



## Attività A.1

### Approfondimenti naturalistici e idraulico-geomorfologici

# ANALISI MORFOLOGICA

Ing. Marco Monaci

Ing. Giuliano Trentini

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA DI ANALISI</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Utilizzo qualitativo dell'indice IQM</b>	<b>5</b>
2.1.1	Inquadramento e suddivisione del corso d'acqua in tratti	7
2.1.1.1	Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche (STEP 1)	7
2.1.1.2	Definizione del grado di confinamento (STEP 2)	8
2.1.1.3	Definizione della morfologia dell'alveo (STEP 3)	9
2.1.1.4	Suddivisione finale in tratti (STEP 4)	10
2.1.2	Valutazione dello stato attuale del corso d'acqua	11
2.1.2.1	Metodologia	11
2.1.2.2	Indicatori di funzionalità	16
2.1.2.3	Indicatori di artificialità	21
2.1.2.4	Indicatori di variazioni morfologiche	26
<b>2.2</b>	<b>Variazioni morfologiche e tendenze evolutive attuali</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>APPLICAZIONE</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Rio Enzola</b>	<b>30</b>
3.1.1	Inquadramento generale del bacino	30
3.1.2	Utilizzo qualitativo dell'indice IQM sul Rio Enzola	37
3.1.2.1	Inquadramento e suddivisione del corso d'acqua in tratti	37
3.1.2.2	Valutazione dello stato attuale del corso d'acqua	42
3.1.2.3	Sintesi dei risultati dell'analisi morfologica del Rio Enzola	72
3.1.3	Variazioni morfologiche e tendenze evolutive attuali del Rio Enzola	76
3.1.3.1	Tratto 1 del Rio Enzola	76
3.1.3.2	Tratto 2 del Rio Enzola	81
3.1.3.3	Tratto 3 del Rio Enzola	86
3.1.4	Indicazioni per la progettazione e la manutenzione degli interventi sul Rio Enzola	91
3.1.4.1	Tratto 1 del Rio Enzola	91
3.1.4.2	Tratto 2 del Rio Enzola	91
3.1.4.3	Tratto 3 del Rio Enzola	92
<b>3.2</b>	<b>Rio Bianello</b>	<b>93</b>
3.2.1	Inquadramento generale del bacino	93
3.2.2	Utilizzo qualitativo dell'indice IQM sul Rio Bianello	99
3.2.2.1	Inquadramento e suddivisione del corso d'acqua in tratti	99
3.2.2.2	Valutazione dello stato attuale del corso d'acqua del Rio Bianello	103
3.2.2.3	Sintesi dei risultati dell'analisi morfologica del Rio Bianello	125
3.2.3	Variazioni morfologiche e tendenze evolutive attuali del Rio Bianello	128



3.2.3.1	Tratto 1 del Rio Bianello	128
3.2.3.2	Tratto 2 del Rio Bianello	133
3.2.3.3	Tratto 3 del Rio Bianello	138
3.2.4	Indicazioni per la progettazione e la manutenzione degli interventi del Rio Bianello	139
3.2.4.1	Tratto 1 del Rio Bianello	139
3.2.4.2	Tratto 2 del Rio Bianello	139
3.2.4.3	Tratto 3 del Rio Bianello	140
<b>3.3</b>	<b>Rio Lavezza</b>	<b>141</b>
3.3.1	Inquadramento generale del bacino	141
3.3.2	Utilizzo qualitativo dell'indice IQM sul Rio Lavezza	147
3.3.2.1	Inquadramento e suddivisione del corso d'acqua in tratti	147
3.3.2.2	Valutazione dello stato attuale del corso d'acqua del Rio Lavezza	151
3.3.2.3	Sintesi dei risultati dell'analisi morfologica del Rio Lavezza	171
3.3.3	Variazioni morfologiche e tendenze evolutive attuali del Rio Lavezza	174
3.3.3.1	Tratto 1 del Rio Lavezza	174
3.3.3.2	Tratto 2 del Rio Lavezza	179
3.3.4	Indicazioni per la progettazione e la manutenzione degli interventi nel Rio Lavezza	184
3.3.4.1	Tratto 1 del Rio Lavezza	184
3.3.4.2	Tratto 2 del Rio Lavezza	184
<b>3.4</b>	<b>Rio Arianna</b>	<b>186</b>
3.4.1	Premessa metodologica	186
3.4.2	Inquadramento generale del bacino	187
3.4.3	Valutazione speditiva della qualità morfologica del Rio Arianna	194
3.4.4	Indicazioni per la progettazione e la manutenzione degli interventi nel Rio Arianna	196
<b>3.5</b>	<b>Rio Bertolini</b>	<b>197</b>
3.5.1	Premessa metodologica	197
3.5.2	Inquadramento generale del bacino	198
3.5.3	Valutazione speditiva della qualità morfologica del Rio Bertolini	204
3.5.4	Indicazioni per la progettazione e la manutenzione degli interventi nel Rio Bertolini	205
<b>3.6</b>	<b>Rio Bottazzo</b>	<b>206</b>
3.6.1	Premessa metodologica	206
3.6.2	Inquadramento generale del bacino	207
3.6.3	Valutazione speditiva della qualità morfologica del Rio Bottazzo	213
3.6.4	Indicazioni per la progettazione e la manutenzione degli interventi nel Rio Bottazzo	214

## 1 Premessa

Al fine di supportare la progettazione degli interventi su rii in studio, il LIFE RII prevede la realizzazione di azioni preparatorie (Attività A.1) volte a colmare le lacune informative esistenti dal punto di vista ambientale, geomorfologico e idraulico; tra queste riveste importanza fondamentale la caratterizzazione delle caratteristiche geomorfologiche dei rii, funzionale a definire lo stato attuale, il trend evolutivo e i possibili effetti generati dagli interventi di riqualificazione dei rii.

La metodologia di analisi ipotizzata nella domanda di cofinanziamento del LIFE RII prevedeva l'uso di modelli interpretativi morfologici basati sull'utilizzo di informazioni oggettive e di interpretazioni fondate sull'esperienza, per ottenere indicazioni che richiederebbero l'utilizzo di modelli matematici troppo onerosi in termini di dati di input, tempi di elaborazione e costi per le finalità del progetto.

Secondo questa indicazione generale, **l'analisi geomorfologica dei corsi d'acqua considerati nel LIFE RII è stata eseguita utilizzando lo schema concettuale dell'Indice di Qualità Morfologica (IQM)**, messo a punto nell'ambito del recepimento della Direttiva Acque 2000/60/CE per caratterizzare lo stato morfologico dei corsi d'acqua (ISPRA, 2011. IDRAIM – Sistema di valutazione IDR morfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua - Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua).

Nonostante l'utilizzo dell'IQM in corsi d'acqua di piccole dimensioni come quelli del LIFE RII sia considerata ai limiti dell'applicabilità dalla stessa metodologia, si è ritenuto comunque utile l'uso di questo strumento ai fini di una descrizione generale delle principali caratteristiche geomorfologiche dei rii.

**I diversi indicatori che compongono l'IQM sono stati quindi utilizzati nell'applicazione in esame come guida per una descrizione testuale dei rii in studio**, senza procedere all'attribuzione dei punteggi ad ogni indicatore mediante l'uso di calcoli ed elaborazioni in ambiente GIS.

**Al solo scopo di sintetizzare la descrizione qualitativa dei rii, i suddetti punteggi sono stati però assegnati in via preliminare tramite giudizio esperto**, basando le scelte sulla conoscenza diretta del territorio analizzato; è così stata tradotta in un numero la descrizione dei parametri analizzati, giungendo a calcolare in via preliminare l'indice IQM per i tratti analizzati.

Tale applicazione dell'IQM, sebbene potenzialmente soggetta a maggiori errori rispetto ad una basata su elaborazioni GIS, nel caso in esame si ritiene che possa fornire risultati sufficientemente affidabili per gli scopi, principalmente progettuali, del progetto LIFE RII, in virtù della limitata estensione dei singoli tratti in studio e degli stessi rii ed anche in considerazione della relativa semplicità della situazione esistente.

Oltre all'utilizzo dell'IQM l'analisi geomorfologica ha previsto inoltre la valutazione delle variazioni morfologiche e delle tendenze evolutive dei rii in studio e l'individuazione delle potenzialità dei rii per la loro  
riqualificazione  
morfologica.

## 2 Metodologia di analisi

### 2.1 Utilizzo qualitativo dell'indice IQM

L'analisi morfologica realizzata sulla base della metodologia di calcolo dell'indice IQM comprende le seguenti fasi (per una descrizione di maggior dettaglio si rimanda al *"Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua"*. ISPRA, 2011):

- **(1) 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.
- **(2) Valutazione dello stato attuale morfologico:** ogni tratto dei corsi d'acqua in esame viene valutato sulla base delle sue condizioni attuali (funzionalità, artificialità) e delle sue variazioni recenti.
- **(3) 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 peggioramento.

**Nell'applicazione in esame si sviluppano le sole prime due fasi, mentre la terza sarà realizzata durante lo svolgimento del LIFE RII solo su singoli siti di intervento.**

La fase di **inquadramento e suddivisione in tratti** (punto 1) è suddivisa in vari step, uno conseguente all'altro:

- **Step 1 - Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche:** ha lo scopo 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)
- **Step 2 - Definizione del grado di confinamento:** attraverso questo step vengono caratterizzate in dettaglio le condizioni di confinamento, procedendo ad una (eventuale) preliminare suddivisione dei segmenti in tratti.
- **Step 3 - Definizione della morfologia dl'alveo:** con questo step i segmenti vengono suddivisi in base alla morfologia dell'alveo.
- **Step 4 – Suddivisione finale in tratti:** attraverso questo step viene ultimata la definizione di tratti omogenei dal punto di vista morfologico, tenendo conto di informazioni quali discontinuità idrologiche (affluenti, dighe), artificializzazione, dimensioni della pianura, larghezza

dell'alveo, profilo longitudinale. Il tratto corrisponde alla suddivisione di base a cui si applica la vera e propria valutazione della qualità morfologica (attività di analisi seguente): dal punto di vista metodologico il tratto rappresenta l'unità elementare di misure da telerilevamento ed analisi GIS.

La fase di **valutazione dello stato attuale morfologico** (punto 2) avviene sulla base di tre componenti:

- **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).
- **Elementi artificiali:** si valutano la presenza, frequenza e continuità delle opere o interventi antropici che possano avere effetti sui vari aspetti morfologici considerati. Alcuni elementi artificiali hanno effetti molteplici su diversi aspetti: essi verranno ovviamente rilevati una sola volta ma verranno valutati per ogni singolo aspetto.
- **Variazioni morfologiche:** questa analisi riguarda soprattutto gli alvei non confinati e parzialmente confinati e solo alcuni aspetti (principalmente le variazioni di configurazione morfologica plano-altimetrica). Vengono valutate le variazioni morfologiche rispetto 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.

## 2.1.1 Inquadramento e suddivisione del corso d'acqua in tratti

### 2.1.1.1 Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche (STEP 1)

Le principali unità fisiografiche a cui fa riferimento la metodologia sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 1 - Unità fisiografiche considerate nell'applicazione dell'indice IQM

<i>Settore Appenninico ed Isole</i>	
(5) Aree montuose appenniniche (Appennino interno)	Aree a quote elevate. Si ritrovano molte tipologie di valli ma, generalmente, soprattutto nelle aree di affioramento dei litotipi più competenti, le valli sono strette e gli alvei in genere confinati.
(6) Aree collinari appenniniche	Aree a quote inferiori, frequentemente a dolce morfologia per la presenza di serie flyshoidi relativamente erodibili. Le valli sono piuttosto ampie e gli alvei meno confinati. Comprende i grandi pianalti terrazzati profondamente incisi dai corsi d'acqua nei depositi alluvionali antichi e nelle serie sedimentarie marine recenti.
(7) Pianure intermontane appenniniche	Pianure (conche) intermontane di origine tettonica, frequenti sul versante appenninico tirrenico.
(8) Rilievi interni	Rilievi interni del versante tirrenico collinari o montuosi (compresa fascia di vulcanismo vulsino-campano) e rilievi della Sardegna.
(9) Alta pianura (o pianura prossimale)	Pianura con maggiore pendenza, generalmente a partire dagli apici dei conoidi fino alla loro base.
(10) Bassa pianura (o pianura distale)	Pianura a minore pendenza. Comprende la pianura costiera.

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.

La metodologia di analisi messa a punto da ARPA Emilia-Romagna per il calcolo dell'IQM prevede in realtà di attribuire direttamente i segmenti fisiografici di seguito elencati:

**1 - segmento montano** – dalla sorgente verso valle entro l’ambito montano fino a che l’alveo risulta stretto, nonché confinato o prevalentemente confinato e quasi sempre con pendenze longitudinali superiori al 2.5 % in Emilia e all’1.5 % in Romagna;

**1.1 - segmento collinare confinato** – porzione con partenza dalla sorgente oppure tratto intermedio comunque appartenente al territorio collinare, di tipo confinato o prevalentemente confinato e quasi sempre con pendenze longitudinali superiori al 2.5 % in Emilia e all’1.5 % in Romagna;

**2. - segmento collinare non confinato** – interessa alvei semiconfinati o non confinati o prevalentemente tali, fino all’intorno dell’apice di conoide, in particolare al confine dell’ HER “Appennino Settentrionale” (definita nelle attività di tipizzazione dei corpi idrici), con pendenze solitamente non superiori al 2.5 %;

**3. - segmento dell’alta pianura** – interessa alvei semiconfinati o non confinati dall’intorno dell’apice di conoide e fino a dove l’asta si mantiene all’interno delle “Conoidi alluvionali appenniniche” relative agli acquiferi liberi e agli acquiferi confinati superiori, con pendenze longitudinali limitate inferiormente attorno allo 0.15 %, tranne che dal F. Rubicone in poi e per la provincia di Rimini fino al T. Melo, con il passaggio qui ad una “pianura costiera” e pendenze attorno allo 0.3 %;

**4. - segmento della bassa pianura** – con pendenze longitudinali inferiori allo 0.15 %;

**5. - segmento della pianura costiera** – per le aste dal Rubicone al Melo, in presenza di pendenze longitudinali inferiori allo 0.3 %.

#### **2.1.1.2 Definizione del grado di confinamento (STEP 2)**

La delimitazione del grado di confinamento laterale, considerato in senso longitudinale, è effettuata in relazione ad ogni segmento precedentemente individuato e corrisponde alla percentuale di lunghezza del corso d’acqua con sponde non a contatto con la pianura, bensì con versanti o terrazzi antichi. In altri termini esprime la percentuale di lunghezza di un tratto in cui si verifica o meno (presenza/assenza) la condizione di confinamento (contatto diretto con elementi che impediscono la mobilità laterale).

La pianura è qui intesa come pianura alluvionale (ossia la massima ampiezza della regione fluviale di indagine), identificabile generalmente nella Carta Geologica con le “Alluvioni attuali” o “Alluvioni oloceniche”.

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

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



Tipico delle principali valli alpine, di zone pedemontane (all'uscita dall'ambito montuoso-collinare e all'ingresso nel fondovalle alluvionale),

- **Alveo non confinato:** pianura continua. Meno del 10% dei margini dell'alveo sono a contatto con i versanti o terrazzi antichi. Le sponde sono quindi completamente deformabili, in modo tale che l'alveo è completamente libero di rimodellare i suoi limiti esterni. È tipico delle aree di pianura, ove l'alveo scorre in depositi alluvionali distante dai versanti.

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

La classificazione morfologica dell'alveo si basa su vari fattori quali il grado di confinamento, il numero di canali, la forma planimetrica e la configurazione del fondo (per gli alvei confinati). Una prima schematizzazione del sistema di classificazione morfologica si può ricondurre in prima analisi all'ambito fisiografico nel quale il corso d'acqua è inserito (definito nel precedente STEP), dal quale dipendono le possibili condizioni di confinamento (figura seguente).

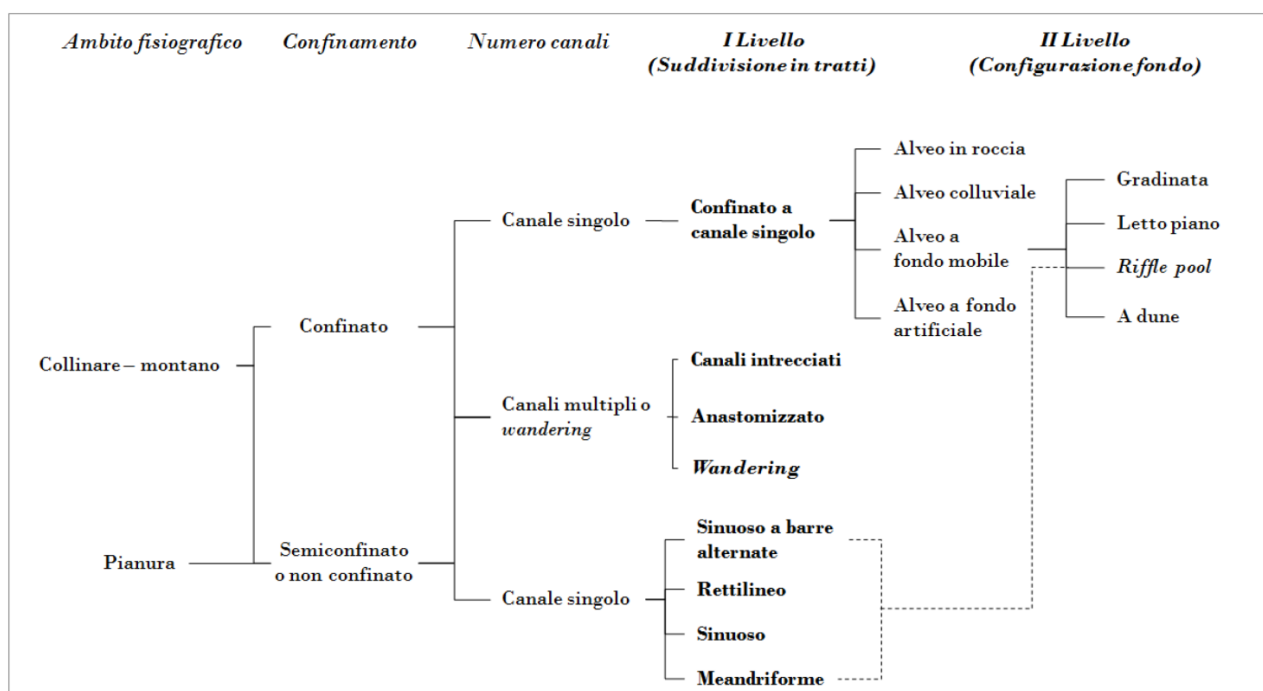


Figura 1 – Criteri di classificazione morfologica basata sul tipo di ambito fisiografico, sul confinamento, sulla forma planimetrica e sulla configurazione del fondo. La classificazione di I° livello, funzionale alla suddivisione in tratti, si limita al numero di canali e forma planimetrica (escluso che per i confinati a canale singolo), mentre la configurazione del fondo viene presa in esame nella classificazione di II° livello. Si noti che, nella classificazione di II° livello, per i corsi d'acqua a canale singolo semiconfinati o non confinati si aggiunge a fini descrittivi la configurazione del fondo (quando riconoscibile) (linea tratteggiata).

Le tipologie fluviali derivanti dalla combinazione tra grado di confinamento e morfologia sono riportate in Tabella 2.

**Tabella 2 - Tipologie fluviali derivanti dalla combinazione del confinamento (STEP 2) e della 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

Per la definizione delle diverse morfologie fluviali, si rimanda alla sezione “risultati” in relazione a quelle effettivamente individuate per il rio in studio.

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

Attraverso questo STEP viene ultimata la definizione di tratti omogenei dal punto di vista morfologico. I segmenti vengono definitivamente suddivisi in tratti, i quali rappresentano l’unità elementare di base funzionale alle analisi successive. I precedenti (ambito fisiografico, confinamento e morfologia) sono quelli alla base della suddivisione in tratti omogenei dal punto di vista morfologico.



## 2.1.2 Valutazione dello stato attuale del corso d'acqua

### 2.1.2.1 Metodologia

Come già ricordato, la fase di classificazione dello stato attuale viene suddivisa nei seguenti STEP:

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

Le variazioni morfologiche possono essere analizzate, secondo la metodologia IQM, per i corsi d'acqua di grandi dimensioni (larghezza  $L > 30$  m); per i rii in esame tali variazioni non sono quindi state considerate ai fini del calcolo dell'indice IQM, ma sono comunque state individuate in termini qualitativi ai fini della miglior comprensione del rio in studio.

I tre parametri funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche sono misurati attraverso appositi **punteggi**, che 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).

La definizione di uno stato di riferimento per gli aspetti idromorfologici può ritenersi particolarmente problematica rispetto agli altri aspetti presi in esame per la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE. La comunità scientifica internazionale è ormai concorde nel rinunciare a considerare come stato di riferimento una situazione "primitiva" (o "pristina") completamente indisturbata.

Lo stato di riferimento di un corso d'acqua considerato nella metodologia qui adottata è invece identificabile 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 le scale temporali delle risposte geomorfologiche, l'assenza di influenza antropica in alveo nella precedente definizione non deve essere intesa come limitata alle sole condizioni attuali, ma deve estendersi ad una scala temporale sufficientemente ampia (dell'ordine degli ultimi decenni). Ad esempio l'escavazione di sedimenti, seppure oggi molto ridotta, ha avuto effetti che ancora oggi condizionano sensibilmente le attuali caratteristiche morfologiche. Ciò vale soprattutto per gli alvei alluvionali a fondo mobile, avendo questi ultimi la capacità di auto-modificarsi, riadattandosi dinamicamente a variazioni imposte sulle variabili guida (portate liquide e solide) e/o sulle condizioni al contorno. Per i corsi d'acqua confinati di piccole o medie dimensioni (ambiti collinari e montani),

tale aspetto è meno rilevante, sia perché essi sono meno suscettibili di modificazioni morfologiche apprezzabili (a causa dei controlli della posizione del fondo e delle sponde esercitati dal contatto diretto con substrato roccioso e versanti) che per la difficoltà oggettiva di carattere metodologico di rilevare variazioni rispetto ad una situazione del passato.

Si ritiene che tal fine un intervallo di tempo significativo possa essere quello degli ultimi 50÷100 anni, in particolar modo a partire dagli anni '50 del secolo scorso, soprattutto in virtù del fatto che gli aggiustamenti morfologici più intensi nei corsi d'acqua di pianura in Italia sono avvenuti proprio in questo intervallo di tempo. Gli anni '50 sono quindi presi come situazione significativa per l'analisi delle variazioni morfologiche planimetriche dell'alveo, ma ciò non significa che rappresenti la condizione di riferimento rispetto alla quale misurare lo scostamento (in quanto non è detto che tutti gli aspetti siano peggiorati rispetto a tale epoca). La scelta degli anni '50 come situazione di confronto della morfologia planimetrica è motivata da due ragioni: (1) dal punto di vista metodologico, in quanto è disponibile una copertura a scala nazionale di foto aeree (volo IGM GAI 1954-55); (2) dal punto di vista concettuale, la situazione degli anni '50 può essere considerata generalmente con un'influenza antropica ancora contenuta, e più rappresentativa, rispetto a situazioni precedenti quali la fine del XIX sec., del possibile massimo recupero morfologico che è lecito attendersi nei prossimi decenni qualora venissero rimosse le cause di alterazione morfologica in alveo, fermo restando le condizioni dei versanti a scala di bacino.

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:

- piena funzionalità dei processi geomorfologici tipici che caratterizzano una determinata morfologia fluviale (**condizione di equilibrio dinamico**)
- **assenza di artificialità**
- **assenza di variazioni significative di forma, dimensioni e quota del fondo** in un arco temporale degli ultimi 50÷100 anni che sarebbero sintomo di avvenute alterazioni

Gli **indicatori potenzialmente utilizzabili per valutare la funzionalità** sono scelti sulla base del grado di confinamento del corso d'acqua studiato (Tabella 3).

Tabella 3 - 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>		
SIGLA	INDICATORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
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

I punteggi assegnabili ai diversi indicatori considerati sono indicati nelle tabelle seguenti.

Tabella 4 - Punteggi relativi agli indicatori di funzionalità.

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

Tabella 5 - Punteggi relativi agli indicatori di artificialità.

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

**Tabella 6 - Punteggi relativi agli indicatori di variazioni morfologiche.**

CATEGORIE	VARIAZIONI MORFOLOGICHE		A	B	C
<b>Morfologia</b> Configurazione morfologica	V1	Variazione della configurazione morfologica	0	3	6
Configurazione sezione	V2	Variazioni di larghezza	0	3	6
	V3	Variazioni altimetriche	0	4	8   12

L'indice complessivo IQM è calcolato come:

$$IQM = 1 - IAM$$

dove IAM è l'Indice di Alterazione Morfologica, dato dalla somma dei punteggi assunti da tutti gli indicatori sopra indicati.

L'indice **IQM** assume valore pari ad:

- **1** nel caso di un corso d'acqua completamente inalterato (coincidente con condizione di riferimento)
- **0** per un corso d'acqua completamente alterato
- **Valori compresi tra 0 e 1** per gradi di alterazione intermedi

L'indice IQM è suddiviso nelle **classi** della tabella seguente.

**Tabella 7 - Classi di qualità morfologica (indice IQM).**

IQM	CLASSE DI QUALITÀ
$0.0 \leq IQM < 0.3$	<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>

Una descrizione sintetica del significato di ogni indicatore è riportato nei paragrafi seguenti con riferimento a funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche.

### **2.1.2.2 Indicatori di funzionalità**

#### **a) Continuità**

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

Si valuta se la naturale continuità longitudinale delle portate solide è alterata da opere antropiche che vanno ad intercettare o ad ostacolare il libero flusso di sedimenti e/o materiale legnoso (non vengono considerate discontinuità dovute a fattori naturali, quali affioramenti rocciosi, laghi naturali di sbarramento da frana, ecc.).

##### ***F2 - Presenza di piana inondabile***

Un corso d'acqua alluvionale in equilibrio dinamico costruisce per sua natura un'area morfologicamente pianeggiante (la piana inondabile) soggetta ad inondazioni a partire da eventi di piena con un tempo di ritorno compreso tra 1 e 3 anni. La presenza di una piana inondabile caratterizzata da una tale frequenza di inondazione favorisce l'esplicitarsi di importanti funzioni: morfologiche (laminazione delle portate di piena e conseguente parziale dissipazione dell'energia della corrente, sedimentazione laterale dei sedimenti più fini), idrogeologiche (ricarica delle falde) ed ecologiche (pulsazione delle piene, mantenimento di habitat ripariali attraverso periodica sommersione, ecc.). Tali funzioni di continuità laterale dei flussi liquidi e solidi possono essere alterate per vari motivi, principalmente: (a) realizzazione di arginature e difese di sponda; (b) incisione dell'alveo. La presenza, estensione e continuità di una superficie morfologica naturale con le caratteristiche di una pianura inondabile (frequenza di inondazione elevata) è qui considerata come un indicatore della funzionalità dei processi di continuità laterale dei flussi liquidi e solidi.

##### ***F3 - Connessione tra versanti e corso d'acqua***

Con questo indicatore viene 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. Gli alvei confinati presentano spesso lembi di pianura (piana inondabile o terrazzi recenti) piuttosto limitati e discontinui, per cui tale indicatore nella maggior parte dei casi quantifica il collegamento tra versanti ed alveo. Tuttavia, visto che naturalmente i depositi di versante (sia sedimento che legno) possono rimanere "immagazzinati" per un certo periodo di tempo su queste porzioni di pianura prima di venir inglobati nel flusso, è corretto far riferimento al collegamento tra versanti e intero corridoio fluviale piuttosto che tra versanti e il solo



alveo. Interventi antropici di difesa (ad es., reti paramassi, valli di trattenuta) ed infrastrutture (strade, ferrovie) spesso interrompono tale continuità trasversale versante-fiume, e tale domanda si propone di valutare quanto (in senso longitudinale) i naturali processi di immissione da versante siano stati alterati.

#### ***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, in genere localizzate in posizioni particolari (ad es., in un tratto meandriforme è da attendersi che almeno una parte delle sponde esterne nelle curve sia 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 F4 si propone quindi di valutare se la presenza di processi di arretramento di sponda è quella attesa o se si registra un evidente scostamento (alterazione) rispetto alle condizioni normali.

#### ***F5 - Presenza di una fascia potenzialmente erodibile***

Questo indicatore riguarda la potenzialità che ha un corso d'acqua di muoversi lateralmente nei prossimi decenni (a differenza del precedente indicatore che riguarda la presenza attuale di processi di erosione). I corsi d'acqua di pianura 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.

#### **b) Morfologia**

##### **o Configurazione morfologica**

#### ***F6 - Morfologia del fondo e pendenza della valle***

Negli alvei confinati a canale singolo, 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 (se a fondo mobile) 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. A livello ecologico, tali morfologie inglobano il mosaico di habitat tipici di un corso d'acqua avente una certa pendenza in condizioni non alterate. La presenza di opere trasversali può tuttavia causare un abbassamento artificiale della pendenza energetica locale (ovvero della pendenza del fondo nel tratto compreso tra le opere, responsabile del trasporto di sedimento al fondo) e quindi un'eventuale variazione della morfologia del fondo e, di conseguenza, del mosaico di habitat presenti. Questo indicatore intende quindi valutare la magnitudo del cambiamento arrecato da opere trasversali, e non la loro mera presenza (la quale viene presa in considerazione nella sezione ARTIFICIALITÀ).

### ***F7 - Forme e processi tipici della configurazione morfologica***

Negli alvei semi- e non confinati, la distinzione in diverse tipologie morfologiche si basa sulla loro configurazione planimetrica e/o sulla presenza di determinate forme caratteristiche all'interno dell'alveo (barre, canali, isole). Tuttavia in molti casi il corso d'acqua può essere stato artificializzato pur mantenendo la sua forma planimetrica originaria (ad esempio un meandriforme fissato artificialmente) e non presenta più i processi e le forme all'interno dell'alveo che ne caratterizzano la sua configurazione morfologica, oppure essere interessato da opere ed interventi antropici che ne hanno localmente alterato le forme tipiche che si riscontrano a scala di tratto. Questo indicatore mira quindi a valutare se le forme ed i processi tipici della configurazione morfologica alla quale appartiene il tratto sono attivi o sono in parte alterati da impatti antropici. Vengono presi in esame in particolar modo gli aspetti morfologici planimetrici che concorrono alla definizione del pattern morfologico del tratto (mentre per gli aspetti alla scala della sezione trasversale si rimanda al successivo indicatore F9). Infatti le caratteristiche che determinano la classificazione della morfologia del tratto possono essere assenti per una parte del tratto. Per la valutazione di questo indicatore, è opportuno considerare i due seguenti casi: (1) alvei a canale singolo; (2) alvei transizionali o a canali multipli. Nel caso dei corsi d'acqua considerati nel LIFE RII il secondo caso non è mai presente, per cui si descrive solo il primo: per alvei a canale singolo l'attribuzione ad una delle tre tipologie appartenenti a questa categoria (rettilineo, sinuoso, meandriforme) è basata sull'indice di sinuosità. Con questo indicatore, le condizioni alterate sono quasi sempre riconducibili ad una mobilità planimetrica impedita da una fissazione artificiale del tracciato e/o da un'eccessiva attività di manutenzione (es. asportazione di barre, ecc.). Un esempio può essere quello di un fiume fissato artificialmente che può mantenere una configurazione planimetrica meandriforme ma non presentare le tipiche forme e processi che caratterizzano tale morfologia. Un altro esempio può essere quello di un alveo a canale singolo che localmente presenta canali multipli, per motivi chiaramente attribuibili ad alterazioni antropiche (ad esempio a causa della presenza delle pile di un ponte).

### ***F8 - Presenza di forme tipiche di pianura***

Nel caso di corsi d'acqua a canale singolo meandriformi (o originariamente tali) in ambito fisiografico di pianura e in condizioni non alterate, risulta normale la presenza di alcune forme tipiche della pianura (in particolar modo meandri abbandonati, relativi laghi, canali secondari, ecc.). Esse svolgono

importanti funzioni ecologiche (creazione di habitat umidi) oltre che geomorfologico-idrauliche. L'assenza di tali forme, proprie del contesto morfologico (medio-bassa pianura), è da valutare come un certo grado di alterazione della normale funzionalità del corso d'acqua.

- **Configurazione sezione**

**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 (eccetto ad esempio nel caso di tratti a bassa energia che, per loro natura, possono essere privi di diversità di forme, come verrà meglio illustrato di seguito). Tali alterazioni 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 l'indicatore F9 si valuta pertanto questo tipo di alterazione.

- **Struttura e substrato alveo**

**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 intende pertanto valutare la presenza delle alterazioni più evidenti nella struttura del substrato.

**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 (detrito) di grandi dimensioni (LW) 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.

### **c) Vegetazione fascia perifluviale**

I successivi due indicatori (F12 ed F13) riguardano la vegetazione presente nella fascia perifluviale, ovvero l'insieme delle aree esterne all'alveo che si estendono fino ai versanti (se presenti), includendo teoricamente l'intera pianura alluvionale. È importante sottolineare che la valutazione di tali indicatori vegetazionali non è effettuata in un'ottica ecologica, come accade per altri indici (p.e., WSI, IFF), bensì in relazione alla funzionalità geomorfologica, ovvero si valutano l'ampiezza e l'estensione della vegetazione che potenzialmente può interagire con i principali processi morfologici di esondazione e di erosione (resistenza al flusso, effetti sulla stabilità delle sponde, alimentazione di legname per l'alveo, intrappolamento di sedimenti o accumulo di materiale legnoso sulle sponde e sulla piana inondabile). Vengono considerate, come vegetazione parzialmente funzionale, le piantagioni a fini industriali (es., di pioppo, eucalipto, paulownia), in quanto sono caratterizzate da turni di utilizzo brevi e da densità nettamente inferiori rispetto a quelle delle formazioni spontanee, risultando quindi incapaci di svolgere pienamente il ruolo geomorfologico sopra descritto. Tuttavia la loro presenza viene valutata, anche se con punteggio inferiore rispetto alla vegetazione funzionale (vedi sotto). Al contrario, i rimboschimenti di conifere (abeti, pini), date le loro caratteristiche (maggiori densità e turni di utilizzo più lunghi), vengono assimilati a vegetazione funzionale, anche se sono chiaramente di origine artificiale. Altre coltivazioni con piante arboree (es., olivo, vite, melo, ecc.), vengono invece considerate come vegetazione assolutamente non funzionale (e quindi al pari di vegetazione erbacea od assente). È necessario che tale fascia di vegetazione sia posta in connessione con l'alveo relativamente ai processi geomorfologici che la possono interessare (erosione, inondazione): vanno cioè escluse quelle porzioni di fascia vegetazionale che sono totalmente disconnesse rispetto ad entrambi i processi a causa di elementi artificiali, ovvero argini, che impediscono l'esondazione e che verrebbero protetti in caso di erosione. Nel caso di presenza di sole protezioni di sponda, l'eventuale fascia vegetazionale presente sulla sponda stessa o sulla superficie adiacente va considerata in quanto, anche se la sponda non è erodibile, la vegetazione può interferire con alcuni processi (resistenza al flusso, esondazione, alimentazione di legno, ecc.). Nel caso di alvei confinati, le strade (anche se sterrate ma di larghezza almeno pari ad una carreggiata, quindi escludendo i sentieri), interrompono tale connessione, analogamente agli argini per gli alvei semi- non confinati. Pertanto ne va tenuto conto nell'ampiezza e nell'estensione lineare escludendo dalla valutazione la fascia di vegetazione retrostante.

### ***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, includendo anche formazioni di idrofite quali canneto (in analogia al metodo IFF). Per i tratti confinati, l'ampiezza si valuta rispetto a quella dell'eventuale piana e dei versanti adiacenti fino a 50 m da ogni sponda, sempre che i versanti non siano sub-verticali o in frana e quindi la vegetazione legnosa non sia naturalmente assente. Per i tratti semi- e non confinati, la fascia rispetto alla quale si valuta l'ampiezza è espressa in funzione della larghezza dell'alveo. Tale ampiezza è cioè valutata in relazione alla possibilità che la vegetazione svolga normalmente i suoi diversi ruoli nei confronti dei processi geomorfologici connessi alla continuità laterale (erosione, esondazione). A differenza della domanda 3 del metodo IFF, la quale valuta l'ampiezza della vegetazione in senso assoluto secondo criteri di funzionalità ecologica, il presente protocollo intende invece tenere conto del rapporto tra la condizione attuale e lo spazio disponibile.

### ***F13 - Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde***

Si intende qui valutare lo sviluppo longitudinale della fascia di vegetazione funzionale (arborea, arbustiva ed a idrofite) lungo l'alveo, a prescindere dalla sua estensione areale. Tuttavia, per le loro caratteristiche di bassa densità, i filari di alberi piantati a scopo ornamentale non vengono considerati pienamente funzionali e vengono assimilati a piantagioni industriali (vedi sopra). Anche in questo caso come per l'indicatore precedente, si dovrà far riferimento al rapporto tra la condizione attuale e quella massima disponibile.

#### ***2.1.2.3 Indicatori di artificialità***

- **Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte**

Nella valutazione morfologica dello stato attuale di un singolo tratto (analisi di primo livello), i soli indicatori che riguardano le condizioni del bacino a monte sono quelli relativi alle opere di alterazione delle portate liquide e solide (A1 e A2). Ai fini dell'analisi delle condizioni del tratto, è utile considerare separatamente le alterazioni a monte (A1 e A2) e le alterazioni nel tratto stesso (A3 e A4). A tal fine, nel caso di un'opera (ad es., una diga) posta al limite tra due tratti (ad es., tra un tratto n1 a monte ed un tratto n2 a valle), si adotta la regola che l'opera viene attribuita al tratto di monte. In altri termini, gli effetti dell'opera sono attribuiti al tratto n1 come alterazioni nel tratto (indicatori A3 e A4), mentre sono considerati alterazioni a monte (indicatori A1 e A2) per il tratto n2 di valle.

### ***A1 - Opere di alterazione delle portate liquide***

Si tratta 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. Esse infatti tendono a ridurre le portate liquide a valle determinando una riduzione delle portate formative e della capacità di trasporto. Possono ascrivere a tale categoria di opere anche quelle derivazioni che producano analoghi effetti riduttivi sulle portate formative. Attraverso questo indicatore si tiene conto della presenza di opere, nel bacino sotteso dal tratto, che possano avere effetti sulle portate liquide formative e su quelle con tempi di ritorno superiori, con o senza alterazione delle portate solide (quest'ultima valutata nell'indicatore successivo).

### ***A2 - Opere di alterazione delle portate solide***

Con questo indicatore si prendono 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. Non si prendono invece in considerazione opere di sistemazione idraulico-forestale realizzate sui versanti (stabilizzazione di frane, rimboschimenti, ecc.). 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.

- **Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto**

### ***A3 - Opere di alterazione delle portate liquide***

Questo indicatore è del tutto analogo al precedente A1, con la differenza che si riferisce alle opere presenti nel tratto. Tali opere possono includere diversivi, scolmatori, casse di espansione, sia in derivazione laterale che in linea.

### ***A4 - Opere di alterazione delle portate solide***

Vengono considerate con questo indicatore tutte quelle opere trasversali che producono un'alterazione del normale flusso di sedimenti. Esse comprendono 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). Non

si prendono invece in considerazione opere di sistemazione idraulico-forestale realizzate sui versanti (stabilizzazione di frane, rimboschimenti, ecc.).

#### **A5 - Opere di attraversamento**

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. Tuttavia tali elementi non sono valutati attraverso questo indicatore, ma si rimanda all'indicatore F1 dove si valuta l'effetto che l'opera può avere sulla continuità del flusso di sedimenti.

- **Opere di alterazione della continuità laterale**

#### **A6 - Difese di sponda**

Si analizza 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 rientrano 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. Vengono considerate solo le opere presenti sulle sponde attuali o a ridosso dell'alveo, che possono determinare un effettivo condizionamento sulla mobilità laterale nelle condizioni attuali (non si considerano ad es., pennelli sospesi e distanti dall'alveo realizzati in epoche storiche).

#### **A7 - Arginature**

Si analizza la presenza e la posizione di argini i quali influiscono sulla continuità laterale, impedendo la normale inondazione di territori adiacenti al corso d'acqua. Vengono considerati come argini i rilevati (generalmente in terra) posti a ridosso o ad una certa distanza dal corso d'acqua. Sono da intendere come argini anche 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 va considerata sia in questo indicatore che nel precedente), o anche infrastrutture (strade) con funzione di argini.

- **Opere di alterazione della morfologia dell'alveo e/o del substrato**

Vengono incluse in questa categoria altre opere, non rientranti nelle categorie finora considerate, che hanno effetti sulla morfologia dell'alveo o sulle caratteristiche del substrato, tenendo presente che la maggior parte delle opere precedenti ha già effetti più o meno significativi sulla morfologia stessa (es. le difese di sponda possono causare una riduzione della larghezza, le briglie possono indurre una variazione di configurazione morfologica e di substrato, ecc.).

#### ***A8 - Variazioni artificiali di tracciato***

Con questo indicatore si intende prendere in considerazione se esistono e sono 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. È possibile ad esempio che un fiume per sua natura meandriforme, nel tratto di bassa pianura, abbia subito tagli di meandro che lo hanno reso rettilineo o sinuoso, facendo perdere quindi al corso d'acqua la sua morfologia naturale e determinando variazioni sui processi geomorfologici ed idraulici e perdite di habitat.

#### ***A9 - Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato***

Sono state incluse in questo indicatore le altre opere di consolidamento (oltre le briglie, analizzate nell'indicatore A4) che non sporgono sensibilmente dal fondo dell'alveo, ma che fissano 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). Negli ultimi decenni sono state implementate molte soluzioni alternative all'uso tradizionale del cemento armato, ovvero briglie e rampe in massi, in legname, miste. Tuttavia, ai fini dell'impatto sulla dinamica morfologica, tali diverse tipologie non rappresentano delle vere mitigazioni. 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. Si evidenzia che è il fondo (alveo) ad essere rivestito e non solamente le sponde. Tali opere sono tipicamente eseguite su tratti montani ad elevata pendenza per evitare l'incisione dell'alveo, ma sono anche comuni in corrispondenza di attraversamenti urbani di corsi d'acqua anche semi- o non confinati, dove è richiesta una bassa scabrezza idraulica al fine di evitare sedimentazione in alveo (es. su conoidi).



- **Interventi di manutenzione e prelievo**

#### ***A10 - Rimozione di sedimenti***

Attraverso questo indicatore si tiene conto dell'intensità dell'attività di rimozione di sedimenti nel tratto. 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.

#### ***A11 - Rimozione di 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.

#### ***A12 - Taglio della vegetazione in fascia perfluviale***

Come detto precedentemente, la vegetazione arborea presente nella fascia perfluviale (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 il naturale "rifornimento" grazie a fenomeni di mortalità naturale, erosione di sponda, e schianti episodici da vento e neve. Nei tratti confinati, assumono invece maggior importanza i processi di immissione da versante, quali frane e colate detritiche. Inoltre, la vegetazione arborea intrappola parte dei sedimenti e del materiale legnoso trasportati durante gli eventi di piena, arrivando a costruire un complesso mosaico di habitat. Gli interventi periodici di taglio della vegetazione arborea ed arbustiva (detti anche manutenzione o pulizia fluviale), anche quando realmente necessari per esigenze di sicurezza idraulica, comportano effetti negativi sul comparto morfologico (oltre che biologico) in quanto, riducendo drasticamente la dimensione delle piante presenti, viene alterata la loro capacità di esplicitare azioni morfologiche significative una volta che esse diventino materiale legnoso in alveo. Inoltre, la presenza di popolamenti soltanto agli stadi giovanili semplifica notevolmente il pattern idrodinamico e sedimentario della piana inondabile.

#### **2.1.2.4 Indicatori di variazioni morfologiche**

##### **V1 - Variazione 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 (sinuoso, meandriforme, canali intrecciati, ecc.). 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 (ad es., un alveo a canali intrecciati che, a seguito di canalizzazione, viene trasformato in corso d'acqua a canale singolo, oppure un meandriforme il cui indice di sinuosità viene ridotto a causa di un taglio di meandro, determinandone il passaggio a sinuoso). Vanno esclusi invece quei casi in cui la variazione morfologica è attribuibile con certezza ad una causa naturale (ad es., una frana di sbarramento o un'eruzione vulcanica che trasforma la morfologia dell'alveo).

##### **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 o un'eruzione vulcanica che causa una modificazione di larghezza dell'alveo).

##### **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.

## 2.2 Variazioni morfologiche e tendenze evolutive attuali

Con il presente capitolo si intendono approfondire alcuni aspetti specifici già indagati con l'analisi dell'indice IQM, legati principalmente alle variazioni morfologiche subite dai rii in studio e alle tendenze evolutive attuali, prendendo come riferimento metodologico le *“Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive”* (Surian N. *et al*, 2009), alle quali si rimanda per ulteriori dettagli.

Nel primo caso, le **variazioni morfologiche dell'alveo**, ossia le variazioni temporali di alcuni parametri morfologici, prendono in considerazione un ampio lasso di tempo che può partire dalla metà dell'800, con maggior attenzione a quanto avvenuto a partire dagli anni '50 del '900 (periodo di riferimento per l'indice IQM).

Nel secondo caso le **tendenze evolutive attuali** fanno invece riferimento alle variazioni dei medesimi parametri considerati per indagare le variazioni morfologiche ma nell'intervallo temporale degli ultimi 10 - 15 anni.

Nella presente applicazione, per valutare le variazioni morfologiche si prendono in considerazione le modifiche dei tipici **parametri morfologici** utilizzati per **alvei non confinati sinuosi o meandriiformi**, quali:

- **Larghezza:** per larghezza dell'alveo si intende la larghezza dell'alveo “a piene rive” (“bankfull”). Nel caso sia presente la piana inondabile (da uno o entrambi i lati), si fa riferimento al punto di separazione individuato tra alveo e piana inondabile. Nel caso di alveo inciso (di qualche metro) privo di piana inondabile, si fa riferimento alla superficie pianeggiante di quota inferiore che per prima è soggetta ad inondazione.
- **Sinuosità:** la sinuosità di un certo tratto si ricava dal rapporto fra la distanza misurata lungo l'asse dell'alveo e la distanza misurata lungo l'asse della valle. Questo parametro viene utilizzato per distinguere gli alvei rettilinei, sinuosi e meandriiformi. Per convenzione sono considerati rettilinei quelli con sinuosità minore di 1,1, sinuosi quando il parametro è compreso tra 1,1 e 1,5 e meandriiformi quando il parametro è superiore a 1,5 (Thorne, 1997).
- **Quota media del fondo:** per valutare la quota del fondo si fa riferimento al punto più depresso (“thalweg”), oppure alla quota media del fondo dell'alveo.

Nel caso di **tratti confinati**, non sarà presa in considerazione la sinuosità, in quanto il confinamento impone un percorso ben definito e immutabile, ma solo la quota media del fondo e la larghezza dell'alveo (andando ad indagare il possibile restringimento per cause antropiche ed escludendo ovviamente allargamenti, non possibili a causa del confinamento imposto dai versanti).

Tali analisi sono realizzate tipicamente in ambiente GIS su alvei larghi almeno 20-30m, i quali permettono di misurare con accuratezza i parametri individuati; per corsi d'acqua di dimensioni minori tali misure diventano sempre più incerte e soggette ad errori al diminuire della dimensione dell'alveo.

**Per questo motivo la disamina qui presentata delle variazioni morfologiche (e delle tendenze evolutive) dei tratti omogenei dei rii in studio deve necessariamente essere eseguita solo in termini qualitativi,**



**valutando le variazioni dei parametri morfologici senza procedere a misurazioni numeriche in ambiente GIS.**

Tali valutazioni non possono altresì essere precisate tramite confronto con il rilievo in campo dei medesimi parametri morfologici, mancando le misure del passato a cui far riferimento; evidenze raccolte in campo possono al limite indicare una tendenza in atto o fornire spunti per valutazioni generali.

Si ritiene in ogni caso che tale analisi, basata sulla valutazione non quantitativa della cartografia storica e delle foto aeree, possa comunque fornire informazioni di interesse in merito alle variazioni morfologiche e alle tendenze evolutive dei rii in studio, che appaiono essere sufficientemente chiare anche senza procedere a misure di conferma, che potrebbero essere alquanto imprecise nel caso in esame.