometrica del bacino del torrente Cordevole è stata eseguita mediante l'uso di programmi GIS, nella Figura è rappresentato il DEM (celle 10 m x 10 m) dell'area di studio e la rete idrica classificata secondo *Horton-Strahler* fermandosi però ai collettori del terzo ordine.

La nostra area di studio si estende sulla parte alta del bacino, con la sezione di chiusura individuata sul ponte di Sala di Alleghe, circa 2 km a valle del lago di Alleghe (*Figura 6.2*).

L'analisi morfometrica del bacino del torrente Cordevole è stata eseguita mediante l'uso di programmi GIS, nella *Figura 6.3* è rappresentato il DEM (celle 10 m x 10 m) dell'area di studio e la rete idrica classificata secondo *Horton-Strahler* fermandosi però ai collettori del terzo ordine.



*Figura 6.2: Alleghe ed il lago omonimo. Sullo sfondo si può notare Caprile e la confluenza con il torrente Fiorentina.*

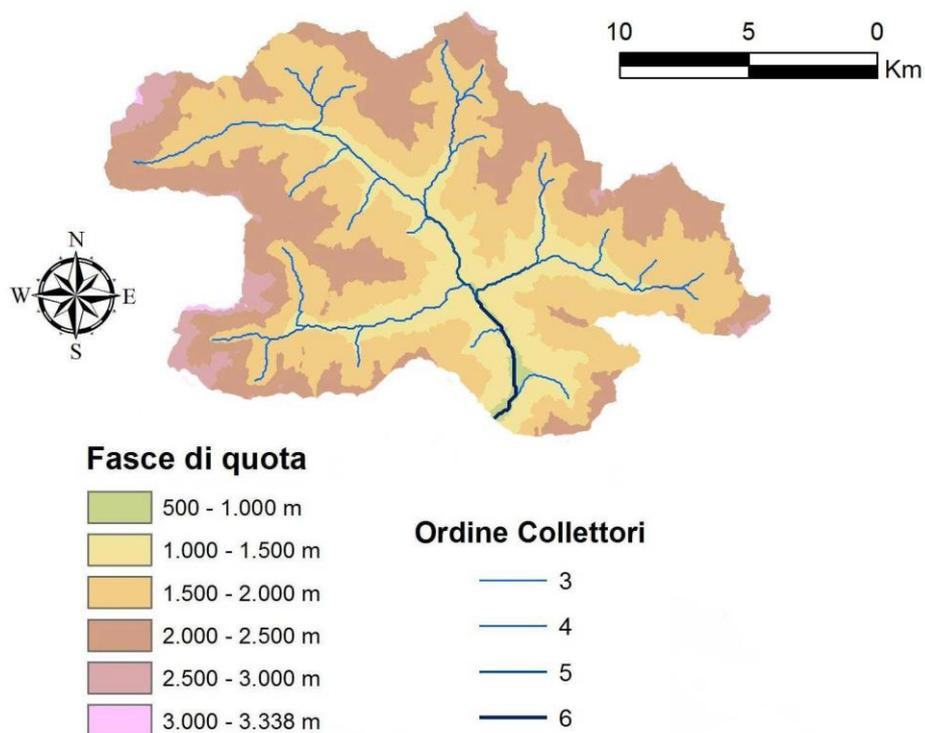


Figura 6.3: DEM del bacino del Cordevole chiuso alla confluenza con il ponte di Sala di Alleghe..

L'indice di forma secondo Gravelius risulta essere pari a 2,27 e rispecchia la forte irregolarità del contorno, dovuta alla presenza di rilievi anche all'interno del bacino stesso che dividono la rete idrica in molti collettori di ordine inferiore che si allungano in tutte le direzioni. I rilievi che superano i 2500 m s.l.m. sono circa il 5% della superficie totale, come si può ricavare dalla curva ipsografica del bacino (Figura 6.4) che rappresenta la ripartizione delle aree topografiche nelle varie fasce altimetriche. Dalla stessa si nota anche che la maggior parte della superficie (80%) è compresa tra i 1400 m ed i 2300 m s.l.m. (quota media 1857 m s.l.m.).

La curva ipsometrica adimensionale esprime invece lo stadio evolutivo del bacino e permette di fare confronti tra bacini diversi. Analizzando quella ottenuta dall'elaborazione del DEM del Cordevole chiuso a Sala di Alleghe (Figura 6.5) si può dire che alle quote maggiori il bacino sembra in uno stato di senilità o fase *monadock* (curva con forma iperbolica concava), mentre in prossimità dei fondovalle il bacino è in fase giovanile o di erosione (curva con forma iperbolica convessa), anche se il trasporto solido è legato alla presenza di sistemazioni dell'alveo.

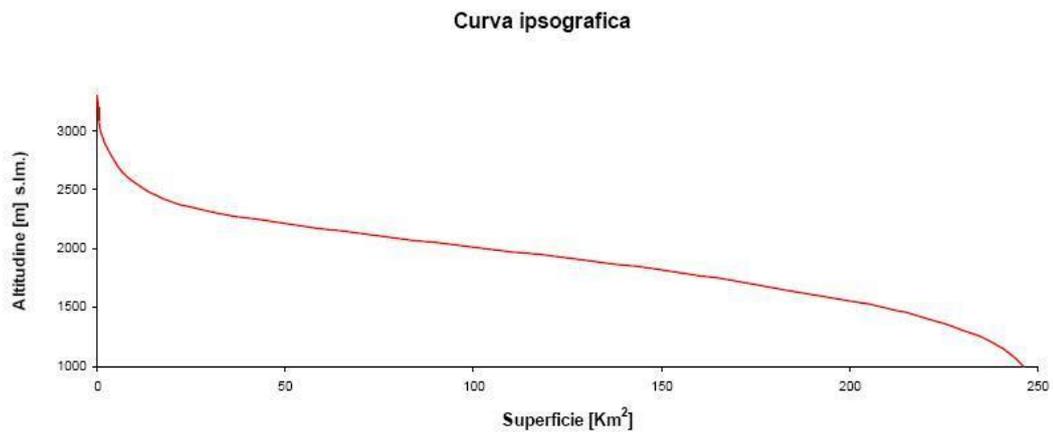


Figura 6.4: curva ipsografica delle quote del bacino del Cordevole.

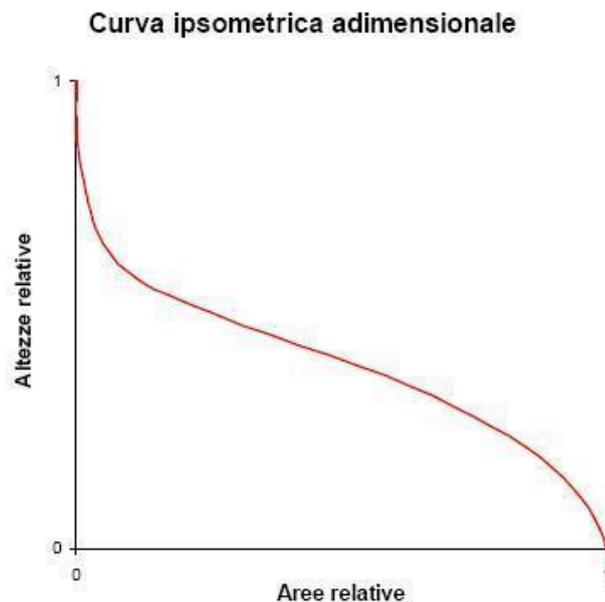


Figura 6.5: curva ipsometrica adimensionale del bacino del Cordevole.

La carta delle pendenze (Figura 6.6) mostra invece le distribuzioni dei dislivelli, la quale è stata derivata dal raster delle quote; le aree con inclinazioni inferiori al 30% sono solo il 15% della superficie totale, e localizzate per lo più a nord del bacino (Cherz, Vizza, Andraz), mentre le pareti subverticali sono distribuite in varie aree: Piz Boè a nord-ovest, Settsass e Piccolo Lagazuoi a nord, monte Pelmo ad est, monte Civetta a sud e la Marmolada ad ovest. Il forte dislivello e le formazioni rocciose facilmente erodibili, sono da ritenersi la causa principale dell'istaurarsi di movimenti franosi; inoltre, la pendenza fa aumentare la velocità di ruscellamento, causa una maggiore produzione di sedimento, e facilita lo scivolamento sui versanti di materiale legnoso.

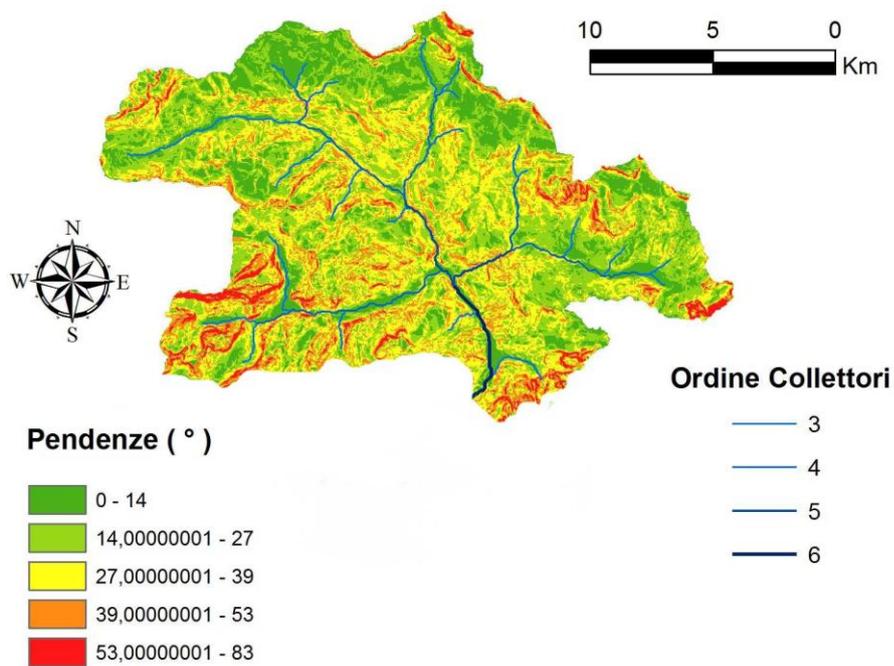


Figura 6.6; carta delle pendenze.

Le esposizioni di un bacino sono strettamente correlate all'andamento della rete idrica principale. In bacini di grandi dimensioni l'esposizione tende ad essere distribuita uniformemente lungo le 4 direzioni. Dalla distribuzione, invece, si possono ottenere informazioni molto importanti sul regime idrologico dei sottobacini, nonché sulle dinamiche erosive dei versanti. Da un punto di vista socio-storico i versanti esposti a sud sono quelli in cui si stabiliscono le principali attività umane. Nella *Figura 6.7* si riporta la distribuzione delle esposizioni all'interno del bacino del Cordevole.

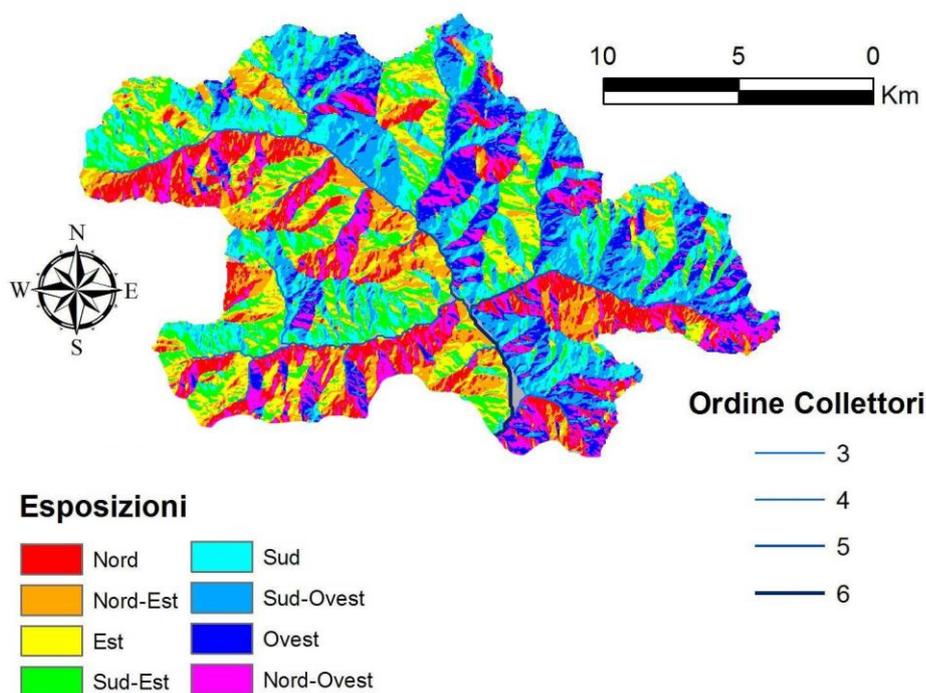


Figura 6.7: carta delle esposizioni del bacino.

### 6.1.2. Cenni storici.

Le prime testimonianze archeologiche riguardanti la presenza umana in quest'area sono state ritrovate nelle vicinanze del monte Pore, dove è stata rivenuta una stele funeraria con iscrizioni paleovenete, e nella zona di Mondeval (San Vito di Cadore). Qui, nel 1987 fu ritrovata una sepoltura mesolitica con oggetti di corredo funebre, il tutto risalente al VI millennio a.C. Tali ritrovamenti dimostrano come l'area oggetto di studio fosse popolata dall'uomo già in età preromana. In questi luoghi la presenza umana sicuramente venne favorita dall'ambiente ricco di corsi d'acqua e dall'abbondante selvaggina presente negli estesi boschi. La testimonianza della presenza romana in questo territorio è data dal ritrovamento, nella parte settentrionale del gruppo del Civetta, di iscrizioni confinarie databili al I secolo d.C.

Nei secoli seguenti la caduta dell'Impero Romano, oltre alle già presenti attività pastorali e venatorie, si diffusero le attività estrattive riguardanti principalmente ferro e piombo, e quelle riguardanti il commercio di legname. Grazie a queste attività stanziali, le popolazioni dell'area formarono degli insediamenti stabili, posizionandosi nelle zone più soleggiate e

ricche d'acqua. In questo modo il paesaggio cominciò a mutare progressivamente, il bosco venne gradualmente tagliato per far posto alle abitazioni, stalle ed edifici pubblici.

Nel XV secolo la Repubblica di Venezia espanse i propri domini fino alle Dolomiti Bellunesi; in questi secoli lo sfruttamento delle risorse forestali raggiunse un'intensità mai raggiunte prima, infatti oltre alle tradizionali richieste di legname per l'edilizia, per il consolidamento delle miniere locali e per le lavorazioni siderurgiche, si aggiunse la pesante richiesta di legname per la costruzione delle navi veneziane. Lo sfruttamento delle aree boscate bellunesi raggiunse livelli tali, nel XVII secolo, da costringere la stessa amministrazione veneziana all'emanazione di precise direttive aventi lo scopo di ridurre lo sfruttamento dei boschi e di migliorare la difesa del suolo. Questa problematica si ripresentò nel XVIII secolo quando, a causa di tensioni tra la Repubblica di Venezia e il Vescovato di Bressanone, l'attività mineraria dovette ridimensionarsi riducendo le estrazioni. Questo portò ad un aumento delle attività riguardanti il commercio del legname, impoverendo però allo stesso tempo il patrimonio boschivo e deteriorando la stabilità dei versanti. La natura fece sentire il suo peso l'11 gennaio 1771, quando un'enorme massa franosa si staccò dal monte Forca, in destra del Cordevole, ostruendo l'intera valle e creando quello che oggi noi conosciamo con il nome di lago di Alleghe. La frana seppellì i villaggi di Riete, Marin e Fucine mentre altri cinque borghi furono sommersi dalle acque del lago stesso. Il dominio veneziano terminò nel 1797 con l'arrivo delle truppe napoleoniche e con il successivo trattato di Campoformio che stipulò il passaggio di queste aree sotto il controllo austriaco.

Nel XIX secolo nacquero le prime attività turistiche nella zona, comparvero infatti i primi alberghi e pensioni di montagna, frequentati soprattutto da signorotti inglesi interessati all'aspetto paesaggistico e naturalistico delle Dolomiti Bellunesi. Nell'800 ben sei alluvioni (1868, 1869, 1882, 1885, 1889, 1890) colpirono questi territori causando vittime e danni agli insediamenti. La Prima Guerra Mondiale travolse in pieno il bacino del Cordevole; qui, infatti, si trovavano le prime linee di combattimento, passanti per il Col di Lana e la Marmolada. Durante questo conflitto vaste aree della montagna veneta vennero disboscate; queste operazioni venivano svolte con lo scopo di reperire legname per fornire materiale da costruzione, per il riscaldamento delle truppe oltre che per la migliore individuazione delle divisioni nemiche. Il secondo conflitto mondiale, invece, interessò la zona solo marginalmente, e le uniche ripercussioni sono riconducibili ad alcune azioni di partigianeria. Nel secondo dopoguerra il grande sviluppo economico portò ad un progressivo

spopolamento della montagna causando l'abbandono delle attività agricole, selvicolturali e pastorali, a favore delle attività turistico-ricreative. I centri geograficamente più marginali furono quelli che risentirono di più dello spopolamento, il tutto a favore dei centri con la migliore posizione geografica che si espansero sempre più, attrezzandosi di nuovi alberghi, pensioni, ristoranti ed impianti di risalita. Questo sviluppo urbanistico ha accresciuto ancor di più la vulnerabilità del territorio, aumentando da un lato i beni danneggiabili in caso di calamità e dall'altro andando a creare infrastrutture su terreni non idonei allo scopo. Tutto ciò comporta un notevole incremento del rischio idrogeologico complessivo.

### **6.1.3. Dissesti idrogeologici importanti.**

La maggioranza dei dissesti idrogeologici presenti nell'area di studio è dovuta a due fattori: l'azione erosiva dell'acqua e la geomorfologia della zona. Come visto in precedenza la geologia e la geomorfologia del bacino, sia a livello di versante sia a livello di torrente, presentano fattori predisponenti al dissesto. A questo va sommata l'azione dell'acqua, soprattutto nel caso in cui questa si presenti sottoforma di circolazione superficiale o sotterranea. Il territorio oggetto di studio è stato nel corso dei secoli continuamente modellato da fenomeni quali frane, alluvioni ed erosioni più o meno localizzate. L'evento del '66 evidenziò la franosità dell'area oggetto di studio, dimostrando come questa sia una caratteristica intrinseca e costante che si è manifestata periodicamente già nel corso dei secoli precedenti. Numerose sono le testimonianze riguardanti fenomeni di dissesto, eccone alcune significative per la nostra area di studio:

- 1771: l'11 gennaio dal monte Forca si mobilitò una frana di dimensioni tali da ostruire nei pressi di Alleghe il corso del Cordevole. Proprio a causa di questo sbarramento si formò il bacino che oggi noi conosciamo col nome di lago d'Alleghe. Il corpo di frana seppellì gli abitati di Riete, Marin e Fucine, mentre altri 5 villaggi furono sommersi dall'acqua del lago formatosi;
- 1877: nel mese di maggio il torrente Fiorentina in piena causa il crollo di un ponte nell'omonima località;
- 1888: in aprile a seguito del disgelo e delle intense precipitazioni si innescarono numerose frane; tra queste si ricorda quella in località Pescul (Selva di Cadore), di dimensioni tali da provocare seri danni a 15 nuclei familiari;

- 1890: tra il 28 ed il 30 maggio le prolungate piogge e le conseguenti piene provocarono in val Fiorentina il crollo di 4 ponti;
- 1917: la notte del 27 maggio, a causa delle abbondanti nevicate dell'inverno precedente, si staccò a ciel sereno una frana di 4-5 milioni di m<sup>3</sup> dalla val di Fuori. Le vittime furono 28, di cui 21 militari e 7 civili, mentre 6 furono gli edifici completamente distrutti lungo il Rio Loschiesuoi, nel comune di Selva di Cadore;
- 1966: l'alluvione di novembre colpì in modo intenso tutto il bacino del Cordevole. Nella val Fiorentina la strada provinciale fu completamente distrutta, l'abitato di Caprile fu colpito dalle ondate di piena del torrente Fiorentina (*Figg. 6.8 e 6.9*) che invasero il paese seppellendolo sotto 5 metri di materiale misto tra legname, detriti e fango (vedi Foto). Il torrente Codalunga provocò ingenti danni nel comune di Colle Santa Lucia, asportando tutti i ponti presenti, circa 6 km di tratto stradale e danneggiando le rimanenti vie vicinali. Sempre nel '66 l'Alto Cordevole, con l'apporto anche dei torrenti Boè e Campolongo, invase i centri abitati di Davedino, Visinè di Là e Ornella isolandoli dal resto della valle; questi abitati furono colpiti anche a causa della mancanza delle opere di difesa idraulica, distrutte l'anno precedente da un'alluvione che colpì la stessa zona;
- 1978: intense precipitazioni provocarono l'alluvionamento di parte del paese di S.Fosca (Selva di Cadore), colate di fango lungo il Rio Giavaz e l'interruzione della SS 251;
- 1981: le stesse zone colpite nel '78 furono nuovamente soggette a dissesti nel '81; in questo anno le forti precipitazioni localizzate portarono alla formazione di numerose colate di fango lungo il Rio Giavaz con la distruzione di 4 briglie poste a difesa degli abitati, la strada per Mondeval e la SS 251 furono interrotte, nella zona a monte di Pescul (Selva di Cadore) si innescarono vari smottamenti. Inoltre in val Fiorentina una frana si staccò preso l'imbocco della galleria stradale in costruzione;
- 1988: in data 24 aprile si ebbe il collasso della frana di Pien Pont con apporto solido nell'alveo del torrente Codalunga, il movimento franoso interessò 500 000 m<sup>3</sup> di materiale e 22 000 m<sup>2</sup> di bosco ad alto fusto, causando la distruzione di 6 briglie;
- 1994: il 14 settembre nel Rio Cordon si manifestò un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 50 anni, la piena movimentò un volume complessivo di materiale pari a 890 m<sup>3</sup> circa e fu caratterizzata da un'intensità massima di trasporto solido al

fondo dell'ordine di  $500 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ . Nonostante la modesta permanenza delle portate liquide intorno al valore di picco (5-10 minuti), è stata mobilitata, in termini granulometrici, la quasi totalità del materiale costituente l'alveo (D'Agostino e Lenzi, 1996) con diametri intermedi dei massi di maggiore pezzatura dell'ordine dei 50-60 cm. Le caratteristiche dell'evento nel Rio Cordon sono state determinate grazie all'installazione, nel 1986, di un dispositivo automatico per la misurazione delle portate liquide e solide.



*Figura 6.8: Caprile dopo l'alluvione del 1966. Si può notare come l'acqua ed il fango abbiano invaso le abitazioni (HOTELPOSTA.COM).*



*Figura 6.9: Caprile dopo l'alluvione del 1966 alla confluenza del torrente Fiorentina con il Cordevole. Si noti la quantità di legname trasportato dal torrente durante la piena. Il ponte sul torrente Fiorentina, travolto dai detriti, venne distrutto (HOTELPOSTA.COM).*

## 6.2. Bacini analizzati.

### 6.2.1. Il sottobacino del Fiorentina.

Il torrente Fiorentina è un affluente di sinistra del Cordevole. Nasce nel Monte Pelmo, presso il passo Staulanza, scorre lungo l'omonima valle e, dopo un percorso di circa 11 km, confluisce nel Cordevole immediatamente a valle di Caprile di Alleghe ad una quota di circa 995 m s.l.m. (Figura 6.10). È quasi interamente compresa nei comuni di Selva di Cadore e Colle Santa Lucia, parte nei comuni di Borca e San Vito di Cadore. Il toponimo indica il termine "Ferentina" derivato dalla presenza nella zona di miniere di ferro, alcune attive sino al 1753.

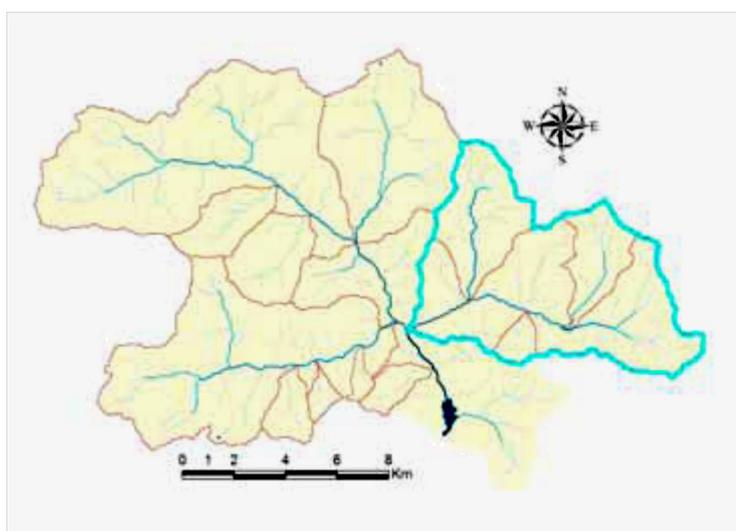


Figura 6.10: delimitazione del sottobacino del Fiorentina.

L'area drenata è pari a 58,11 km<sup>2</sup> ed è caratterizzata da una quota media di 1838 m.s.m. (compresa tra la massima rilevata sul Monte Pelmo, 3171 m.s.m. e la minima vicino l'abitato di Caprile, 995 m.s.m.) e presenta una pendenza media del 55%; la copertura forestale interessa più della metà del bacino idrografico e l'indice di forma di Gravelius è pari a 1,9, come riassunto nella Tabella 8.1. La valle omonima è interamente compresa sui comuni di Selva di Cadore e Colle Santa Lucia, in parte su quelli di Borca e San Vito di Cadore.

Tabella 6.1: principali parametri morfometrici del bacino del Fiorentina.

Collettore principale (lunghezza e ordine)	12 km; 5° ordine
Lunghezza totale rete idrografica	81,2 km
Pendenza media collettore principale	6%
Densità di drenaggio	1,4 km/km <sup>2</sup>

La val Fiorentina è caratterizzata da una profonda diversità tettonica tra i due versanti: il versante in destra idrografica è costituito prevalentemente da strati a reggipoggio, mentre quello in sinistra idrografica è caratterizzato da strati a franapoggio. Proprio a causa di ciò in sinistra idrografica si manifestano spesso profonde frane di scivolamento, evidenti soprattutto nella parte medio-bassa dove sono situate rocce tufaceo-marnose instabili e facilmente erodibili dall'azione dell'acqua. Non è un caso che il villaggio di Fiorentina (vedi Figure seguenti) sia stato abbandonato dopo l'alluvione del novembre 1966, e del quale restano alcuni ruderi (Figg. 6.11 e 6.12). In destra idrografica, invece, lungo gli affluenti, si sono innescati numerosi fenomeni di trasposto di massa, danneggiando in maniera più o meno lieve gli abitati e la rete viaria. Il fondovalle del Fiorentina, nel tratto compreso tra Santa Fosca e Caprile, dove l'erosione del torrente ha causato numerose frane, è la zona dove si sono effettuati i maggiori interventi di sistemazione idraulico-forestale. Le briglie soprattutto, ormai datate, sono ricolme di sedimenti ed hanno quasi completamente esaurito la loro funzione.



*Figura 6.11: Selva di Cadore attorno agli inizi della prima guerra mondiale, verso il Pelmo. I villaggi (vile) sono ben delimitati e hanno una forte concentrazione urbanistica, secondo una tipologia comune a tutte le vallate ladine delle Dolomiti e, in genere, alla montagna; sono attorniate da campi, chiaramente delineati. Sulla destra il villaggio di Fiorentina, l'unico posto sulla sinistra idrografica del torrente Fiorentina, allora abitato e con coltivazione intensa nella radura assediata dal bosco. (DELL'ANDREA L., 1993).*



*Figura 6.12: Selva di Cadore e val Fiorentina ai giorni nostri. Si noti quanto sia aumentata l'urbanizzazione a scopo turistico. Il villaggio di Fiorentina è praticamente spopolato, ed il bosco ha preso il sopravvento.*

### **6.2.2. Il bacino del Cordevole da Caprile a Sala di Alleghe.**

Caprile è, per dimensioni, la seconda frazione del comune di Alleghe. Collegata a Belluno ed ai principali centri della vallata attraverso l'ex SS 203, dal paese si dipartono le vie di comunicazione che collegano l'Agordino alla val Badia, alla val di Fassa, al Cadore ed alla Valle del Boite. Caprile sorge sulla sinistra idrografica del torrente Cordevole in corrispondenza dell'intersezione tra la valle omonima e le valli laterali Pettorina e Fiorentina. Nelle *Figg. 6.13 e 6.14* si può notare inoltre quanto sia aumentata l'urbanizzazione nel corso del XX secolo, fino ad arrivare ai giorni nostri.

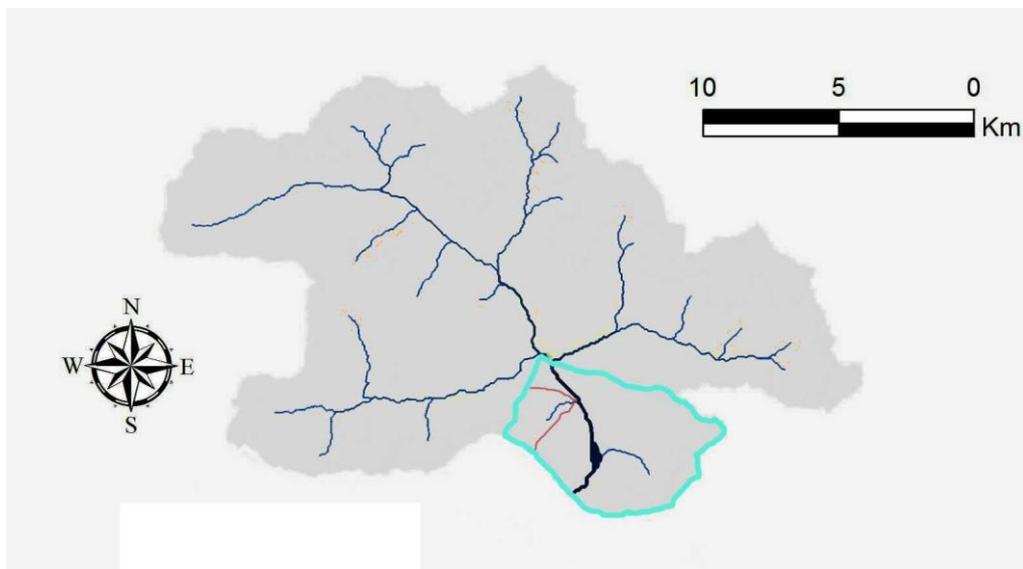


*Figura 6.13: Caprile in una foto del 1916. Il paesaggio è ancora rurale, e non sono ancora avvenuti i disboscamenti selvaggi della Prima Guerra Mondiale. In fondo a destra, si può notare come la piana inondabile del torrente Fiorentina fosse più estesa (PASSOPORDOI.COM).*



*Figura 6.14: Caprile ai giorni nostri. Dopo la devastante alluvione del 1966, ci fu una grande operazione di messa in sicurezza dei corsi d'acqua che lo attraversano, attraverso sistemazioni idraulico-forestali.*

La sua posizione, compresa tra due confluenze e lambito dal Cordevole, fa sì che l'abitato sia esposto al rischio di esondazioni ed alluvionamento. Nella *Figura 6.15* viene segnata la delimitazione del bacino, con sezione di chiusura in corrispondenza del ponte di Sala di Alleghe.



*Figura 6.15; delimitazione del sottobacino del Cordevole da Caprile al ponte di Sala di Alleghe.*

A valle di Caprile, il torrente Fiorentina confluisce nel Cordevole, il quale si presenta con un alveo decisamente più largo rispetto a monte, data la mole d'acqua e detriti che il Fiorentina riversa durante la stagione di piena, e con pendenze più lievi, il che fa aggravare la situazione, poiché crea sovralluvionamento ed interrimento degli alvei. In questo tratto infatti il Cordevole si presenta con molti rinforzi spondali. Il Cordevole inoltre diventa di ordine 6, e mantiene quest'ordine fino alla confluenza con il Piave.

Il Cordevole prosegue il suo percorso fino al lago di Alleghe per un tratto lungo circa 4 km, e si presenta quasi pianeggiante. Le opere presenti sono prevalentemente spondali (*Figura 6.16*) a protezione della SR 203, che costeggia tutto il tratto in sinistra idrografica. In destra idrografica invece c'è un breve tratto a protezione dell'abitato Le Grazie, dove è presente un ponte di attraversamento.



*Figura 6.16: il Cordevole a valle di Caprile. Si può osservare la larghezza della piana inondabile, presente da questo punto fino al lago di Alleghe.*

Immediatamente prima del lago (*Figura 6.17*), si nota la presenza di pennelli trasversali, adibiti all'intercettazione di sedimenti e legname.



*Figura 6.17: Opera di difesa trasversale adibita a intercettazione di sedimenti, che segna il confine tra il Cordevole ed il lago di Alleghe.*

In località Masarè, superato il lago di Alleghe, il fiume riprende il suo corso in una valle stretta e ripida (*Figura 6.18*). Fu in questa zona che avvenne la frana del monte Piz, la quale formò il lago nel 1771. Il Cordevole si presenta all'inizio con un primo raccoglitore di

sedimenti sopra l'area del ponte di Masarè, seguito poi da un gruppo ravvicinato di briglie di trattenuta, in modo da ridurre la pendenza, che anche in seguito risulta veramente elevata.



Figura 6.18: tratto del Cordevole a valle del ponte di Masarè. In questo punto la pendenza è molto elevata.

L'alveo e la piana inondabile risultano di nuovo stretti in questo punto del fiume. Dopo circa 300 m, le pendenze diminuiscono di nuovo (*Figura 6.19*). Arrivando al ponte di Sala si noterà il deposito di sedimenti più fini rispetto alle zone precedenti, ed un tratto che per 100 m ritorna quasi pianeggiante.



Figura 6.19: L'alveo del Cordevole dal ponte di Sala. Oltre ad esserci una piana inondabile larga, la pendenza in questa zona è veramente bassa.

## 7. MATERIALI E METODI UTILIZZATI PER L'APPLICAZIONE DELL'IQM

### 7.1 Materiali.

#### 7.1.1 Raccolta di materiale GIS e telerilevato.

La valutazione della qualità idromorfologica dei corsi d'acqua prevede una prima fase di analisi e suddivisione in tratti in ambiente geografico georiferito. Ai fini di questa ricerca, è stato necessario raccogliere innanzitutto del materiale informatico:

- si è partiti da una serie di ortofoto ricavate dal Geoportale del sito internet della Regione Veneto (<http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/>), nel quale si sono raccolti i dati necessari per la rappresentazione del modello digitale del terreno;
- sempre nel Geoportale della Regione Veneto, sono stati acquisiti i DTM (Digital Terrain Model) in formato "ascii" con risoluzione 5m x 5m, relativi alla provincia di Belluno, per poi considerare quelli relativi al bacino del Cordevole. Questi DTM sono stati poi convertiti in formato raster con lo strumento "ascii to raster" presente all'interno del programma ArcGIS®;
- sempre dal medesimo sito, è stato necessario acquisire una Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10000, già convertita in formato raster, per poter effettuare il posizionamento dei due tipi di dati sopra descritti all'interno del modello informatico;
- l'ultimo tipo di supporto informatico georiferito è stato quello riguardante il Catasto delle Opere di Sistemazioni Idraulico Forestali presenti nell'intera provincia di Belluno. Questi dati sono stati reperiti facendo un'apposita richiesta all'ente Regionale ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto). In questo catalogo sono racchiusi più precisamente una serie di dati riguardanti posizione con punti GPS, data di costruzione, forma e tipologia di ogni opera presente nella provincia Bellunese. Prendendo in considerazione le aree interessate dalla nostra ricerca, vi si collocano per lo più opere di piccola e media dimensione, sia sul corso d'acqua principale nonché nelle valli laterali. I recenti interventi ed in parte anche quelli passati, hanno visto l'applicazione di tecniche di ingegneria naturalistica, unendo nel comune impegno della salvaguardia del territorio, sia aspetti ambientali che prettamente ingegneristici (Zorzi, 2013).

### **7.1.2 Schede di valutazione.**

Ai fini della valutazione IDRAIM, le schede di valutazione hanno indicato la valutazione dello stato attuale dei tratti presi in esame. Esse possono essere di due tipi, in base alla classe di confinamento indicata per ogni tratto: il primo tipo si utilizza per alvei **confinati**, mentre il secondo tipo si utilizza per **alvei semi- non confinati**. Sebbene la maggior parte dei quesiti siano identici, ci sono alcune domande che variano in base al tipo di alveo, oppure vengono omesse. Altra differenza importante riguarda l'attribuzione dei punteggi. Come vedremo in seguito, la formula di applicazione dello scostamento massimo ( $S_{max}$ ) è diversa in base al tipo di alveo.

## **7.2 Metodi.**

### **7.2.1 Elaborazioni tramite GIS.**

Per completare la valutazione dell' IDRAIM è stato necessario organizzare l'intero lavoro in quattro fasi operative come prescritto nel manuale tecnico – operativo, nelle prime 3 di queste è stato usato un programma di elaborazione digitale GIS (Geographic information system), fornito dal programma ArcGIS® 10.0, distribuito dalla ESRI Inc.. Questo tipo di sistema è adatto per catturare, immagazzinare, manipolare, analizzare, gestire e rappresentare graficamente dati geografici come quelli raccolti e sopradescritti, e quindi prepara il terreno alla valutazione dello stato attuale.

#### **STEP 1 – Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche.**

In questa fase sono state riportate nel programma GIS la Carta Tecnica Regionale (CTR) e la serie di aerofotogrammi che hanno permesso di inquadrare con precisione la nostra area di studio. In secondo luogo è stata inserita anche la serie di DEM (Digital Elevation Model) interessanti la provincia di Belluno, essi sono la rappresentazione digitale della superficie topografica reale i quali possono essere considerati come le informazioni fondamentali da utilizzare nell'ambito GIS per analisi digitali finalizzate alla comprensione e allo studio di processi geomorfologici ed idrologici. Con questi ultimi è stato creato un modello digitale che ha permesso determinare i parametri morfometrici della superficie, e attraverso l'utilizzo delle Hydro Tools® di ArcGIS lo spartiacque del bacino idrografico oggetto di studio. Dopo aver creato il modello digitale si è passati all'individuazione dell'intero reticolo

idrografico. Analizzando la matrice del modello digitale del terreno con celle 25X25 m, è stato possibile determinare la direzione e l'accumulo del deflusso; in questo modo si può agevolmente ricavare un raster dove ad ogni cella è associato il numero di pixel che convergono in essa da un punto di vista idrologico, chiamato *flow accumulation*; da questa operazione è stato possibile inoltre ordinare l'intera rete idrica del bacino secondo la classificazione di *Horton-Strahler*.

Finito l'inquadramento dell'area di studio si è passati alla definizione delle unità fisiografiche. Seguendo le descrizioni riportate nel manuale tecnico-operativo, la nostra area di studio è situata all'interno del settore alpino e si divide in due tipi di unità fisiografiche: Aree montuose alpine ed Aree montuose e collinari prealpine.

I dati raccolti in questa prima fase sono stati inseriti all'interno di un foglio di lavoro (Office® Excel), di tale fase sono riportati dati come: corso d'acqua, ambito fisiografico, unità fisiografica e ordine del collettore.

## **STEP 2 – Definizione del grado di confinamento.**

In tale fase vengono inizialmente suddivisi approssimativamente i tratti da valutare, per poi potere rilevare più in dettaglio le condizioni di confinamento. Il grado di confinamento è la percentuale di lunghezza del corso d'acqua con sponde a contatto con i versanti o terrazzi antichi, ed è stato individuato attraverso un sistema di calcolo semi-automatico, mediante il programma ArcGIS® Arcmap 10.0. Nella fase preparatoria di questo calcolo, è stato creato un buffer di 50 metri verso l'esterno del poligono che identifica la pianura alluvionale. Questo buffer è stato successivamente intersecato con la carta delle pendenze. Si è assunto che quando le pendenze sono superiori al 20% siamo in presenza di versante, e in automatico è stato possibile produrre un raster che evidenzia se le sponde sono in contatto a meno con i versanti, indicando quindi la percentuale del *grado di confinamento* ( $G_c$ ) per ogni tratto provvisoriamente identificato.

Anche l'indice di confinamento è stato identificato in maniera automatica, calcolando la superficie occupata dai poligoni che identificano la piana alluvionale e l'alveo attivo dei tratti provvisori e la lunghezza del collettore principale. Con una semplice divisione è stata calcolata la larghezza media per ogni tratto (sia della piana che dell'alveo) e quindi del rapporto tra la lunghezza della pianura ( $L_p$ ) e la larghezza dell'alveo ( $L_a$ ), esso infatti esprime di quanto un alveo è confinato in sezione trasversale rispetto alla larghezza della pianura.

Successivamente ad ogni tratto individuato è stata assegnata una determinata classe di confinamento, seguendo le indicazioni della tabella presente nel manuale tecnico e riportata qui sotto, esse si dividono tra confinati, semiconfinati e non confinati.

Tutti i dati rilevati in questa fase sono stati riportati nel foglio di lavoro Excel allegato. Nel file vi sono dei metodi di calcolo automatici, eseguiti mediante le formule presenti nel programma Excel stesso; queste riguardano in particolare il calcolo della pendenza media, data da l'altezza massima del tratto meno l'altezza minima dello stesso diviso la sua lunghezza.

### **STEP 3 – Definizione della morfologia dell'alveo.**

Tale fase richiede la definizione di diversi indici: *l'indice di sinuosità (Is)*, *l'indice di anastomizzazione (Ia)* e *l'indice di intrecciamento (Ii)*. Essendo il reticolo idrografico in oggetto composto esclusivamente da torrenti montani con alveo non particolarmente largo, non è stato necessario individuare *l'indice di anastomizzazione (Ia)* e *l'indice di intrecciamento (Ii)*, mentre invece *l'Indice di sinuosità (Is)* è stato calcolato solamente per i tratti ai quali sono state applicate le schede di valutazione.

Le tipologie dei tratti individuati nel reticolo idrografico, basate sulla forma planimetrica, si dividono tra rettilineo, transizionale Wandering e sinuoso a barre alternate.

Per quanto riguarda la classificazione di secondo livello, riguardante la configurazione del fondo, i tratti osservati per la stesura delle schede spaziavano da alvei a Gradinata, Letto piano e Riffle Pool.

Per la caratterizzazione morfologica del tratto sono stati raccolti, sempre con l'ausilio del GIS, altri dati fondamentali quali la larghezza dell'alveo a "*piene rive*" o "*bankfull channel*", la larghezza della piana alluvionale e la pendenza media del fondo (S) la quale è il rapporto tra il dislivello di quota del fondo e la distanza misurata lungo l'alveo, anche tali dati sono stati aggiunti nel foglio di lavoro Excel.

### **STEP 4 – Suddivisione finale in tratti.**

Questa fase ha avuto come scopo quello di ultimare la definizione di tratti omogenei dal punto di vista morfologico, indagando i collettori del 6° 5° e 4° ordine.

Analogamente alla procedura riportata nel manuale tecnico IDRAIM, il primo passo è stato quello di individuare nei torrenti discontinuità idrologiche, opere antropiche, dimensioni

della pianura, larghezza dell'alveo e profilo longitudinale mediante l'utilizzo del programma ArcGIS®.

Per una più precisa definizione finale dei tratti, sono stati presi in considerazione anche altri fattori oltre a quelli sopradescritti, cioè:

- Discontinuità della pendenza del fondo, sia nel caso di alvei confinati che di alvei semi – non confinati;
- Discontinuità idrologiche di tipo naturale come gli affluenti o artificiali quali dighe, invasi, briglie oppure ponti;
- Artificializzazioni, ossia dove il grado di artificialità è tale da impedire ogni dinamica planimetrica dell'alveo;
- Variazioni delle dimensioni della pianura o dell'indice di confinamento;
- Variazioni della larghezza dell'alveo;
- Variazioni della granulometria dei sedimenti.

### **7.2.2 Valutazione dello stato attuale.**

Per valutare lo stato attuale del percorso effettuato, è stato necessario recarsi nei luoghi dei tratti, attraverso due campagne di rilievi, rispettivamente per il torrente Fiorentina e per il torrente Cordevole.

Come da manuale, la valutazione dello stato attuale dei corsi d'acqua si suddivide in tre STEP, i quali sono stati eseguiti in questa maniera:

#### **STEP 1: valutazione della funzionalità morfologica**

Il primo step è volto ad inquadrare tre tipi di fattori, cioè continuità, morfologia e composizione della vegetazione perifluviale. La valutazione di questo step avviene soprattutto tramite GIS; la valutazione con rilievo sul terreno controlla (e al limite corregge) l'attribuzione dei punteggi.

#### **STEP 2: valutazione dell'artificialità del corso d'acqua**

Si individuano tutti quegli elementi antropici che influenzano, sia in alveo che nelle sponde, il corso d'acqua. In particolare si individuano tutti quegli elementi di alterazione longitudinale, trasversale e spondale a monte del tratto e nel tratto stesso preso in esame. In questo caso il

Catasto Opere è di fondamentale importanza per rispondere ai quesiti, ma come si vedrà in seguito non sempre si trova riscontro con il rilievo sul terreno.

### **STEP 3: valutazione delle variazioni morfologiche**

Come specificato nel manuale tecnico-operativo IDRAIM, in questo caso le variazioni morfologiche non vengono valutate all'interno dell'indice, in quanto i dati specifici per questo STEP sono risultati insufficienti. Inoltre, i quesiti non vengono valutati per tratti con alvei di larghezza inferiore ai 30 m, che sono la maggioranza di quelli analizzati.

In questa tesi i tratti analizzati sono stati 13, e seguono il percorso del torrente Fiorentina per la valle omonima, raggiungendo Caprile nella confluenza con il fiume Cordevole. In seguito si è analizzato il fiume stesso, seguendo il tratto fino a valle del lago di Alleghe. I tratti analizzati si interrompono sul ponte di Sala, Alleghe. I tratti analizzati sono di ordini 4 e 5 per quanto riguarda il torrente Fiorentina, e di ordine 6 per quanto riguarda il Cordevole.

Osservando il percorso, i tratti analizzati presentano caratteristiche molto differenti: si può passare per tratti parzialmente antropizzati, soprattutto in vicinanza di centri abitati e per tratti ad alto rischio idrogeologico, fino a tratti quasi naturali.

## 8. RISULTATI

Di seguito verranno descritti i tratti fluviali analizzati, alla fine dei quali verrà apportata una tabella riassuntiva dei punteggi analizzati e la classe di merito corrispondente a ciascuno di essi.

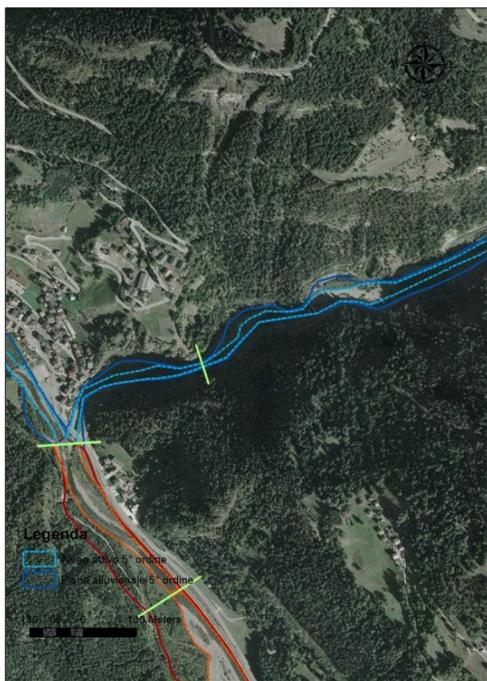
### 8.1 Campagna di rilievi sul bacino del Fiorentina.

Durante la fase di campagna si è provveduto a compilare le schede di valutazione dei tratti del torrente Fiorentina, rispettivamente suddivisi in quattro tratti di ordine 5 e quattro tratti di ordine 4, secondo la classificazione di Horton-Strahler. I tratti di ordine 5 sono ubicati tra Selva di Cadore e Caprile di Alleghe, confinati a monte dalla confluenza del Fiorentina con il torrente Codalonga, e a valle con la confluenza con il Cordevole. I tratti di ordine 4 sono tutti ubicati nel comune di Selva di Cadore, e passano per le località Pescul, Santa Fosca e la stessa Selva di Cadore. Nella *Figura 8.1* si riporta una panoramica dei tratti analizzati sul torrente Fiorentina.



*Figura 8.1: tratti analizzati nella campagna di rilievi sul bacino del Fiorentina.*

Tratto **50501** T. Fiorentina



Questo tratto del torrente Fiorentina è ubicato a Caprile di Alleghe, nelle vicinanze della strada che porta a Selva di Cadore. Esso è delimitato a valle dalla confluenza con il Cordevole, e a monte da una briglia, la quale è adiacente ad una galleria. Il tratto è di ambito collinare-montano, con un alveo di tipologia wandering e configurazione a riffle pool. In destra idrografica si può notare quanto il torrente si trovi vicino agli edifici, e la strada che porta a Selva di Cadore è a ridosso della piana inondabile. In sinistra idrografica è presente un ripido versante, che presenta una discreta vegetazione (Figura 8.2). In questo tratto sono ubicate 4 opere spondali in destra idrografica, due briglie ed un ponte. Il tratto è stato classificato come semi-confinato, ha un IQM pari a 0,51 ed è valutato come **moderato** (Tabella 8.1).

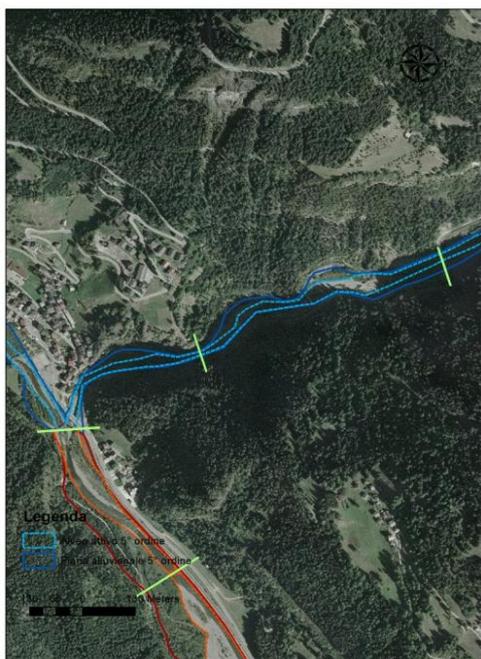


Figura 8.2: in alto a sinistra è indicata la foto aerea del tratto **50501** (in blu delimitato da due linee verdi); a destra abbiamo una foto che indica le caratteristiche principali del torrente durante la valutazione sul terreno.

Tabella 8.1: riepilogo dei punteggi per il tratto **50501**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	B	A1	B	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	60
F2	B	A2	B2	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	127
F3		A3	B	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM )	0,49
F4	C	A4	B			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,51</b>
F5	C	A5	B			CLASSE DI QUALITA'	<b>MODERATO</b>
F6		A6	B				
F7	B	A7	A				
F8		A8	A				
F9	B	A9	A				
F10	B	A10	B				
F11	C	A11	B				
F12	C	A12	A				
F13	C						

Tratto **50502** T. Fiorentina



Come il precedente, anche questo tratto è ubicato a Caprile di Alleghe, appena al di fuori dalle zone abitate. Esso è delimitato a valle da una briglia, la quale è adiacente ad una galleria, mentre a monte è delimitato da un ponte che attraversa il torrente. Rispetto al precedente, la strada in destra idrografica è più elevata rispetto alla piana inondabile (Figura 8.3). Il suo ambito fisiografico è collinare-montano, e l'alveo è di tipo wandering, con configurazione del fondo a letto piano, derivante dalle sistemazioni idraulico forestali presenti nei due tratti più a monte, che nel tempo ne hanno ridotto la pendenza. In esso sono presenti quattro opere spondali in sinistra idrografica e due briglie (di cui una di trattenuta del materiale legnoso). Il tratto è stato classificato come confinato, e presenta un IQM pari a 0,59. Pertanto il tratto è valutato **moderato** (Tabella 8.2).

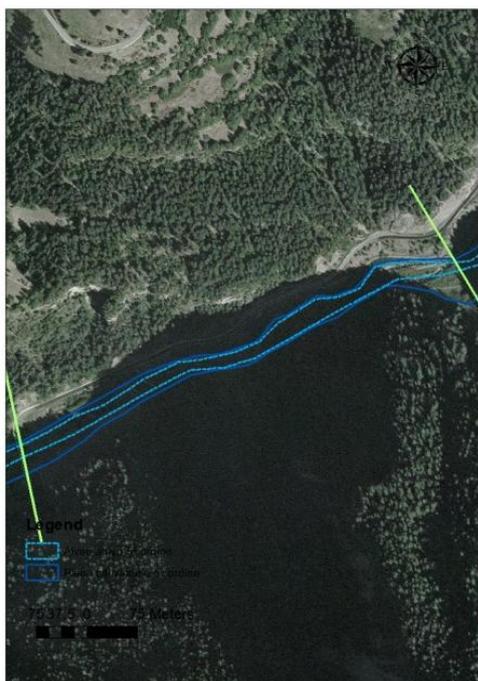


Figura 8.3: in alto a sinistra è indicata la foto aerea del tratto **50502**, mentre a destra abbiamo una foto che indica le caratteristiche principali del torrente durante la valutazione sul terreno.

Tabella 8.2: riepilogo dei punteggi per il tratto **50502**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	C	A1	B	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	49
F2		A2	B2	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	127
F3	B	A3	B	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM)	0,41
F4		A4	B			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA (IQM)	<b>0,59</b>
F5		A5	A			CLASSE DI QUALITA'	<b>MODERATO</b>
F6	A	A6	A				
F7	B	A7					
F8		A8					
F9	B	A9	A				
F10	B	A10	B				
F11	C	A11	B				
F12	B	A12	B				
F13	A						

Tratto **50503** T. Fiorentina



Questo tratto è ubicato a Caprile di Alleghe, nelle vicinanze dei confini territoriali di Selva di Cadore. Il tratto in questione è delimitato a valle da ponte che attraversa il torrente e a monte da una briglia adiacente ad una galleria, ed è di ambito collinare-montano. Esso presenta una tipologia d'alveo a wandering, con configurazione a riffle pool. Le opere di sistemazione idraulico forestale presenti su questo tratto sono: quattro opere spondali in sinistra idrografica, tre opere spondali in destra idrografica, tre briglie (di altezza media pari a circa 3 m sulla gaveta) ed un ponte. In destra idrografica è presente la strada, alta circa 10 m rispetto all'alveo, ed in sinistra idrografica c'è un ripido versante, in cui la vegetazione è più fitta rispetto ai tratti esaminati in precedenza (Figura 8.4). Esso è classificato come confinato e presenta un IQM pari a 0,56. Pertanto viene valutato come **moderato** (Tabella 8.3).

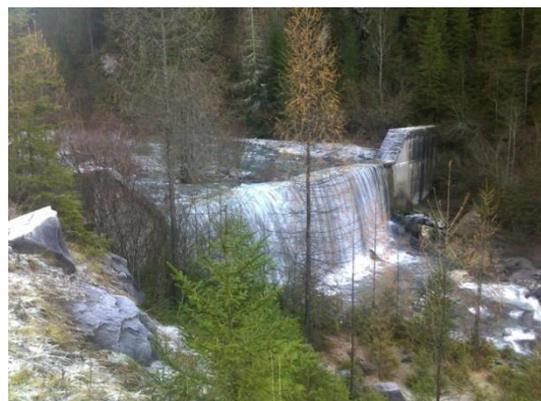


Figura 8.4: in alto a sinistra è indicata la foto aerea del tratto **50503**; in basso abbiamo due foto effettuate durante il rilievo sul terreno, che indicano le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.3: riepilogo dei punteggi per il tratto **50503**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	B	A1	B	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	48
F2		A2	B2	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	127
F3	B	A3	B	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM)	0,44
F4		A4	B			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,56</b>
F5		A5	B			CLASSE DI QUALITA'	<b>MODERATO</b>
F6	A	A6	B				
F7	B	A7					
F8		A8					
F9	B	A9	A				
F10	A	A10	B				
F11	A	A11	B				
F12	C	A12	B				
F13	B						

Tratto **50504** T. Fiorentina



Questo tratto completa serie di ordine 5 del Fiorentina. Esso è ubicato ai confini tra Caprile di Alleghe e Selva di Cadore, ed è delimitato a valle da una briglia adiacente ad una galleria, e a monte dalla confluenza del torrente Codalonga. Il tratto in questione è di ambito collinare-montano, presenta un alveo di tipo wandering ed ha configurazione riffle pool. L'altezza della strada in destra idrografica tende a diminuire man mano che ci si avvicina verso monte, fino ad arrivare ad un'altezza di 3 m sulla confluenza con il Codalonga (Figura 8.5). Le opere di sistemazione idraulico forestale presenti sono: sette briglie (una di esse è una briglia di trattenuta, con gaveta alta circa 5 m, usata per bloccare massi e legname), dodici opere spondali in sinistra idrografica, un'opera spondale in destra idrografica. L'alveo è classificato come confinato e presenta un IQM pari a 0,61. Pertanto è stato valutato come **moderato** (Tabella 8.4).

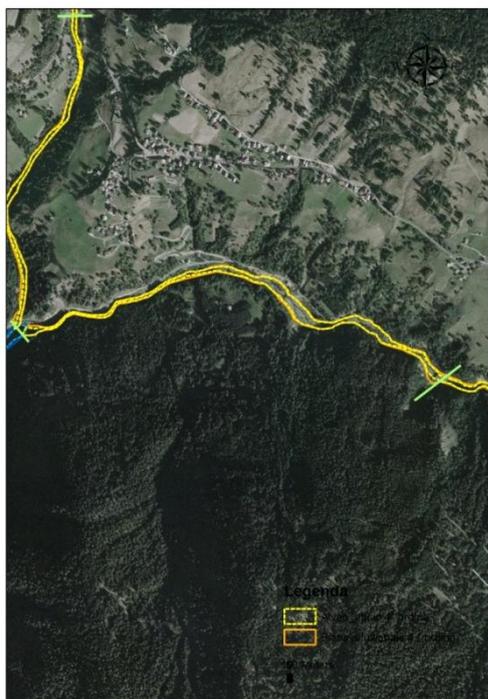


Figura 8.5: in alto a sinistra abbiamo una foto aerea del tratto **50504**; in basso abbiamo due foto che ne indicano le caratteristiche principali.

Tabella 8.4: riepilogo dei punteggi per il tratto **50504**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	B	A1	B	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	41
F2		A2	B1	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	111
F3	B	A3	B	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM)	0,39
F4		A4	C			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA (IQM)	<b>0,61</b>
F5		A5	A			CLASSE DI QUALITA'	<b>MODERATO</b>
F6	A	A6	B				
F7	A	A7					
F8		A8					
F9	B	A9	A				
F10	A	A10	B				
F11	A	A11	B				
F12	C	A12	B				
F13	B						

Tratto **40501** T. Fiorentina



Questo tratto del Fiorentina (di ordine 4) è ubicato nel territorio di Selva di Cadore, uno dei due comuni presenti nella val Fiorentina. Il tratto è delimitato a valle dalla confluenza con il torrente Codalonga, mentre a monte confina con una briglia chiusa. La strada, in destra idrografica, verso la metà del tratto termina di costeggiare la riva. In sinistra idrografica, sempre verso la metà, sono presenti i ruderi del villaggio di Fiorentina, ormai disabitato (Figura 8.6). Il tratto presenta un ambito fisiografico montano, ed un alveo di tipo wandering con configurazione a riffle pool. Le opere di sistemazione idraulico forestale presenti sul tratto sono: sette opere spondali in sinistra idrografica, tre opere spondali in destra idrografica, due ponti ed undici briglie, di altezza mediamente pari a 1,5 m sulla gaveta. Il tratto è stato classificato confinato, ed ha un IQM pari a 0,67. Pertanto è stato valutato come **moderato** (Tabella 8.5).



Figura 8.6: in alto a sinistra abbiamo la foto aerea del tratto **40501**; in basso abbiamo due foto che indicano le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.5: riepilogo dei punteggi per il tratto **40501**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	B	A1	B	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	34
F2		A2	B1	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	104
F3	A	A3	B	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM)	0,33
F4		A4	B			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,67</b>
F5		A5	B			CLASSE DI QUALITA'	<b>MODERATO</b>
F6	A	A6	B				
F7	A	A7					
F8		A8					
F9	C	A9	A				
F10	A	A10	A				
F11	A	A11	B				
F12	B	A12	B				
F13	B						

Tratto **40503** T. Fiorentina



Questo tratto è ubicato a Selva di Cadore, in località Pescul. Esso è delimitato a valle dai confini territoriali della località Santa Fosca, mentre a monte è delimitato dalla confluenza con il torrente Cordon. Esso presenta un ambito fisiografico montano, e l'alveo è di tipo a canale singolo con configurazione a riffle pool. In sinistra idrografica il tratto è a ridosso del versante, mentre in destra idrografica, verso monte, esso è a ridosso dell'abitato di Pescul, a valle invece le pendenze diventano più accentuate, e comincia a formarsi un versante ricco di vegetazione (Figura 8.7). Le opere di sistemazione idraulico forestale presenti sono: cinque opere spondali in sinistra idrografica, sei opere spondali in destra idrografica, due ponti ed una briglia. Esso è stato classificato confinato, ed ha un IQM pari a 0,67. Pertanto il tratto è valutato **moderato** (Tabella 8.6).



Figura 8.7: in alto a sinistra abbiamo la foto aerea del tratto **40503**; in basso abbiamo due foto eseguite con i rilievi sul terreno, che indicano le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.6: riepilogo dei punteggi del tratto **40503**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	B	A1	A	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	34,5
F2		A2	B1	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	104
F3	B	A3	B	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM)	0,33
F4		A4	A			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,67</b>
F5		A5	C			CLASSE DI QUALITA'	<b>MODERATO</b>
F6	A	A6	B				
F7		A7					
F8		A8					
F9	B	A9	B				
F10	A	A10	A				
F11	A	A11	B				
F12	A	A12	B				
F13	B						

Tratto **40504** T. Fiorentina



Il tratto è ubicato a Selva di Cadore, in località Pescul. Esso è delimitato a valle dalla confluenza con il torrente Cordon, mentre a monte è delimitato da una zona dove il torrente restringe bruscamente il proprio alveo. Questo tratto è costeggiato ed attraversato dalla strada provinciale 251, ed il torrente si posiziona, verso monte, in un'area quasi piana (*Figura 8.8*). Si presenta con un ambito fisiografico montano, con un alveo a canale singolo e con configurazione a riffle pool e in parte a gradinata. Le opere di sistemazione idraulico forestale presenti nel tratto sono: quattro opere spondali in sinistra idrografica, quattro opere spondali in destra idrografica, tre ponti e tre piccole briglie nella parte finale del tratto verso valle, non presenti nel Catasto Opere. Esso è stato classificato confinato, e presenta un IQM pari a 0,88. Pertanto è stato valutato **elevato** (*Tabella 8.7*).



*Figura 8.8: in alto a sinistra abbiamo una foto aerea del tratto 40504; in basso abbiamo due foto effettuate durante il rilievo sul terreno, che indicano le caratteristiche principali del tratto esaminato.*

*Tabella 8.7: riepilogo dei punteggi per il tratto 40504.*

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	B	A1	A	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	9,5
F2		A2	A	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	104
F3	A	A3	A	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM)	0,12
F4		A4	A			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0.88</b>
F5		A5	B			CLASSE DI QUALITA'	<b>ELEVATO</b>
F6	A	A6	A				
F7		A7					
F8		A8					
F9	A	A9	A				
F10	A	A10	A				
F11	A	A11	A				
F12	A	A12	A				
F13	B						

Tratto **40505** T. Fiorentina



L'ultimo tratto di ordine 4 del torrente Fiorentina è ubicato a Selva di Cadore. Esso è delimitato a valle da una zona dove il torrente tende a restringersi, mentre a monte è delimitato dal punto ove iniziano i tratti di ordine 4 e finiscono quelli di ordine 3. Questo tratto presenta un ambito fisiografico collinare-montano, con un alveo a canale singolo ed una configurazione a riffle pool. Esso è in parte costeggiato in sinistra idrografica dalla strada provinciale 251, mentre in destra idrografica verso monte si può notare vicinissimo alla riva il campeggio Cadore (Figura 8.9). Le opere di sistemazione idraulico forestale presenti nel tratto sono: tre opere spondali in sinistra idrografica, due opere spondali in destra idrografica e tre ponti. Esso è stato classificato semi-confinato, e presenta un IQM pari a 0,89. Pertanto è stato valutato **elevato** (Tabella 8.8).



Figura 8.9: in alto a sinistra abbiamo una foto aerea del tratto **40505**; in basso abbiamo due foto effettuate durante il rilievo sul terreno, che indicano le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.8: riepilogo dei punteggi per il tratto **40505**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	A	A1	A	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	105
F2	B	A2	A	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	115
F3		A3	A	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM)	0,11
F4	A	A4	A			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,89</b>
F5	A	A5	B			CLASSE DI QUALITA'	<b>ELEVATO</b>
F6	A	A6	A				
F7	A	A7	A				
F8		A8	A				
F9	A	A9	A				
F10	A	A10	A				
F11	A	A11	B				
F12	A	A12	B				
F13	A						

## 8.2 Campagna di rilievi sul bacino del Cordevole.

In questa campagna di rilievi si è provveduto a compilare le schede di valutazione dei tratti del torrente Cordevole. I tratti partono a valle dal ponte in località Sala di Alleghe, per arrivare alla confluenza con il torrente Fiorentina a Caprile di Alleghe. Tutti i tratti si presentano con ordine 6, secondo la classificazione di Horton-Strahler. Nella *Figura 8.10* è riportata una panoramica dei tratti analizzati sul torrente Cordevole.



*Figura 8.10: tratti analizzati nella campagna di rilievi sul bacino del Cordevole.*

Tratto **60133** - T. Cordevole



Il primo tratto in esame appartiene al torrente Cordevole, con estremità a valle indicata dal ponte in località Sala di Alleghe ed estremità a monte indicata dal punto di cambio delle pendenze del torrente, che diventano meno accentuate. Inoltre, rispetto al tratto immediatamente a monte, la superficie della piana inondabile risulta aumentata, e si riscontrano al proprio interno almeno due isole fluviali (Figura 8.11). Il tratto si trova in un contesto collinare-montano, e l'alveo si presenta di tipo wandering con configurazione a riffle pool. Esso contiene le seguenti opere di sistemazione idraulico forestale: tre opere spondali in sinistra idrografica, tre opere spondali in destra idrografica ed una soglia. Classificato come semi-confinato, l'indice IQM risulta essere pari a 0,70 ed il tratto si classifica come **buono** (Tabella 8.9).



Figura 8.11: in alto a sinistra abbiamo una foto aerea del tratto **60133**; in basso abbiamo due foto effettuate durante il rilievo sul terreno, che indicano le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.9: riepilogo dei punteggi del tratto **60133**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	A	A1	B	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	41
F2	B	A2	C1	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	127
F3		A3	A	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM)	0,30
F4	A	A4	A			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA (IQM)	<b>0,70</b>
F5	A	A5	B			CLASSE DI QUALITA'	<b>BUONO</b>
F6		A6	B				
F7	A	A7	A				
F8		A8	A				
F9	B	A9	A				
F10	B	A10	A				
F11	A	A11	B				
F12	A	A12	B				
F13	B						

Tratto **60134** T. Cordevole



Questo tratto è immediatamente a monte del precedente, in ambito fisiografico montano alpino, con estremità a valle indicata da un cambio di pendenze, sempre più elevate nella salita verso monte, ed estremità a monte individuata con ponte di Masarè, al confine con il lago di Alleghe. La localizzazione del tratto è tra le località Sala e Masarè, entrambe nel comune di Alleghe. Esso si presenta a canale singolo con configurazione a gradinata con tratti a riffle pool. Il tratto nell'estrema parte verso monte presenta cinque briglie a gradinata, alte circa 3 m alla gaveta, allo scopo di ridurre la pendenza, che comunque si presenta lo stesso molto elevata, e diminuire così la velocità di portata. Inoltre sono presenti quattro opere spondali in destra e una in sinistra idrografica (Figura 8.12). Il tratto si classifica come confinato, e l'indice IQM risulta essere pari a 0,48, e risulta classificato come **scadente** (Tabella 8.10).



Figura 8.12: in alto a sinistra abbiamo una foto aerea del tratto **60134**; in basso abbiamo due foto effettuate durante il rilievo sul terreno, indicanti le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.10: riepilogo dei punteggi del tratto **60134**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	B	A1	A	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	65,5
F2		A2	C2	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	106
F3	A	A3	B	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM )	0,52
F4		A4	C			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,48</b>
F5		A5	A			CLASSE DI QUALITA'	<b>SCADENTE</b>
F6	B	A6	C				
F7		A7					
F8		A8					
F9	B	A9	A				
F10	A	A10	B				
F11	A	A11	B				
F12	A	A12	B				
F13	A						

Tratto **60135** T. Cordevole



Il tratto è ubicato nel comune di Alleghe. La sua delimitazione è data a valle dal lago di Alleghe, e a monte dalla fine dell'abitato "Le Grazie", ubicato in destra idrografica. L'ambito fisiografico è di tipo collinare-montano. L'alveo è di tipo wandering con una configurazione del fondo a riffle pool. Il tratto (Figura 8.13) presenta come opere di sistemazione idraulico forestale, quattro opere spondali in destra idrografica, a difesa dell'abitato "Le Grazie", ed una in sinistra idrografica, a difesa della SR 203 che collega Alleghe con Caprile. Inoltre esso è attraversato da due ponti. Classificato come semi-confinato, quest'alveo ha un IQM pari a 0.62 e pertanto si classifica come **moderato** (Tabella 8.11).

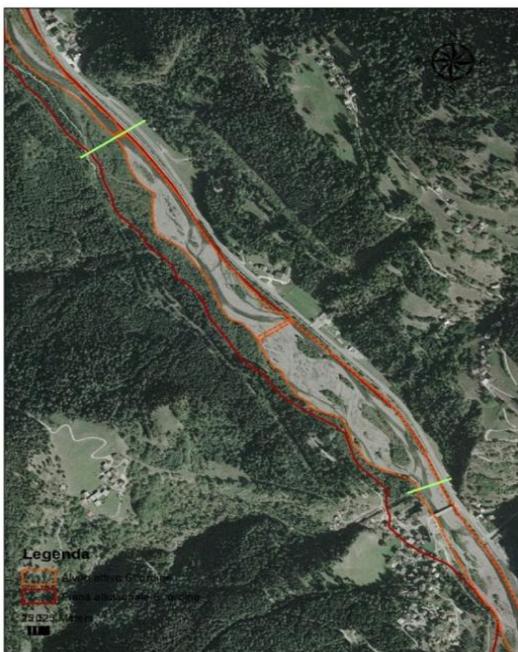


Figura 8.13: in alto a sinistra abbiamo una foto aerea del tratto **60135**; in basso abbiamo due foto effettuate durante il rilievo sul terreno, che indicano le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.11: riepilogo dei punteggi del tratto **60135**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	A	A1	A	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	53
F2	B	A2	A	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	127
F3		A3	A	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM )	0,38
F4	C	A4	A			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,62</b>
F5	B	A5	C			CLASSE DI QUALITA'	<b>MODERATO</b>
F6		A6	C				
F7	A	A7	B				
F8		A8	A				
F9	B	A9	B				
F10	B	A10	B				
F11	C	A11	B				
F12	B	A12	B				
F13	C						

Tratto **60136** T. Cordevole



Il tratto è ubicato nel comune di Alleghe, ed ha estremità a valle coincidente con la fine dell'abitato "Le Grazie", e a monte indicata con il restringimento dell'alveo, subito dopo un'isola fluviale, vicino a Caprile. L'ambito fisiografico è di tipo collinare-montano, e si presenta con un alveo di tipo wandering e forme di fondo a riffle pool (Figura 8.14). Nel Catasto Opere è riportata una sola opera spondale in sinistra idrografica. Con la valutazione sul terreno è stato invece riscontrato che le opere spondali presenti in sinistra idrografica sono di più, a seguito della sistemazione della SR 203 e della costruzione di una pista ciclabile a ridosso del torrente. Anche questo tratto si classifica come semi-confinato, con un IQM pari a 0,68. Pertanto il tratto si classifica come **moderato**, Tabella 8.12).



Figura 8.14: in alto a sinistra abbiamo una foto aerea del tratto **60136**; in basso abbiamo due foto effettuate durante il rilievo sul terreno, che indicano le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.12: riepilogo dei punteggi del tratto **60136**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	A	A1	A	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	40,5
F2	B	A2	A	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	127
F3		A3	A	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM )	0,32
F4	B	A4	A			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,68</b>
F5	B	A5	A			CLASSE DI QUALITA'	<b>MODERATO</b>
F6		A6	C				
F7	A	A7	B				
F8		A8	A				
F9	B	A9	A				
F10	B	A10	B				
F11	C	A11	B				
F12	C	A12	B				
F13	B						

Tratto **60137** T. Cordevole



Il tratto è ubicato nella località di Caprile di Alleghe, con estremità a valle indicata dal restringimento dell'alveo ed estremità a monte coincidente con la confluenza del torrente Fiorentina. Questo tratto è di ambito fisiografico collinare-montano, con alveo di tipo wandering e configurazione a riffle pool (Figura 8.15). Come nel tratto precedente, anche in questo caso il Catasto Opere segnala una sola opera spondale in sinistra idrografica, ma la presenza della SR 203 e della pista ciclabile indicano che le opere spondali in sinistra idrografica sono più di quelle riportate, come rilevato dalla valutazione sul terreno. Questo tratto si classifica come confinato, ha IQM pari a 0,73 e si classifica pertanto come **buono** (Tabella 8.13).



Figura 8.15: in alto a sinistra abbiamo una foto aerea del tratto **60137**; sopra abbiamo due foto effettuate durante il rilievo sul terreno, indicanti le caratteristiche principali del tratto esaminato.

Tabella 8.13: riepilogo dei punteggi del tratto **60137**.

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA		ARTIFICIALITA'		VARIAZIONI MORFOLOGICHE		INDICI E CLASSE	
F1	A	A1	A	V1	A	SCOSTAMENTO TOTALE ( S tot )	32,5
F2		A2	B1	V2	A	SCOSTAMENTO MAX ( S max )	106
F3	B	A3	A	V3	*	INDICE DI ALTERAZIONE MORFOLOGICA (IAM )	0,27
F4		A4	A			INDICE DI QUALITA' MORFOLOGICA ( IQM )	<b>0,73</b>
F5		A5	A			CLASSE DI QUALITA'	<b>BUONO</b>
F6	A	A6	C				
F7		A7					
F8		A8					
F9	A	A9	A				
F10	A	A10	B				
F11	C	A11	B				
F12	B	A12	B				
F13	B						



## 9. DISCUSSIONE

Di seguito verranno approfonditi i risultati ottenuti con l'applicazione dell'Indice di Qualità Morfologica nei tratti del torrente Fiorentina e Cordevole che sono stati monitorati. I tratti analizzati hanno evidenziato alcuni dubbi riguardo all'applicazione di alcuni indici rispetto alla metodologia utilizzata, e l'utilizzo di questo indice per una possibile futura riqualificazione delle aree esaminate. Questa discussione ha il compito di chiarire alcuni aspetti pratici di questo indice, evidenziandone, eventualmente, alcuni limiti.

### 9.1 Analisi generale dell'IQM: panoramica di tutti i tratti valutati.

I tratti si presentano generalmente in discrete condizioni, considerando che in vari punti si presentano strade a ridosso della riva e c'è un numero considerevole di sistemazioni idraulico-forestali. In linea di massima sono tratti facilmente raggiungibili, con la sola eccezione del tratto **40502**, in cui le difficoltà sorte durante il rilievo in campo, dovute alla pendenza delle sponde, non ha permesso il raggiungimento di buona parte del tratto in questione. Pertanto la valutazione non è stata possibile.

Tabella 9.1: panoramica dei punteggi dei tratti analizzati, inerenti allo STEP 1: FUNZIONALITÀ.

	FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA												
	CONTINUITA'					MORFOLOGIA						VEGETAZIONE FASCIA PERIFLUVIALE	
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13
40501	B		A			A	A		C	A	A	B	B
40503	B		B			A			B	A	A	A	B
40504	B		A			A			A	A	A	A	B
40505	A	B		A	A	A	A		A	A	A	A	A
50501	B	B		C	C		B		B	B	C	C	C
50502	C		B			A	B		B	B	C	B	A
50503	B		B			A	B		B	A	A	C	B
50504	B		B			A	A		B	A	A	C	B
60133	A	B		A	A		A		B	B	A	A	B
60134	B		A			B			B	A	A	A	A
60135	A	B		C	B		A		B	B	C	B	C
60136	A	B		B	B		A		B	B	C	C	B
60137	A		B			A			A	A	C	B	B

Nella *Tabella 9.1* è riportato un riassunto dei punteggi conseguiti per quanto riguarda la prima parte delle schede di rilevamento, ovvero la valutazione del grado di FUNZIONALITÀ. In seguito sono analizzate nel dettaglio le singole risposte attribuite ad ogni tratto.

## CONTINUITÀ

- **F1 - Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso.** In linea generale la naturale continuità delle portate solide (compreso il legname) è poco o mediamente alterata da opere antropiche che vanno ad intercettare o ad ostacolare il libero flusso di questi elementi (risposta A o B). Il livello è mediamente buono, tranne per un tratto con maggiori alterazioni (risposta C), che sarebbe il **50502**. In questo tratto sono presenti alcune briglie (mediamente alte 4 m) che alterano il flusso di sedimenti e legname in maniera considerevole.
- **F2 - Presenza di piana inondabile.** Si è valutata la presenza, l'estensione e la continuità di una superficie morfologica naturale con le caratteristiche di una pianura inondabile (frequenza di inondazione elevata), considerata indicatore della funzionalità dei processi di continuità laterale dei flussi liquidi e solidi. In questo indicatore la risposta era richiesta solo per alvei semi- non confinati (nella *Tabella 11.1* la risposta è barrata per alvei confinati). Il livello è generalmente buono in tutti i tratti esaminati.
- **F3 - Connessione tra versanti e corso d'acqua.** Con questo indicatore è stato valutato il grado di collegamento tra versanti e corridoio fluviale, ovvero l'insieme di alveo e pianura alluvionale, il quale riveste una grande importanza per i naturali processi di immissione di sedimento e materiale legnoso in alvei confinati, ad opera di erosione superficiale, fenomeni di dissesto, valanghe e schianti arborei. Non si sono valutati quindi in questo indicatore gli alvei semi- non confinati. Per gli alvei esaminati il livello di punteggio è stato generalmente medio-alto.
- **F4 - Processi di arretramento delle sponde.** L'arretramento delle sponde è un meccanismo alla base della naturale funzionalità morfologica del corso d'acqua, favorendone la ricarica (quindi la continuità longitudinale) di sedimenti, l'evoluzione morfologica naturale, la costruzione della piana inondabile e degli habitat ripariali. L'assenza di tali processi inibisce fortemente la dinamica naturale dell'alveo. In corsi d'acqua non alterati è lecito aspettarsi la presenza di un certo numero di sponde in erosione; tuttavia, in alcuni casi la presenza eccessiva di erosioni di sponda,

soprattutto quando legata ad instabilità diffusa per movimenti di massa, può essere un sintomo di un tratto fluviale destabilizzato dall'incisione del fondo. L'indicatore (valutato per tipologie di alveo semi- non confinato) ha valutato se la presenza di processi di arretramento di sponda era quella attesa o se si registrava un evidente scostamento (alterazione) rispetto alle condizioni normali. Per quanto riguarda i tratti esaminati, si è evidenziato un eccessivo controllo antropico per i tratti **50501** e **60135**, nei quali i livelli di punteggio si sono abbassati rispetto agli altri tratti analizzati (risposta C).

- **F5 - Presenza di una fascia potenzialmente erodibile.** I corsi d'acqua semi- e non confinati, per loro natura si muovono lateralmente nel tempo: se tale processo è impedito o inibito dalla presenza di opere di fissazione o da elementi artificiali che richiederebbero una protezione, il corso d'acqua si discosta dalle sue condizioni di funzionalità naturale. Questo indicatore ha riguardato quindi la potenzialità che ha un corso d'acqua di muoversi lateralmente nei prossimi decenni. Tranne che per il tratto **50501** (nella cui zona si è intervenuto in passato per ridurre gli effetti di erosione a ridosso dell'abitato di Caprile), in generale i tratti si sono presentati mediamente modificati; nel caso del tratto **40505** il livello è ottimale.

## **MORFOLOGIA**

- **F6 - Morfologia del fondo e pendenza della valle.** Questo indicatore si è applicato ad alvei confinati a canale singolo, in cui l'aspetto planimetrico del corso d'acqua non riveste alcun valore diagnostico di funzionalità geomorfologica, in quanto esso viene imposto dalla configurazione e dinamica dei versanti. Per questi alvei è invece la morfologia del fondo ad assumere rilevanza, come evidenziato dalle classificazioni morfologiche relative a queste tipologie di corsi d'acqua. In particolare, esiste una forte correlazione tra pendenza dell'alveo e tipologia morfologica, ovvero al crescere delle pendenze si ha il seguente ordine di forme: dune, riffle-pool, letto piano, gradinata. I risultati hanno evidenziato un livello molto buono, in quanto la presenza di opere localizzate, sebbene in alcuni punti elevata, ne ha fatto risentire gli effetti in maniera trascurabile.
- **F7 - Forme e processi tipici della configurazione morfologica.** Questo indicatore mirava a valutare se le forme ed i processi tipici della configurazione morfologica alla quale appartiene il tratto fossero attivi o in parte alterati da impatti antropici. Sono

stati presi in esame in particolar modo gli aspetti morfologici planimetrici che concorrono alla definizione del pattern morfologico del tratto, applicandolo a tutti i tratti semi- non confinati e a tratti confinati con canali multipli o wandering. Il livello riscontrato è stato generalmente molto buono nella maggior parte dei tratti esaminati.

- **F8: Presenza di forme tipiche di pianura.** Questo indicatore non è stato applicato a nessun tratto in esame, in quanto possono essere esaminati solo tratti meandriformi, tipici infatti delle pianure alluvionali.
- **F9: Variabilità della sezione.** Un corso d'acqua presenta per sua natura una certa variabilità morfologica nella configurazione della sezione, sia in termini di larghezza che di profondità, riflettendo la naturale diversità di forme e superfici geomorfologiche (canale o canali, barre, isole, ecc.) all'interno dell'alveo. Tale variabilità morfologica è una naturale conseguenza dei normali processi geomorfologico-idraulici e riveste particolare importanza per la diversificazione di habitat. Un'eccessiva omogeneità di forma della sezione è quasi sempre sintomo di alterazioni, che possono essere legate non solo alla presenza di elementi antropici visibili, ma anche ad interventi che ne hanno modificato la forma (rimodellazione sezione, riprofilatura sponde, ecc.) o di aggiustamenti morfologici (ad esempio tratti incisi e privi di sedimenti) a loro volta legati ad alterazioni sistemiche del rapporto tra portate solide e capacità di trasporto. Attraverso questo indicatore si è valutato pertanto questo tipo di alterazione. In questo caso è stato riscontrato generalmente un livello discreto di punteggi, che è arrivato ad essere insufficiente per il tratto **40501**, nel quale la presenza di strade importanti per la viabilità del luogo ha costretto ad interventi di rimodellamento delle sezioni dei torrenti.
- **F10 - Struttura del substrato.** Un corso d'acqua presenta in condizioni inalterate una naturale eterogeneità nelle dimensioni granulometriche e nelle caratteristiche strutturali-tessiturali dei sedimenti presenti sul letto (sia sul fondo che sulle barre), eccetto che in alcuni casi (alvei confinati in roccia, oppure alvei con sedimenti fini). La struttura ed eterogeneità del substrato è una caratteristica che condiziona la funzionalità dei processi di trasporto solido al fondo e di resistenza al moto, nonché di importanza fondamentale per gli habitat acquatici. Tale struttura può essere alterata a causa della presenza di alcuni fattori principalmente antropici o come

conseguenza di processi di aggiustamento morfologico (incisione, sedimentazione) a loro volta legati a cause antropiche. Questo indicatore ha pertanto valutato la presenza delle alterazioni più evidenti nella struttura del substrato, ed è stato valutato per tutti i tipi di alveo. In questo caso, il livello dei punteggi ottenuti è stato generalmente molto buono.

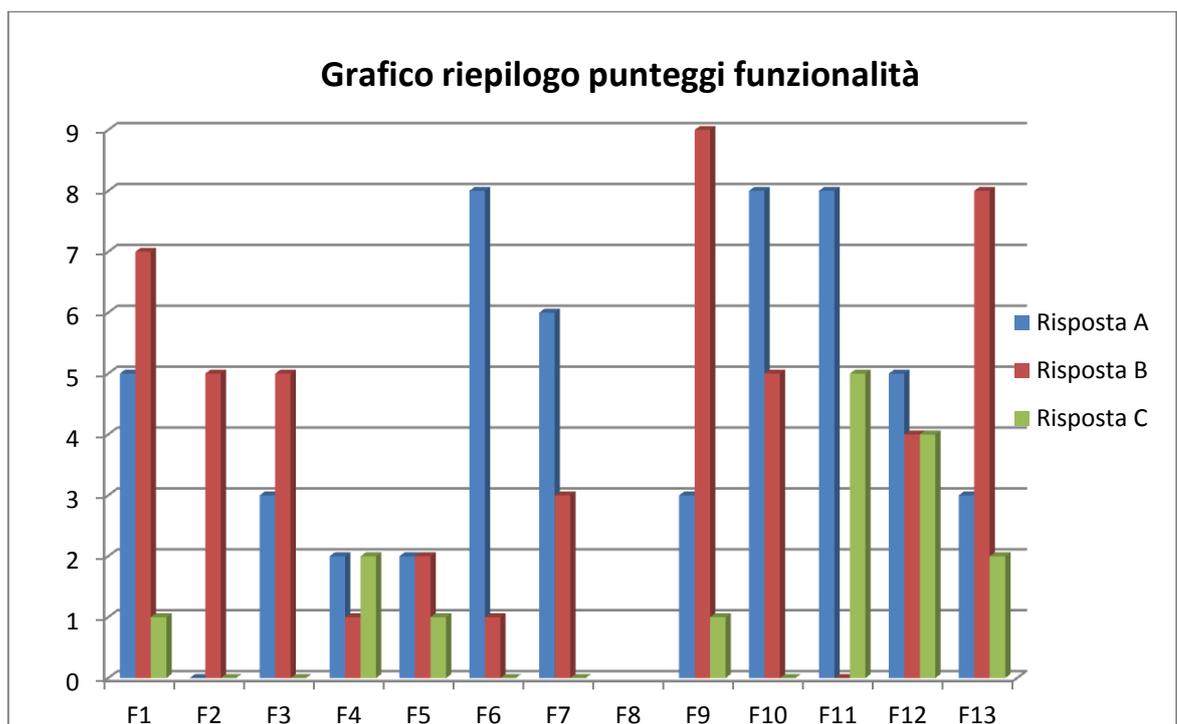
- **F11 - Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni.** Questo indicatore mira a valutare se un tratto presenta condizioni di alterazione rispetto alla presenza attesa di materiale legnoso morto di grandi dimensioni all'interno dell'alveo, ovvero alberi, tronchi, rami, ceppaie aventi lunghezza > 1m e diametro > 10 cm. Tale materiale legnoso svolge importanti funzioni nei confronti dei normali processi geomorfologico-idraulici ed ha numerose implicazioni in termini ecologici (diversità di habitat, input di materia organica, ecc.). È riconosciuto altresì come il materiale legnoso rappresenti spesso un fattore di pericolosità idraulica in quanto può determinare, durante eventi di piena, occlusioni di ponti e di opere idrauliche. Tuttavia, essendo il presente metodo finalizzato alla valutazione del grado di alterazione del sistema fluviale rispetto ai processi naturali di trasporto solido (sedimento e legno), l'indicatore qui descritto deve riflettere se un certo tratto si presenta o meno alterato rispetto alla "dotazione" di materiale legnoso che ci si attende date le caratteristiche morfologiche e vegetazionali del tratto stesso. Dato che questo indicatore ne ha valutato la presenza (o l'assenza), i punteggi sono risultati tendenzialmente opposti. L'assenza di materiale legnoso è stata riscontrata soprattutto nelle vicinanze dei centri abitati.

#### **VEGETAZIONE FASCIA PERIFLUVIALE**

- **F12 - Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale.** Con questo indicatore si intende valutare l'ampiezza (o in maniera equivalente l'estensione areale) attuale, in relazione all'ampiezza della *fascia perifluviale*, cioè della pianura disponibile per la fascia di vegetazione arborea ed arbustiva, ovvero per le formazioni funzionali. In questo caso i punteggi hanno avuto spesso la tendenza ad abbassarsi, soprattutto nei tratti in cui il torrente passava a ridosso di strade e centri abitati.
- **F13: Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde.** Qui si è inteso valutare lo sviluppo longitudinale della fascia di vegetazione funzionale (arborea,

arbustiva ed a idrofite) lungo l'alveo, a prescindere dalla sua estensione areale. Anche in questo caso, come per l'indicatore precedente, si è fatto riferimento al rapporto tra la condizione attuale e quella massima disponibile. Al di là dei tratti **60135** e **50501**, in cui l'abitato di Caprile ha ridotto in maniera considerevole la presenza di formazioni funzionali, i tratti sono stati valutati generalmente in modo discreto, evidenziando possibili margini di miglioramento.

Nella *Figura 9.1* viene riportato un istogramma delle risposte, che consente di visualizzare al meglio le valutazioni generali dei tratti per quanto riguarda la **funzionalità**.



*Figura 9.1: istogramma delle risposte inerenti allo STEP 1: FUNZIONALITÀ.*

Tabella 9.2: panoramica dei punteggi dei tratti analizzati, inerenti allo STEP 2: ARTIFICIALITÀ.

	ARTIFICIALITÀ											
	OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ LONGITUDINALE A MONTE		OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ LONGITUDINALE NEL TRATTO			OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ LATERALE		OPERE DI ALTERAZIONE DELLA MORFOLOGIA DELL'ALVEO E/O DEL SUBSTRATO		INTERVENTI DI MANUTENZIONE E PRELIEVO		
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
40501	B	B1	B	B	B	B			A	A	B	B
40503	A	B1	B	A	C	B			B	A	B	B
40504	A	A	A	A	B	A			A	A	A	A
40505	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	B	B
50501	B	B2	B	B	B	B	A	A	A	B	B	A
50502	B	B2	B	B	A	A			A	B	B	A
50503	B	B2	B	B	B	B			A	B	B	B
50504	B	B1	B	C	A	B			A	B	B	B
60133	B	C1	A	A	B	B	A	A	A	A	B	B
60134	A	C2	B	C	A	C			A	B	B	B
60135	A	A	A	A	C	C	B	A	B	B	B	B
60136	A	A	A	A	A	C	B	A	A	B	B	B
60137	B	B1	A	A	A	C			A	B	B	B

Nella *Tabella 9.2* è riportato un riassunto dei punteggi conseguiti per quanto riguarda la seconda parte delle schede di rilevamento, ovvero la valutazione del grado di ARTIFICIALITÀ. In seguito sono analizzate nel dettaglio le singole risposte attribuite ad ogni tratto.

#### OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ LONGITUDINALE A MONTE

- **A1: Opere di alterazione delle portate liquide.** La valutazione di questa risposta è stata fatta senza avere a disposizione dei dati di portata noti. Pertanto si è ricorsi alla procedura semplificata, la quale tiene conto esclusivamente della tipologia di opera e sulle informazioni disponibili riguardo il loro funzionamento. Nei tratti del Fiorentina e del Cordevole analizzati la presenza di opere (quali dighe, diversivi, scolmatori, casse di espansione) che hanno effetti notevoli sulla continuità delle portate liquide e, in parte, anche su quelle solide è abbastanza limitata. Nelle aree sottese dei tratti sono presenti poche derivazioni a scopo idroelettrico e di piccole dimensioni. Queste opere hanno effetti assai limitati sulle portate liquide formative e su quelle con tempi di ritorno superiori. Nella maggior parte dei tratti è stata data una valutazione buona. Solo i due tratti a valle del lago di Alleghe presentano condizioni particolari, tuttavia

si è considerato che la traversa edificata nel punto più a valle del lago non abbia effetti consistenti sulle portate formative.

- **A2: Opere di alterazione delle portate solide.** Con questo indicatore si sono prese in considerazione le opere trasversali (dighe, briglie, traverse) presenti a monte del tratto di studio che possono indurre effetti rilevanti in termini di alterazione del trasporto solido al fondo. L'alterazione delle portate solide al fondo può avere notevoli effetti sulla dinamica morfologica del tratto, riducendo le forme sedimentarie, favorendo eventualmente condizioni di erosione ed inducendo quindi eventuali variazioni morfologiche e condizioni di instabilità. L'entità dell'alterazione delle portate solide sul tratto è stata valutata in funzione di due aspetti: (1) tipologia di opere e loro impatto sul trasporto al fondo (grado di intercettazione in funzione anche del loro riempimento); (2) rapporto tra area sottesa dalle opere e area del sottobacino sotteso alla sezione di chiusura del tratto. In questo indicatore si sono evidenziate generali differenze di punteggio nei tratti considerati, anzi, in questo caso c'è stata un'ulteriore differenza di punteggio; tralasciando il punteggio A, i punteggi B e C si suddividono a loro volta in due categorie: (B1) presenza di una diga con un'area dell'opera tra il 5% e il 33% dell'area sottesa del tratto oppure presenza di una o più briglie di trattenuta non colmate con un'area dell'opera tra il 33% e il 66% dell'area sottesa al tratto (tratti **40501, 40503, 50504, 60137**); (B2) presenza di una diga con un'area dell'opera tra il 33% e il 66% dell'area sottesa al tratto, presenza di una o più briglie di trattenuta non colmate con un'area dell'opera maggiore del 66% dell'area sottesa al tratto oppure presenza di una briglia di trattenuta non colmata a monte del tratto (tratti **50501, 50502, 50503**); (C1) presenza di una diga con un'area dell'opera maggiore del 66% dell'area sottesa del tratto (tratto **60133**); (C2) presenza di una diga all'estremità a monte del tratto (tratto **60134**). La presenza, quindi, di queste opere è stata certamente impattante ed invasiva, ed ha inciso in maniera significativa per la maggior parte dei tratti esaminati.

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

- **A3: Opere di alterazione delle portate liquide (diversivi, scolmatori, casse di espansione).** Questo indicatore è del tutto analogo al precedente A1, con la differenza che si riferisce alle opere presenti nel tratto. Tra le opere sono incluse diversivi, scolmatori, casse di espansione. Le dighe sono state escluse in questo

indicatore, in quanto esse devono necessariamente coincidere con un limite tra due tratti. Generalmente i tratti esaminati hanno presentato dei punteggi nella media, o addirittura all'eccellenza (il tratto **40505**, ad esempio, non ha evidenziato nessun opera di questa tipologia).

- **A4: Opere di alterazione delle portate solide (briglie di trattenuta, casse in linea, briglie di consolidamento, traverse, diga a valle).** Questo indicatore ha considerato tutte quelle opere trasversali che producono un'alterazione del normale flusso di sedimenti. Sono state quindi comprese sia le opere di vera e propria intercettazione del trasporto solido (briglie di trattenuta) che altre opere realizzate per scopi diversi (ad es., consolidamento del fondo, derivazione o laminazione) ma che producono (o hanno prodotto fino al loro riempimento) una parziale intercettazione o anche solo un rallentamento del normale flusso di sedimenti (ad esempio per la riduzione della pendenza del fondo o la parziale chiusura della sezione). In questo ambito è stata utilizzata la distinzione tra briglie di trattenuta e briglie di consolidamento. Le briglie di trattenuta sono opere, anche di notevole altezza (fino a 10 m), finalizzate alla trattenuta di materiale solido e legnoso. Esse sono spesso accompagnate da una piazza di deposito a monte e da una opera di altezza contenuta (controbriglia) posta a valle. Negli ultimi decenni si sono affermate le briglie aperte o filtranti, le quali presentano aperture di varia dimensione e forma (finestra, fessura, reticolo, pettine) nel corpo briglia per garantire una capacità autopulente per le granulometrie minori successivamente ad un evento di piena. Se tale filtro è ben realizzato, ciò permette di dosare il trasporto solido durante eventi di piena eccezionale, alterando solo in parte (frazioni grossolane) la continuità longitudinale del sedimento. Tali briglie tendono inoltre a bloccare il materiale legnoso. A differenza delle opere di trattenuta, le briglie di consolidamento sono eseguite non per intercettare il trasporto solido, bensì per ridurre l'intensità e mitigare la capacità erosiva della corrente attraverso una diminuzione della pendenza dell'alveo. In tal caso più opere vengono poste a gradinata. L'effetto delle opere di consolidamento sulla morfologia di un corso d'acqua dipende infatti dalla combinazione della loro interdistanza e altezza (ovvero del dislivello ad esse associato) relativamente al dislivello totale del tratto. Tuttavia, vista la difficoltà a stimare l'altezza delle opere da foto aerea e la frequente assenza di informazioni nei catasti opere, si è ritenuto opportuno utilizzare soltanto il dato di

densità lineare delle opere, ovvero il loro numero per km di tratto. Su questo indicatore sono da evidenziare due tratti con opere di tipologie molto diverse: il tratto **60134** ha presentato un numero di opere in gradinata con una densità molto elevata, il che ha reso l'impatto molto forte per la valutazione dei punteggi (punteggio C), a cui si è dovuto aggiungere ulteriori penalità ; il tratto **50504** ha nella sua superficie un'enorme briglia a pettine, che ha arrecato certamente un impatto forte nel punteggio, ma la densità di opere di questo tipo si è rivelata più bassa; di conseguenza il punteggio per questo indicatore è stato valutato certamente con risposta C, ma non c'è stato bisogno di aggiungere ulteriori penalità.

- **A5: Opere di attraversamento (ponti, guadi, tombinature).** Si tratta di opere che possono alterare localmente le condizioni idrodinamiche della corrente e pertanto possono rallentare, o anche intercettare, il trasporto di sedimento o legname. L'impatto indotto dai ponti dipende fortemente dall'ampiezza delle luci e dalla presenza o meno di pile. In questo indicatore è stato considerato esclusivamente il numero di ponti che provocavano interferenze con il corridoio fluviale presenti nel tratto, intesi quindi come elementi di artificialità a prescindere dai loro effetti. Sono stati quindi conteggiati quelli che presentavano degli elementi artificiali a contatto con l'alveo o nella pianura adiacente (es. pile, spalle, ecc.) oppure, anche in loro assenza, quelli che avessero interferenze con la corrente liquida seppure solo per piene eccezionali. In questo indicatore il punteggio di tipo C è stato dato ai tratti **60135** e **40503**, i quali presentavano un numero di opere superiore all'unità per km di tratto esaminato.

#### **OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ LATERALE**

- **A6: Difese di sponda (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli).** È stata analizzata la presenza lungo il tratto di tutte quelle opere che contribuiscono alla protezione delle sponde dall'erosione ed influiscono quindi sulla continuità laterale in quanto limitano il naturale apporto di sedimenti e materiale legnoso proveniente normalmente dalla mobilità laterale dell'alveo. In questa categoria ci rientrano quindi svariate tipologie, incluse le tecniche più moderne di Ingegneria Naturalistica (palificate, viminate, ecc.) le quali, ai fini degli impatti sulla dinamica morfologica, non presentano sostanziali differenze rispetto alle tecniche tradizionali, in quanto il loro effetto è sempre quello di ridurre l'erosione. I tratti **60134**, **60135**, **60136** e **60137**

hanno presentato scogliere in massi per la metà della lunghezza delle loro sponde, pertanto la presenza è stata di tipo significativo (punteggio C).

- **A7: Arginature.** In questo indicatore è stata analizzata la presenza e la posizione di argini che influissero sulla continuità laterale, impedendo la normale inondazione di territori adiacenti al corso d'acqua. Sono da considerarsi come argini sia i rilevati (generalmente in terra) posti a ridosso o ad una certa distanza dal corso d'acqua che quelle opere di difesa di sponda (ad esempio muri di sponda) che presentano un sovrizzo rispetto al piano di campagna retrostante (in tali casi la stessa opera è stata considerata sia in questo indicatore che nel precedente), o anche infrastrutture (strade) con funzione di argini. Tale indicatore non è stato adottato per i corsi d'acqua confinati, anche se ciò non ha escluso la presenza di argini a ridosso dell'alveo per i corsi d'acqua confinati che abbiano un indice di confinamento superiore ad 1. La presenza di arginature è stata valutata discretamente solo nei tratti **60135** e **60136**.

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

- **A8: Variazioni artificiali di tracciato.** Con questo indicatore si è inteso prendere in considerazione se esistessero e fossero note variazioni planimetriche artificiali di una certa importanza del corso d'acqua (tagli di meandro, modifiche del tracciato, spostamento della foce, ecc.) avvenute di recente o anche in epoche storiche, quindi ad una scala temporale più ampia di quella utilizzata per l'analisi delle variazioni. In tutti i tratti considerati è stata constatata l'assenza di alterazioni artificiali in passato.
- **A9: Altre opere di consolidamento (soglie, rampe) e/o di alterazione del substrato (rivestimenti del fondo).** Sono state incluse in questo indicatore le altre opere di consolidamento (oltre le briglie, analizzate nell'indicatore **A4**) che non sporgessero sensibilmente dal fondo dell'alveo, ma che fissassero localmente il profilo del fondo, senza tuttavia avere di norma effetti significativi sul trasporto solido. Tali opere includono le soglie e le rampe, costruite per impedire l'incisione del fondo, spesso in corrispondenza di attraversamenti viari (ponti). Anche per queste opere (analogamente alle briglie di consolidamento) si adopera la densità lineare (numero per km di tratto) per l'attribuzione alle diverse classi. Lo stesso indicatore analizza la presenza e rilevanza di interventi di rivestimento del fondo impermeabili (calcestruzzo, pietrame e massi cementati) e permeabili (massi ciclopici a secco o

legati con funi), generalmente chiamati cunettoni. I tratti, tranne che per il **40503** e il **60135**, hanno presentato condizioni ottimali in questo indicatore.

#### **INTERVENTI DI MANUTENZIONE E PRELIEVO**

- **A10: Rimozione di sedimenti.** La valutazione di questo indice può essere fatta solo se si è a conoscenza di attività di estrazione o se si hanno evidenze di tali attività nella morfologia fluviale. Come è noto, tale attività ha diversi impatti negativi, sia nei riguardi dei processi e dell'evoluzione morfologica (generando incisione) che nei confronti degli ecosistemi. Generalmente il livello di punteggio è stato riscontrato buono oppure ottimo in tutti i tratti analizzati, in quanto non si hanno nozioni o evidenze certe di attività di rimozione di sedimenti.
- **A11: Rimozione del materiale legnoso.** La rimozione del materiale legnoso in alveo viene periodicamente eseguita da vari enti pubblici (Servizi forestali, Comunità Montane, Consorzi di Bonifica, Genio Civile), di solito in concomitanza con il taglio della vegetazione riparia (vedi sotto) e/o la rimozione di sedimenti. Inoltre, spesso viene anche concesso ai privati di prelevare il materiale legnoso per essere utilizzato come legna da ardere. Tipicamente, solo il materiale legnoso avente le dimensioni maggiori viene asportato, mentre quello fine (piccoli tronchi, rami e ramaglia) viene lasciato in alveo. La rimozione di tale materiale, condotta da molti secoli nella maggior parte dei corsi d'acqua italiani, viene giustificata per esigenze di sicurezza idraulica, in quanto esso può dar luogo all'ostruzione di luci di ponti in occasione di eventi di piena. Tuttavia, la sottrazione del legname di grandi dimensioni all'ambiente fluviale comporta un forte impatto sul sistema fluviale: riduzione della sostanza organica disponibile come fonte energetica per la catena alimentare, riduzione della complessità idrodinamica e quindi morfologica e sedimentaria dell'alveo e della piana inondabile, scomparsa di habitat per specie di invertebrati e pesci. In questo caso è stata evidenziata una parziale rimozione di materiale legnoso in quasi tutti i tratti analizzati, tranne che per il tratto **40504**, dove è stata verificata l'assenza di rimozioni.
- **A12: Taglio della vegetazione in fascia perifluviale.** Come detto precedentemente, la vegetazione arborea presente nella fascia perifluviale (sponde, piana inondabile e terrazzi recenti) ed all'interno dell'alveo (isole fluviali mature e pioniere) esplica numerose funzioni a livello morfologico. In particolare, essa rappresenta la principale

sorgente di materiale legnoso per il sistema fluviale, e quindi ne garantisce in naturale “rifornimento” grazie a fenomeni di mortalità naturale, erosione di sponda, e schianti episodici da vento e neve. Al fine di ridurre tali impatti, invece di eseguire tagli a raso lungo le sponde, frequenti nel passato, gli Enti preposti si sono orientati verso trattamenti selettivi, dove solo parte del popolamento (solamente le piante più vecchie) viene tagliato durante lo stesso intervento in modo da evitare una “denudazione” totale del suolo. Tale seconda tipologia di taglio, anche se ancora con effetti negativi, è sicuramente da preferire rispetto al taglio raso esteso su grandi superfici. Inoltre, eventuali tagli (anche a raso) non direttamente sulle sponde comportano un danno minore rispetto ad interventi eseguiti a diretto contatto con l’alveo. Nei tratti analizzati, si è riscontrato un buon livello di punteggi su questo indicatore.

Lo STEP 2: ARTIFICIALITÀ è di gran lunga il più influente nella valutazione finale dell’IQM per ogni tratto. Per chi vorrà considerare in un prossimo futuro la possibile riqualificazione dell’area esaminata il passaggio fondamentale sarà certamente la riduzione o l’eliminazione di alcune opere di sistemazione, certamente obsolete, che hanno esaurito quasi completamente la loro funzione. Nella Figura 9.2 è rappresentato un istogramma delle risposte, che consente di visualizzare al meglio le valutazioni generali per quanto riguarda l’**artificialità**.

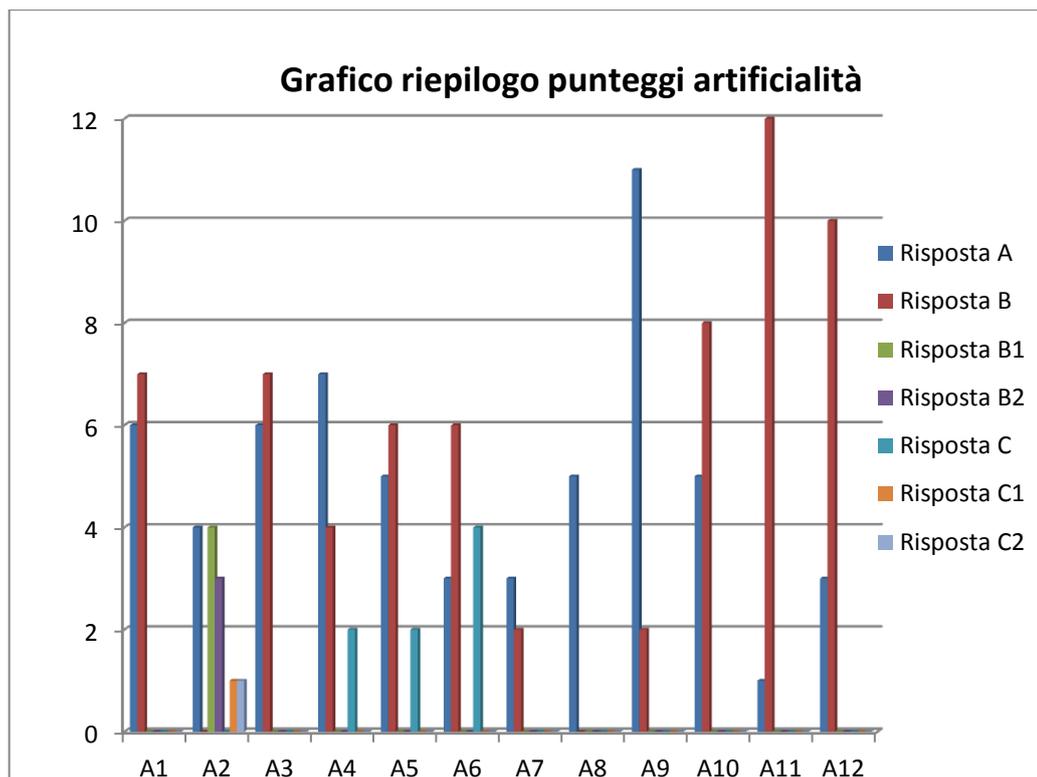


Figura 9.2: istogramma delle risposte inerenti allo STEP 2: ARTIFICIALITÀ.

Tabella 9.3: panoramica dei punteggi dei tratti analizzati, inerenti allo STEP 3: VARIAZIONI MORFOLOGICHE.

	VARIAZIONI MORFOLOGICHE		
	V1	V2	V3
40501	A	A	*
40503	A	A	*
40504	A	A	*
40505	A	A	*
50501	A	A	*
50502	A	A	*
50503	A	A	*
50504	A	A	*
60133	A	A	*
60134	A	A	*
60135	A	A	*
60136	A	A	*
60137	A	A	*

Nella *Tabella 9.3* viene elencata una panoramica dei punteggi conseguiti per quanto riguarda lo STEP 3: VARIAZIONI MORFOLOGICHE. In maniera generale, segue una breve spiegazione dei quesiti presenti nelle schede di valutazione:

- **V1: Variazioni della configurazione morfologica.** Viene valutata l'esistenza e l'intensità di un'eventuale variazione della configurazione morfologica dell'alveo, ovvero il passaggio da una tipologia morfologica ad un'altra. Nei casi in cui si sia verificato tale passaggio, esso è considerato un sintomo di un'alterazione delle condizioni che determinano la morfologia dell'alveo (in particolar modo delle variabili guida, portate liquide e solide) e pertanto dei processi geomorfologici. Inoltre, una tale variazione induce in genere significative trasformazioni degli habitat e degli ecosistemi associati alle diverse morfologie d'alveo. Vanno inclusi i casi in cui il passaggio da una morfologia ad un'altra è determinato direttamente da interventi artificiali. Vanno esclusi invece quei casi in cui la variazione morfologica è attribuibile con certezza ad una causa naturale (ad es., una frana di sbarramento che trasforma la morfologia dell'alveo). I punteggi conseguiti rivelano che non c'è stato alcun tipo di variazione morfologica negli ultimi 50 anni.
- **V2: Variazioni di larghezza.** Vengono valutate le variazioni della larghezza dell'alveo rispetto alla situazione degli anni '50. I corsi d'acqua possono infatti subire notevoli variazioni di larghezza, pur mantenendo la configurazione morfologica complessiva, a seguito non solo di impatti diretti (ad esempio restringimenti artificiali, pennelli, ecc.) ma soprattutto a causa di variazioni delle variabili guida che controllano la morfologia dell'alveo (ad esempio per riduzioni delle portate liquide formative e/o delle portate solide). Tali aggiustamenti di larghezza sono molto comuni in numerosi corsi d'acqua italiani. L'esistenza di variazioni significative di larghezza in un intervallo temporale di circa 50 anni è in genere sintomo di instabilità morfologica. Analogamente alle variazioni di configurazione morfologica, le modifiche di larghezza possono produrre significative trasformazioni degli habitat e degli ecosistemi. Vanno inclusi i casi in cui la variazione di larghezza è determinata direttamente da interventi artificiali (ad es., un alveo a canali intrecciati che, a seguito di canalizzazione, viene ristretto). Vanno esclusi invece quei casi in cui la variazione morfologica è attribuibile con certezza ad una causa naturale (ad es., una frana di sbarramento che causa una modificazione di larghezza dell'alveo). Come nel caso precedente, in tutti i tratti non si è verificata alcuna variazione di larghezza negli ultimi 50 anni.
- **V3: Variazioni altimetriche.** Un alveo fluviale a fondo mobile può essere soggetto a modificazioni delle quote del fondo e del profilo altimetrico a seguito di alterazioni

nei regimi delle portate liquide e/o solide. Analogamente alle variazioni di configurazione morfologica e di larghezza, le variazioni altimetriche verificatesi in un intervallo di tempo relativamente breve come quello preso in considerazione sono sintomo di alterazioni dovute ad impatti antropici (ad esempio variazioni di uso del suolo a scala di bacino, riduzione degli apporti solidi da parte degli affluenti, dighe, escavazione di sedimenti, ecc.) e di una possibile instabilità altimetrica ancora in atto. Con questo indicatore si vuole valutare quindi l'esistenza di variazioni altimetriche, ovvero incisione o aggradazione (sedimentazione), e la loro entità. I fenomeni di abbassamento della quota dell'alveo (incisione) sono comuni alla maggior parte dei corsi d'acqua italiani a fondo mobile. Analogamente, l'innalzamento della quota del fondo (aggradazione) è considerato anch'esso un'alterazione rispetto alle condizioni di equilibrio dinamico. Le ripercussioni di un'incisione del fondo sono molteplici, sia in termini di instabilità morfologica che di perdita di alcune funzionalità (ad esempio inondazione della pianura circostante, ricarica delle falde, ecc.) e perdita della diversificazione morfologica in alveo per deficit di sedimenti, con evidenti effetti negativi sugli ecosistemi. Analogamente, l'aggradazione produce vari tipi di alterazioni alle funzionalità geomorfologiche ed agli ecosistemi. I dati raccolti per questo indicatore si sono rivelati insufficienti per poter fornire delle risposte precise su questo tratto, pertanto non è stato valutato.

## 11.2 Pro e contro di questo metodo.

Come per qualsiasi strumento di valutazione, per il metodo IQM può essere identificata una serie di limitazioni o di debolezze. Rinaldi et al. (2013) hanno specificato che “diversi indicatori possono apparire come estremamente semplificati, e la loro valutazione si basa su una serie di informazioni limitate. Questo è dovuto alle seguenti motivazioni:

- Chi sono gli utilizzatori finali del metodo, cioè gli enti pubblici, il che ha quindi richiesto per il calcolo dell'IQM un compromesso tra rigore scientifico ed applicazione pratica;
- la necessità di essere applicato ad un gran numero di tratti in un tempo relativamente breve, poiché l'indice non può essere applicato per un periodo troppo lungo;
- l'obiettivo del metodo è di valutare la qualità geomorfologica, e quindi non di ottenere una quantificazione di processi o una profonda comprensione delle future dinamiche di evoluzione del torrente. Una valutazione geomorfologica dei processi in maniera rigorosa implicherebbe misure in periodi diversi rispetto a tale processo, e l'uso di modelli quantitativi o di analisi (ad esempio, per valutare le alterazioni nel trasporto di sedimenti), i quali non sono possibili per le ragioni elencate precedentemente”.

Riprendendo queste motivazioni, per quanto riguarda il primo punto l'obiezione personale riguarda in effetti a che titolo gli Enti Pubblici utilizzeranno l'IQM e la relativa classe di qualità: si risponde effettivamente a due Direttive europee con un numero ed una classe di qualità, ma questo è da reputare insufficiente sia per partire con un'idea vera e propria di riqualificazione, ma anche solo per lanciare un vero e proprio campanello d'allarme sulle condizioni attuali di un tratto di corso d'acqua. Diverso è il caso nei tratti considerati eccellenti: l'IQM in questo caso potrebbe intervenire in maniera più energica, magari nelle decisioni su costruzioni di opere adiacenti al tratto, effettuando una revisione dei progetti oppure addirittura bloccando la costruzione dell'opera stessa.

Il secondo punto tratta il tema del tempo: qui in effetti c'è da chiedersi se il tempo che passa dalla suddivisione in tratti alla valutazione dello stato attuale non sia troppo lungo. In particolare alcuni quesiti rispondono solo in parte attraverso le immagini telerilevate, ed è

indispensabile una valutazione sul terreno non solo per confermare le valutazioni, ma anche per poterle semplicemente completare: ad esempio, il Catasto Opere può indicare un certo numero di briglie all'interno del tratto esaminato, ma non indica quante volte si è intervenuti nell'opera per rimuovere il sedimento è stato raccolto nei vari anni, il che può far migliorare o peggiorare la valutazione. Inoltre è capitato alcune volte che il Catasto Opere non sia stato periodicamente aggiornato a dovere: il casi dei tratti **40504**, **60135**, **60136** e **60137** (quattro tratti su tredici) ne indicano alcune dimenticanze.

Il terzo punto invece riprende gli obiettivi del metodo: non c'è ombra di dubbio che le schede di valutazione rispondano a buona parte delle analisi da effettuare per la valutazione della qualità. Quello che manca è di sicuro un effettiva formazione ed aggiornamento dei professionisti nel campo geomorfologico ed ambientale: ad esempio, c'è l'opinione ormai scontata che la presenza di vegetazione a ridosso dei corsi d'acqua sia un bene per la qualità ambientale ed ecologica, non tutte le idee convergono però sui benefici che avvengono grazie al legname in alveo, considerato tuttora pericoloso in termini di sicurezza per la popolazione.

Rispetto alla quantità di indicatori, Rinaldi et al. (2013) suggeriscono che "il loro numero relativamente alto è legato alla necessità di una valutazione globale e significativa delle condizioni morfologiche, che non possono essere eseguite utilizzandone un numero minore. Sono possibili alcune licenze tra indicatori di funzionalità e di artificialità, che sono giustificate dal vantaggio che i due componenti sono concettualmente separati, facilitando l'identificazione delle cause di alterazione e incoraggiando l'interpretazione dei loro effetti sui processi fluviali". Rafforzando la verità di questa affermazione, in alcuni tratti analizzati si sarebbe potuto indicare la classe di qualità morfologica anche ad un primo impatto, se ci si fosse imbattuti in tratti di tipo ELEVATO o PESSIMO, ma anche per altri tratti di qualità intermedia sarebbe stato possibile identificarne la classe, il che dimostra l'efficacia degli indicatori di valutazione nel complesso. Più difficile è stabilire invece in quali punti ed in che modo intervenire per poter migliorare la situazione morfologica del corso d'acqua: l'IQM valuta esclusivamente le condizioni geomorfologiche attuali, e da solo non è in grado di stabilire se e come intervenire su tratti compromessi; tuttavia, è già da solo un modello di partenza per indicare le condizioni morfologiche da conservare, sia nei tratti con alti livelli di qualità che nei tratti di qualità più scadente.

## 12 . CONCLUSIONI

L'IQM è stato ideato e progettato per definire le condizioni morfologiche attuali di un corso d'acqua rispetto ad un determinato stato di riferimento, indicato approssimativamente con quelle condizioni che esisterebbero nel bacino in assenza di influenze antropiche in alveo, nelle zone riparie e nelle pianure adiacenti.

In questo elaborato di tesi l'obiettivo principale è stato l'applicazione dell'IQM su cinque tratti del T. Cordevole e otto tratti del T. Fiorentina, che ne è tributario in sinistra all'altezza dell'abitato di Caprile (BI). Questi tratti sono stati identificati nella prima fase della tesi che ha previsto l'inquadramento generale su supporto geografico informatizzato, il calcolo dei vari parametri previsti nella metodologia di applicazione dell'IQM e la suddivisione finale in tratti. Per questa prima fase e anche per l'implementazione di alcuni sub-indici si è reso indispensabile il reperimento di diversi dati cartografici ed in particolare: il modello digitale del terreno, le ortofoto digitali, la carta geologica, ed il catasto delle opere di sistemazione idraulico forestale.

Nella fase di campagna, sono stati ripercorsi per intero i tratti evidenziati a tavolino e sono state impiegate le apposite schede di rilevamento.

Dall'analisi dei risultati emerge che in linea generale i tratti analizzati hanno una discreta qualità morfologica anche se vi sono dei casi particolari. Riassumendo risultano 2 tratti con qualità ELEVATA, 2 di qualità BUONA, 8 di qualità MODERATA e un solo tratto di qualità SCADENTE.

Confrontando questi risultati con altre applicazioni dell'IQM, prevalentemente implementati su fiumi pedemontani o di pianura le differenze tra i risultati e le classi di valutazione in tratti contigui indica come essi possano essere morfologicamente diversi, specialmente grazie al numero ed alla tipologia di opere di sistemazione idraulico-forestale edificate in tempi recenti e passati, che indicano quanto il rischio idraulico di questo territorio possa essere alto.

Le possibilità di riqualificazione possono essere molteplici: i punteggi conseguiti indicano dove è necessario intervenire in misura energica per ristabilire una migliore funzionalità morfologica ed evitare opere artificiali ormai ad esaurimento di funzioni che in un passato non più recente furono un intervento drastico atto a diminuire un rischio idraulico che ancora si sente vivo e pressante. Purtroppo l'IQM da solo non indica la via migliore di

intervento, più semplicisticamente può indicare le vie da evitare per avere delle condizioni migliori. Se da un lato l'alluvione del 1966 ha segnato per sempre la pericolosità di questi luoghi, e giustamente gli Enti e le Istituzioni sono intervenuti per proteggere i propri cittadini, non si è più intervenuti successivamente per dare un freno ad un'urbanizzazione probabilmente non selvaggia, ma di sicuro intensa, che queste valli hanno subito negli ultimi decenni. Inoltre ci sono stati passi da gigante negli interventi di ingegneria naturalistica, ed una forte evoluzione nelle tecniche delle sistemazioni idraulico-forestali, che quest'area ancora non ha potuto apprezzare. Le briglie chiuse, spesso molto grandi e vicine, in calcestruzzo, hanno delineato un impatto ambientale troppo forte per essere ancora accettato, ed il fatto che contengano detriti fino alle gavete indica che la sicurezza e la protezione fornita per qualche decennio è in esaurimento.

Se si intende parlare di riqualificazione, innanzitutto si deve parlare anche di manutenzione. Prevedendo in un prossimo futuro un monitoraggio morfologico, deve essere possibile anche e soprattutto poter usufruire di dati riguardanti l'efficacia che avrebbero queste opere in eventi di piena se esse fossero ripulite, almeno parzialmente, di buona parte dei detriti accumulati in decenni di abbandono, ed eventualmente deciderne la rimozione ove il tratto abbia un livello di sicurezza tale per cui l'opera sarebbe solamente dannosa per l'ecosistema fluviale.

Come visto nelle discussioni, l'indice IQM fornisce dati utili a poter formulare risposte d'intervento, ma da solo esso rappresenta delle informazioni insufficienti per adottare provvedimenti di riqualificazione. L'IDRAIM fornirà, quando l'intero bacino del Cordevole sarà stato valutato, delle risposte adeguate nel merito di queste decisioni.

### 13. BIBLIOGRAFIA

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008. *Il recupero morfologico ed ambientale del Fiume Po. Il contributo del programma generale di gestione dei sedimenti del Fiume Po*. Edizioni Diabasis, 50 pp.

BARBIERATO C., 2004. *Il paesaggio dell'alta Val Cordevole fra abbandono e recente sviluppo turistico*. Tesi di laurea in Geografia. Università degli Studi di Padova. BENINI G., 1990. *Sistemazioni idraulico-forestali*. UTET, Torino.

BRIERLEY G.J. e FRYIRS K.A., 2005. *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, 398 pp.

CAMPANA R., MANTOVANI M., PASUTTO A., TAGLIAVINI F. e TOFFOLETTO F., 2007. *La pericolosità geologica per instabilità dei versanti nell'Alta Val Cordevole*. Progetto CARG Veneto.

CENCETTI C., DE ROSA P. e FREDDUZZI A., 2010. *L'Indice di Qualità Morfologica (IQM) dei corsi d'acqua: applicazione del metodo di valutazione al F. Chiani (Italia centrale)*. Dipartimento di Ingegneria Civile ed ambientale. Università di Perugia. 553–559.

CHURCH M.A., 1992. *Channel Morphology and Typology*. In: P.Callow and Petts, G.E. (Eds), *The Rivers Handbook*, Oxford, Blackwell, 126–143.

DELL'ANDREA L., 1993. *Selva di Cadore come era. Selva da nosacàn*. Union ladign de selva, Selva di Cadore, Belluno. 280 pp.

GAZZETTA UFFICIALE DELLE COMUNITA' EUROPEE: *Normativa 2000/60 CE del 22/12/2000* pp 5,6-327.

GOLFIERI B., SURIAN N., HARDERSEN S. e MAIOLINI B., 2011. *Assessment of morphological and ecological conditions of Italian alpine rivers using the Morphological Quality Index (IQM) and Odonata*. In atti: Geoitalia 2011, VII Forum italiano di Scienze della Terra. B3 – Habitat. 1-3

KONDOLF G.M., 1994. *Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining*. Landscape and Urban Planning, 28, 225-243.

LENZI M.A., 2007. Corso di Tutela del paesaggio agricolo e forestale e riassetto idraulico del territorio. *Appunti delle lezioni*. Corso di Laurea Triennale in Tutela e Riassetto del Territorio, Università degli Studi di Padova.

LENZI M.A., D'AGOSTINO V. & SONDA D., 2000. *Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti. Criteri metodologici ed esecutivi*. Editoriale Bios, 208 pp.

MONTGOMERY D.R. e BUFFINGTON J.M., 1997. *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*. Geological Society of America Bulletin, 109 (5), 596-611.

RIGON E., 2007. *Il legname in alveo nei torrenti alpini: analisi quantitativa e modellazione GIS*. Tesi di dottorato di ricerca in territorio, ambiente, risorse e salute. Dipartimento: Territorio e Sistemi Agro – Forestali. Università degli studi di Padova.

RINALDI M., SURIAN N., COMITI F. e BUSSETTINI M., 2013. *A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI)*. Geomorphology 180-181: 96-108.

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 Ricerca Ambientale, Roma.

ROSGEN, D.L., 1994. *A classification of natural rivers*. Catena, Vol. 22, 169-199. Elsevier Science, B.V., Amsterdam.

SHIELDS F.D. JR., COPELAND R.R., KLINGEMAN P.C., DOYLE M.W. e SIMON A., 2003. *Design for stream restoration*. Journal of Hydraulic Engineering, 575-584.

SCHUMM S.A., 1977. *The Fluvial System*. Wiley, New York, 338 pp.

SEAR D.A., NEWSON M.D. e BROOKES A., 1995. *Sediment-related river maintenance: the role of fluvial geomorphology*. Earth Surface Processes and Landforms, 20, 629-647.

SOCOL E.U. e TESSAROLLO A., 2003. *Il rischio idraulico nell'abitato di Caprile*. Tesi del master in difesa del suolo e protezione civile. Università degli Studi di Padova.

SURIAN N. e RINALDI M., 2003. *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy*. Geomorphology, 50 (4), 307-326.

VANGELISTA M., 2011. *Applicazione dell'indice di qualità morfologica a due tratti del fiume Adige*. Relatore Surian N., Dipartimento di Geoscienze, Facoltà di Scienze MM. FF. NN. Università degli Studi di Padova.

ZORZI A., 2013. *Valutazione Idromorfologica (IDRAIM) e applicazione dell'indice di qualità morfologica (IQM) con tecniche di analisi GIS avanzate nel torrente Cordevole*. Relatore Lenzi M.A. Correlatore Rigon E. Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

## **Link consultati**

**REGIONE VENETO**

[www.regioneveneto.it](http://www.regioneveneto.it)

**ISPRA - ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE**

[www.isprambiente.it](http://www.isprambiente.it)

**ARPAV - AGENZIA REGIONALE PER LA PREVENZIONE E PROTEZIONE AMBIENTALE DEL VENETO**

[www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)

**PROVINCIA DI BELLUNO**

[www.provincia.belluno.it](http://www.provincia.belluno.it)

**PARCO DELLE DOLOMITI BELLUNESI**

[www.dolomitipark.it](http://www.dolomitipark.it)

**POLITECNICO DI BARI**

<http://www.rilievo.poliba.it/selva.html>

## *Ringraziamenti*

*In questa lunga ma fantastica esperienza ci sono state molte persone che meritano tutta la mia stima per aver condiviso le mie gioie e per essermi state vicino nei momenti di difficoltà.*

*Ringrazio mia madre e mio padre e mia sorella Lisa per avermi convinto a non arrendermi.*

*Ringrazio Ceppo, Ferro, Ennio, Delpa, Rizzo, Dario, Moreno, Umbe, Hermann e Cesco per il supporto tecnico e morale: questa laurea non ci sarebbe stata senza di voi.*

*Matteo Loreggian*