



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

**IDRAIM – sistema di valutazione IDRomorfologica,
Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua**

**Manuale tecnico – operativo
per la valutazione ed il monitoraggio
dello stato morfologico dei corsi d'acqua**

Versione 1

**Massimo RINALDI
Nicola SURIAN
Francesco COMITI
Martina BUSSETTINI**

Roma, marzo 2011



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

**IDRAIM – sistema di valutazione IDRomorfologica,
Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua**

**Manuale tecnico – operativo
per la valutazione ed il monitoraggio
dello stato morfologico dei corsi d'acqua**

Versione 1

**Massimo RINALDI
Nicola SURIAN
Francesco COMITI
Martina BUSSETTINI**

Roma, marzo 2011

INFORMAZIONI LEGALI

L’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell’Istituto non sono responsabili per l’uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo manuale.

La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, ha istituito l’ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

L’ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell’Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici (ex APAT), dell’Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell’Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

La presente pubblicazione fa riferimento ad attività svolte in un periodo antecedente l’accorpamento delle tre Istituzioni e quindi riporta ancora, al suo interno, richiami e denominazioni relativi ai tre Enti soppressi.

ISPRA – Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48
00144 Roma
www.isprambiente.it

© ISPRA 2011

ISBN: 978-88-448-0438-1

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica
ISPRA

Marzo 2011

Citare questo documento come segue:

Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussettin M. 2011, MANUALE TECNICO – OPERATIVO PER LA VALUTAZIONE ED IL MONITORAGGIO DELLO STATO MORFOLOGICO DEI CORSI D’ACQUA – Versione 1, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, 232 pp.

Indice

CAPITOLO 1 INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA.....	1
CAPITOLO 2 CONCETTI DI BASE DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE.....	7
2.1 <i>Il sistema fluviale e la connettività dei processi.....</i>	7
2.2 <i>Le scale spaziali</i>	10
2.3 <i>Gli alvei delle zone collinari e montane.....</i>	12
2.4 <i>Gli alvei alluvionali di pianura.....</i>	14
2.5 <i>Trasporto solido e sedimenti del fondo</i>	18
2.6 <i>Le portate formative</i>	20
2.7 <i>Mobilità laterale ed erosione delle sponde</i>	22
2.8 <i>La vegetazione ed i processi fluviali</i>	24
2.9 <i>Variazioni morfologiche degli alvei fluviali.....</i>	26
2.10 <i>Attuali conoscenze sui corsi d'acqua italiani.....</i>	30
CAPITOLO 3 STRUTTURA METODOLOGICA	33
3.1 <i>Concetto di stato di riferimento.....</i>	33
3.2 <i>Metodologie di analisi.....</i>	35
3.3 <i>Scale spaziali e temporali</i>	36
3.4 <i>Aspetti trattati e suddivisione in fasi</i>	39
CAPITOLO 4 INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE DEI CORSI D'ACQUA IN TRATTI.44	44
4.1 <i>Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche (STEP 1).....</i>	44
4.2 <i>Definizione del grado di confinamento (STEP 2).....</i>	49
- Grado di confinamento (Gc).....	49
- Indice di confinamento (Ic)	51
4.3 <i>Definizione della morfologia dell'alveo (STEP 3)</i>	52
4.3.1 <i>Classificazione dei corsi d'acqua non confinati o semiconfinati</i>	56
- Indice di sinuosità (Is)	56
- Indice di intrecciamento (Ii)	59
- Indice di anastomizzazione (Ia).....	60
4.3.2 <i>Classificazione dei corsi d'acqua confinati</i>	71
4.4 <i>Definizione della Tipologia fluviale</i>	79
4.5 <i>Suddisione finale in tratti (STEP 4).....</i>	81
4.6 <i>Considerazioni finali sull'applicazione della Fase 1 ai fini della WFD</i>	86
CAPITOLO 5 VALUTAZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI CORSI D'ACQUA	88
5.1 <i>Classificazione dello stato morfologico attuale</i>	88
5.2 <i>Compilazione delle schede</i>	90

5.2.1	Competenze	90
5.2.2	Fonti di informazione e successione delle fasi.....	91
5.2.3	Campi di applicazione.....	93
5.3	<i>Attribuzione dei punteggi e sintesi delle informazioni</i>	93
5.4	<i>Esempio di applicazione.....</i>	100
5.5	<i>Fase di test</i>	107
5.5.1	Torrente Sentino presso le gole di Frasassi (Marche).	108
5.5.2	Fiume Tagliamento presso Turrida (Friuli Venezia Giulia).....	109
5.5.3	Fiume Trebbia presso S.Salvatore (Emilia-Romagna).....	110
5.5.4	Fiume Cecina presso Casino di Terra (Toscana).....	111
5.5.5	Fiume Volturno presso Piana della Chiesa (Molise).....	112
5.5.6	Fiume Tevere a valle della confluenza del F.Paglia (Umbria).....	113
5.5.7	Furkelbach (Rio di Furcia) in Val Pusteria (Trentino Alto Adige).	114
5.5.8	Fiume Panaro presso Vignola (Emilia Romagna).....	116
5.5.9	Fiume Arno a Firenze (Toscana).....	117
5.5.10	Torrente Gadria presso Lasa (Trentino Alto Adige).	118
CAPITOLO 6 MONITORAGGIO MORFOLOGICO.....		120
6.1	<i>Tipi di monitoraggio morfologico</i>	120
6.2	<i>Monitoraggio strumentale.....</i>	121
6.2.1	Impostazione generale del programma di monitoraggio.....	121
6.2.2	Monitoraggio degli elementi morfologici naturali	126
(1)	Continuità	126
(1.1)	PORTATE LIQUIDE.....	126
(1.2)	ESTENSIONE E CONTINUITÀ PIANA INONDABILE	126
(1.3)	SPONDE IN ARRETRAMENTO	130
(2)	Configurazione morfologica.....	132
(2.1)	INDICE DI SINUOSITÀ	132
(2.2)	INDICE DI INTRECCIAMENTO	133
(2.3)	INDICE DI ANASTOMIZZAZIONE.....	133
(2.4)	MORFOMETRIA DI BARRE E ISOLE	134
(2.5)	CONFIGURAZIONE MORFOLOGICA	136
(2.6)	PENDENZA DEL FONDO.....	136
(3)	Configurazione della sezione	137
(3.1)	LARGHEZZA ALVEO	137
(3.2)	PROFONDITÀ ALVEO	137
(3.3)	RAPPORTO LARGHEZZA / PROFONDITÀ.....	139
(3.4)	VARIAZIONE DI QUOTA DEL FONDO	139
(4)	Struttura e substrato dell'alveo.....	142

(4.1) DIMENSIONI GRANULOMETRICHE DEL FONDO	142
(4.2) STRUTTURE DEL FONDO: CORAZZAMENTO E CLOGGING	144
(4.3) ABBONDANZA DI MATERIALE LEGNOSO DI GRANDI DIMENSIONI	145
(5) Vegetazione nella fascia perifluviale.....	147
(5.1) AMPIEZZA DELLE FORMAZIONI FUNZIONALI PRESENTI IN FASCIA PERIFLUVIALE	147
(5.2) ESTENSIONE LINEARE DELLE FORMAZIONI FUNZIONALI LUNGO LE SPONDE.....	148
6.2.3 Monitoraggio degli elementi artificiali	148
- Dighe	149
- Altre opere di alterazione delle portate liquide e/o solide (diversivi o scolmatori, derivazioni, casse di espansione)	149
- Opere trasversali di trattenuta o derivazione	150
- Opere trasversali di consolidamento.....	150
- Opere di attraversamento.....	151
- Difese di sponda	151
- Arginature.....	151
- Variazioni di tracciato o modifica di forme fluviali nella pianura.....	151
- Variazioni areali della fascia erodibile	152
- Rivestimenti del fondo	152
- Interventi di rimozione di sedimenti e/o ricalibratura dell'alveo.....	152
- Interventi di rimozione del materiale legnoso in alveo.....	152
- Taglio di vegetazione nella fascia perifluviale	153
6.2.4 Schede di monitoraggio e valutazione post-monitoraggio	153
6.3 Ulteriori elementi per l'analisi ed il monitoraggio	153
6.3.1 Portate solide.....	153
6.3.2 Uso del suolo	154
APPENDICE 1 GUIDA ALLE RISPOSTE.....	i
Guida alle Risposte.....	1
Generalità e Suddivisione iniziale	1
FUNZIONALITÀ.....	2
Continuità	2
F1: Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso.....	2
F2: Presenza di piana inondabile	3
F3: Connessione tra versanti e corso d'acqua	7
F4: Processi di arretramento delle sponde	8
F5: Presenza di una fascia potenzialmente erodibile	9
Morfologia	10
F6: Morfologia del fondo e pendenza della valle.....	10
F7: Forme e processi tipici della configurazione morfologica	12

F8: Presenza di forme tipiche di pianura.....	14
F9: Variabilità della sezione	14
F10: Struttura del substrato	16
F11: Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni.....	18
<i>Vegetazione nella fascia perifluviale</i>	19
F12: Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale.....	20
F13: Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde.....	21
ARTIFICIALITÀ	22
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte.....</i>	22
A1: Opere di alterazione delle portate liquide	22
A2: Opere di alterazione delle portate solide	25
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto.....</i>	29
A3: Opere di alterazione delle portate liquide (diversivi, scolmatori, casse di espansione).....	29
A4: Opere di alterazione delle portate solide (briglie di trattenuta, casse in linea, briglie di consolidamento, traverse, diga a valle)	30
A5: Opere di attraversamento (ponti, guadi, tombinature)	31
<i>Opere di alterazione della continuità laterale</i>	32
A6: Difese di sponda (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli)	32
A7: Arginature	33
<i>Opere di alterazione della morfologia e/o del substrato</i>	34
A8: Variazioni artificiali di tracciato	35
A9: Altre opere di consolidamento (soglie, rampe) e/o di alterazione del substrato (rivestimenti del fondo).....	35
<i>Interventi di manutenzione e prelievo.....</i>	36
A10: Rimozione di sedimenti	36
A11: Rimozione del materiale legnoso	37
A12: Taglio della vegetazione in fascia perifluviale.....	38
VARIAZIONI MORFOLOGICHE	39
V1: Variazioni della configurazione morfologica.....	39
V2: Variazioni di larghezza	41
V3: Variazioni altimetriche.....	42
Punteggi	44
APPENDICE 2 SCHEMA DI VALUTAZIONE PER ALVEI CONFINATI.....	ii
APPENDICE 3 SCHEMA DI VALUTAZIONE PER ALVEI NON CONFINATI.....	iii
APPENDICE 4 GUIDA ILLUSTRATA ALLE RISPOSTE..... (pubblicata separatamente)	

Indice delle figure

Figura 2.1 – Il corso d'acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti.	7
Figura 2.2 – Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico.	8
Figura 2.3 – Grado di confinamento e dimensioni dei corsi d'acqua nelle diverse zone del bacino.	9
Figura 2.4 – Schema dell'approccio gerarchico.	11
Figura 2.5 – Classificazione dei corsi d'acqua montani secondo <i>MONTGOMERY & BUFFINGTON (1997)</i>	13
Figura 2.6 – Morfologie dei corsi d'acqua montani in relazione alle condizioni di capacità di trasporto (<i>transport capacity</i>) e di alimentazione di sedimenti (<i>sediment supply</i>).	13
Figura 2.7 – La forma di un alveo alluvionale come risultato dell'interazione tra variabili guida e condizioni al contorno.	14
Figura 2.8 – Classificazione dei principali tipi di barre.	15
Figura 2.9 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo <i>SCHUMM (1977)</i>	16
Figura 2.10 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo <i>CHURCH (1992)</i>	17
Figura 2.11 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo <i>ROSGEN (1994)</i>	18
Figura 2.12 – Tipologie di trasporto solido.	19
Figura 2.13 – Concetto di <i>portata dominante</i> o <i>efficace</i> secondo <i>WOLMAN & MILLER (1960)</i>	21
Figura 2.14 – Modello concettuale dei processi dominanti di arretramento di sponde fluviali in un sistema fluviale.	23
Figura 2.15 – Modello concettuale delle risposte di un alveo fluviale ad alterazioni dell'equilibrio dinamico (da <i>LANE, 1955</i>).	27
Figura 2.16 – Modello concettuale di evoluzione di alvei fluviali.	30
Figura 2.17 – Schema di classificazione delle variazioni morfologiche di fiumi italiani.	31
Figura 2.18 – Tipico andamento temporale della quota del fondo in risposta a disturbi antropici durante gli ultimi 100 anni circa osservato per vari fiumi italiani.	32
Figura 2.19 – Modello evolutivo relativo ad alcuni casi di studio appenninici.	32
Figura 3.1 – Schema evolutivo delle larghezze osservato in alcuni tratti del F. Magra.	34
Figura 3.2 – Schema delle scale spaziali e degli aspetti considerati.	36
Figura 3.3 – Schema dei rapporti tra scale temporali e scale delle unità spaziali di indagine.	38
Figura 3.4 – Schematizzazione a blocchi della struttura metodologica.	41
Figura 4.1 – Suddivisione della Fase 1 in STEP.	44
Figura 4.2 – Esempio di suddivisione del bacino del Fiume Cecina (Toscana meridionale) in unità fisiografiche.	46
Figura 4.3 – Esempio di suddivisione in segmenti del Fiume Cecina.	48
Figura 4.4 – Esempio di suddivisione dei segmenti del Fiume Cecina in base al confinamento.	52
Figura 4.5 – Criteri di classificazione morfologica basata sul tipo di ambito fisiografico, sul confinamento, sulla forma planimetrica e sulla configurazione del fondo.	55
Figura 4.6 – Delimitazione dell'alveo per corsi d'acqua sufficientemente larghi (larghezza > 30 m).	56
Figura 4.7 – Esempio di definizione dell'asse del tracciato planimetrico per tutta la porzione di fiume dove è necessario misurare l'indice di sinuosità.	58
Figura 4.8 – Misura dell'indice di sinuosità in un tratto compreso tra i punti A e B con variazioni dell'asse del tracciato planimetrico.	58
Figura 4.9 – Misura dell'indice di intrecciamento.	59
Figura 4.10 – Misura dell'indice di anastomizzazione.	60
Figura 4.11 – Alveo rettilineo (F.Chiese).	61
Figura 4.12 – Alveo di tipo sinuoso.	62
Figura 4.13 – Alveo di tipo meandriforme (F.Adda).	62
Figura 4.14 – Alvei con morfologie transizionali: A) <i>wandering</i> ; B) sinuoso a barre alternate.	64
Figura 4.15 – Alveo a canali intrecciati (Fiume Tagliamento).	64

Figura 4.16 – Alveo anastomizzato. Si riconoscono i canali e le isole inondate a seguito di un evento di piena.	65
Figura 4.17 – Schema delle morfologie fluviali e dei relativi campi di variabilità degli indici morfologici planimetrici.	66
Figura 4.18 – Morfologie fluviali e relazioni con i principali parametri di controllo.	68
Figura 4.19 – Alveo meandriforme in ambito montano (Rivo di Caserine, Trento).	71
Figura 4.20 – Alvei a canali multipli di ambiente collinare-montuoso.	72
Figura 4.21 – Alveo in roccia su substrato di arenaria (Arizona, USA).	73
Figura 4.22 – Esempi di tratti colluviali.	73
Figura 4.23 – Alvei a gradinata.	74
Figura 4.24 – Alvei a letto piano.	75
Figura 4.25 – Alvei a <i>riffle-pool</i>	76
Figura 4.26 – Alveo a dune su substrato sabbioso (Rivo di Caserine).	77
Figura 4.27 – Alveo a fondo artificiale sistemato con briglie ad interdistanza ridotta. (T. Pramper, Belluno).	77
Figura 4.28 – Misura della Larghezza dell’alveo (<i>L</i>).	79
Figura 4.29 – Esempio di suddivisione dei segmenti del Fiume Cecina in tipologie sulla base di confinamento e morfologia.	80
Figura 4.30 – Fase di suddivisione iniziale: esempio relativo al Fiume Cecina.	84
Figura 5.1 – Suddivisione in STEP della fase di classificazione dello stato morfologico attuale.	88
Figura 5.2 – Torrente Sentino presso le gole di Frasassi ($IQM = 0.92$; <i>Classe</i> = <i>Elevato</i>).	108
Figura 5.3 – Fiume Tagliamento presso Turrida ($IQM = 0.87$; <i>Classe</i> = <i>Elevato</i>).	110
Figura 5.4 – Fiume Trebbia presso S.Salvatore ($IQM = 0.77$; <i>Classe</i> = <i>Buono</i>).	111
Figura 5.5 – Fiume Cecina presso Casino di Terra ($IQM = 0.78$; <i>Classe</i> = <i>Buono</i>).	112
Figura 5.6 – Fiume Volturno presso Piana della Chiesa ($IQM = 0.60$; <i>Classe</i> = <i>Moderato</i>).	113
Figura 5.7 – Fiume Tevere presso la confluenza con il F.Paglia ($IQM = 0.66$; <i>Classe</i> = <i>Moderato</i>).	114
Figura 5.8 – Rio di Furcia in Val Pusteria ($IQM = 0.46$; <i>Classe</i> = <i>Scadente</i>).	115
Figura 5.9 – Fiume Panaro presso Vignola ($IQM = 0.40$; <i>Classe</i> = <i>Scadente</i>).	117
Figura 5.10 – Fiume Arno a Firenze ($IQM = 0.11$; <i>Classe</i> = <i>Pessimo</i>).	118
Figura 5.11 – Torrente Gadria presso Lasa ($IQM = 0.04$; <i>Classe</i> = <i>Pessimo</i>).	119
Figura 6.1 – Misura dell'estensione e continuità longitudinale (<i>Cl</i>) della piana inondabile.	130
Figura 6.2 – Misura della Lunghezza di sponde in arretramento (<i>lsa</i>).	132
Figura 6.3 – Misura del Tasso di arretramento delle sponde (<i>Tas</i>).	132
Figura 6.4 – Morfometria di barre ed isole.	135
Figura 6.5 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQf) e del relativo Tasso di variazione (Δqf) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto con tendenza unica all’incisione.	141
Figura 6.6 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQf) e del relativo Tasso di variazione (Δqf) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto caratterizzato da 3 sottotratti a tendenze diverse.	141
Figura 6.7 – Esempio di conteggio di LW nel sito di monitoraggio, delimitato a monte e a valle dalle linee nere tratteggiate.	147

Indice delle tabelle

Tabella 2.1 – Schema delle relazioni tra zone del bacino, dimensioni e grado di confinamento degli alvei fluviali.....	9
Tabella 2.2 – Schema riepilogativo dei processi fluviali influenzati dalla presenza di vegetazione viva e da detriti legnosi.	25
Tabella 3.1 – Valutazione dello stato morfologico dei corsi d'acqua: suddivisione in categorie ed aspetti trattati.	40
Tabella 4.1 – Principali unità fisiografiche.	45
Tabella 4.2 – Definizione delle classi di confinamento sulla base del grado e dell'indice di confinamento.	51
Tabella 4.3 – Differenze tra le varie morfologie fluviali in termini di indici di sinuosità, intrecciamento e anastomizzazione.	67
Tabella 4.4 – Morfologie fluviali preferenziali in relazione ai principali ambiti fisiografici di pianura in Italia.....	70
Tabella 4.5 – Tipologie fluviali derivanti dalla combinazione del confinamento (STEP 2) e della morfologia (STEP 3).....	80
Tabella 5.1 – Lista degli indicatori e relativi campi di applicazione.....	89
Tabella 5.2 – Punteggi relativi agli indicatori di funzionalità.....	94
Tabella 5.3 – Punteggi relativi agli indicatori di artificialità.....	94
Tabella 5.4 – Punteggi relativi agli indicatori di variazioni morfologiche.....	95
Tabella 5.5 – Riepilogo dei massimi punteggi per le principali tipologie.	95
Tabella 5.6 – Classi di qualità morfologica.....	96
Tabella 5.7 – Riepilogo dei valori dei sub-indici.	107
Tabella 5.8 – Torrente Sentino presso Frasassi: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i>	108
Tabella 5.9 – Fiume Tagliamento presso Turrida: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i>	109
Tabella 5.10 – Fiume Trebbia presso S.Salvatore: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i>	110
Tabella 5.11 – Fiume Cecina presso Casino di Terra: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i> ..	112
Tabella 5.12 – Fiume Volturno presso Piana della Chiesa: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i>	113
Tabella 5.13 – Fiume Tevere presso la confluenza del F.Paglia: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i>	114
Tabella 5.14 – Rio di Furcia in Valpusteria: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i> ..	115
Tabella 5.15 – Fiume Panaro presso Vignola: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i> ..	116
Tabella 5.16 – Fiume Arno a Firenze: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i> ..	118
Tabella 5.17 – Torrente Gadria presso Lasa: tabella riepilogativa per il calcolo dell' <i>IQM</i> ..	119
Tabella 6.1 – Tipi di monitoraggio ai fini della WFD e relative metodologie applicabili.	121
Tabella 6.2 – Aspetti morfologici ed elementi artificiali da monitorare.	123
Tabella 6.3 – Metodologie e scansione spaziale per il monitoraggio strumentale degli aspetti morfologici. G : di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).....	124
Tabella 6.4 – Elementi artificiali da monitorare divisi per categorie.	149

Premessa

Il presente Manuale comprende la definizione delle procedure e dei metodi per la valutazione ed il monitoraggio morfologico in conformità con quanto disposto dalla normativa nazionale e comunitaria ed in particolare con la Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (WFD). Tuttavia, la metodologia illustrata nel manuale si inserisce nel contesto più ampio del “sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d’acqua”, denominato **IDRAIM**.

IDRAIM 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 dalle *Direttive 2000/60/CE e 2007/60/CE*. Esso, tenendo conto in maniera integrata di obiettivi di qualità ambientale e di mitigazione dei rischi legati ai processi di dinamica fluviale, si pone quindi come sistema a supporto della gestione dei corsi d’acqua e dei processi geomorfologici.

Si premette che l’analisi morfologica qui trattata include solo quegli aspetti idrologici legati alle alterazioni delle portate che possono avere significativi effetti sui processi geomorfologici del corso d’acqua (portate di piena). Le variazioni complessive del regime idrologico sono analizzate separatamente e descritte in [ISPRA \(2009\)](#): l’integrazione dei due aspetti permette una completa caratterizzazione e classificazione idromorfologica di un corso d’acqua.

Il **gruppo di lavoro** comprende:

- Massimo RINALDI, *Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze, responsabile della ricerca*;
- Francesco COMITI, *Facoltà di Scienze e Tecnologie, Libera Università di Bolzano*;
- Nicola SURIAN, *Dipartimento di Geografia, Università di Padova*;
- Martina BUSSETTINI, *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma*.

*Costituisce parte integrante del Manuale la “**Guida Illustrata alle Risposte**” pubblicata in separato volume.*

Ringraziamenti

Hanno **collaborato** alla ricerca:

- Fase di definizione metodologica:
Luisa Pellegrini (Università di Pavia), Andrea Colombo, Federica Filippi e Tommaso Simonelli (Autorità di Bacino del Fiume Po);
- Gruppo di collaboratori ISPRA:
 - Giovanni Braca, Barbara Lastoria, Francesca Piva, Saverio Venturelli;
- Fase di test:
 - P. Aucelli, V. Benacchio, M. Ceddia, C. Cencetti, A. Colombo, S. De Gasperi, P. De Rosa, A. Dignani, G. Duci, F. Filippi, A. Fredduzzi, M. Micheli, E. Morri, O. Nesci, L. Pellegrini, C. Rosskopf, R. Santolini, V. Scorpio, T. Simonelli, D. Sogni, S. Teodori, V. Tiberi, F. Troiani, C. Zuri.
- Fase di review del testo conclusivo:
 - B. Lastoria, C. Zuri, B. Golfieri.
- Realizzazione della Guida Illustrata alle Risposte:
 - B. Lastoria, C. Zuri.

Un ringraziamento particolare va offerto a Barbara Lastoria, per la sistematizzazione del manuale, della guida illustrata e per l'implementazione delle schede *xls*.

CAPITOLO 1

INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

Negli ultimi anni, è diventata 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 ([NARDINI et al., 2008](#)).

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 morfologici più strettamente correlabili con lo stato di salute ecologico di un corso d'acqua, seppure numerose ricerche si siano dedicate recentemente a questo argomento (si veda ad es., [KAIL & HERING, 2009](#); [WYZGA et al., 2009](#); [GURNELL et al. 2009](#)). 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 ecosistema 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*”, al quale si rimanda per approfondimenti, 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 a titolo di 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](#)));
- *Physical S.E.Q.* ([AGENCES DE L'EAU, 1998](#));
- *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 pensi di applicarle 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 i seguenti:

- *HIDRI – Protocolo para la valoracion de la calidad hidromorfologica de los ríos*. Si tratta di una metodologia piuttosto articolata messa a punto dall’Agencia 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 (ad es., Indice di Connattività Fluviale, Indice di Habitat Fluviale, Qualità del Bosco Ripario, Indice di Vegetazione Fluviale, ecc.).
- *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 dei 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 nella Repubblica Slovacca da LEHOTSKÝ & GREŠKOVÁ dello Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) nel 2003. La metodologia si rifà prevalentemente a metodi quali il *River Habitat Survey* ([RAVEN et al., 1998](#)), il *Danish Stream Habitat Index* ([PEDERSEN & BAATTRUP-PEDERSEN, 2003](#)) e il *Large River Survey* in Germania ([FLEISCHHACKER & KERN, 2002](#)), 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 dei 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 ambito 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)* ([OLLERO et al., 2007](#)). La metodologia di valutazione è strutturata in tre aspetti: (1) qualità funzionale del sistema fluviale, che include (a) la naturalità del regime delle portate; (b) la disponibilità e mobilità di sedimenti; (c) la funzionalità della pianura inondabile; (2) qualità dell'alveo, che include (a) la naturalità della configurazione dell'alveo e della sua morfologia; (b) la continuità e naturalità del letto e dei processi di continuità longitudinale e verticale; (c) la naturalità delle sponde e la mobilità laterale; (3) qualità del corridoio ripariale, che include (a) la continuità longitudinale; (b) larghezza, struttura e naturalità; (c) 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) ([CHANDESSIS et al., 2008, 2009a, 2009b](#); [VALETTE et al., 2008](#)), 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: [SILIGARDI et al., 2007](#)), il quale tuttavia non nasce dall'esigenza

specifico 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*) ([CIRF, 2006](#); [NARDINI et al., 2008](#)) 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 ([NARDINI et al., 2008](#)) che necessita di essere sviluppata nei dettagli per gli aspetti idromorfologici come per altri aspetti.

Per completare il quadro dello stato dell'arte di partenza, è opportuno prendere in considerazione le metodologie esistenti in altri stati, non direttamente finalizzate all'applicazione della WFD, quanto piuttosto ad una valutazione ed analisi geomorfologica dei corsi d'acqua ai fini della gestione e riqualificazione. A tal fine è utile prendere in rassegna i tre approcci brevemente descritti di seguito.

1. *Fluvial Audit (UK)*. Vari geomorfologi inglesi (si veda in particolare [SEAR et al., 2003](#)) hanno sviluppato per l'UK Environment Agency ([EA, 1998](#)) una procedura strutturata che rappresenti una base per impostare uno studio di geomorfologia fluviale, finalizzato alla definizione di strategie di gestione del corso d'acqua e/o programmazione di interventi. Il *Fluvial Audit* è la procedura di raccolta e presentazione di dati geomorfologici, che mette in relazione le condizioni dei sedimenti nel tratto di studio con quelle prevalenti nel bacino. Esso presta particolare attenzione al trasferimento di sedimenti dalle aree sorgenti a quelle di immagazzinamento ed è fortemente finalizzato ad una comprensione dei processi geomorfologici e delle cause di instabilità ([SEAR et al., 1995, 2003](#)). Un approccio analogo è quello proposto per la gestione a scala regionale dei sedimenti in sistemi fluviali artificializzati e/o da riqualificare (*Regional Sediment Appraisal Methodology*: [THORNE & SKINNER, 2001](#)). Gli autori enfatizzano la necessità di un approccio a scala di bacino e ad una scala temporale sufficientemente ampia, attraverso l'uso integrato di risorse storiche (carte, foto aeree) e rilevamenti sul terreno. Per quanto riguarda questi ultimi, sempre nell'ambito della scuola di geomorfologi inglesi si può collocare la procedura di rilevamento geomorfologico sul terreno dei corsi d'acqua (*stream reconnaissance field survey*: [THORNE & EASTON, 1994](#); [DOWNS & THORNE, 1996](#); [THORNE, 1998](#)). Il rilevamento geomorfologico dei corsi d'acqua può essere definito come una sorta di protocollo di raccolta di informazioni morfologiche, in genere attraverso l'uso di schede da compilare durante il sopralluogo sul terreno, che riportino in maniera sistematica ed organizzata le osservazioni e le misure quantitative da effettuare.
2. *Natural Channel Design (USA)*. Si possono includere in questa voce la metodologia cosiddetta di "progettazione di alvei naturali" basata sulla classificazione morfologica di [ROSGEN \(1994\)](#), e varie altre procedure che si rifanno a tale approccio, quali ad esempio *RIVERMorph* o anche il *WARSSS* (*Watershed Assessment of River Stability & Sediment Supply*) sviluppato dall'USEPA. Si tratta di procedure soprattutto finalizzate ad effettuare analisi e

calcoli per progetti di riqualificazione fluviale, ma che fanno ampio ricorso a concetti e metodi di geomorfologia fluviale. In particolare, si prevede una prima fase di analisi geomorfologica del sistema fluviale, organizzata in quattro livelli di valutazione e classificazione, che quindi potenzialmente potrebbe avere applicazioni per una classificazione dello stato idromorfologico di corsi d'acqua. Seppure sia ampiamente riconosciuta la validità della classificazione morfologica proposta ([ROSGEN, 1994](#)), esiste invece un'estesa controversia da parte della comunità scientifica americana relativamente all'impiego della metodologia derivata da tale classificazione per la riqualificazione fluviale (si veda ad esempio [KONDOLF, 1995](#); [SIMON et al., 2007](#)). La critica principale che viene mossa è che si tratta di un approccio basato sulla descrizione delle forme piuttosto che sulla comprensione dei processi (*form-based vs process-based approach*), vale a dire che si tratta di una procedura che non fa uso di un reale approccio geomorfologico che parta dalla comprensione dei processi, delle variazioni passate e delle cause.

3. *River Styles Framework (Australia)*. Si tratta di una procedura metodologica organica di analisi geomorfologica di un sistema fluviale sviluppata recentemente da [BRIERLEY & FRYIRS \(2005\)](#). Presenta una struttura gerarchica (*hierarchical nested approach*) che fa riferimento a cinque scale spaziali (si veda anche paragrafo [2.2](#)), per ognuna delle quali vengono intrapresi vari tipi di analisi. È organizzata in quattro stadi, ognuno dei quali a sua volta suddiviso in una serie di fasi: (1) rilevamento a scala di bacino del carattere e del comportamento del fiume; (2) analisi dell'evoluzione e delle condizioni geomorfologiche del fiume; (3) previsione della traiettoria di variazioni future e del potenziale di recupero geomorfologico; (4) applicazioni ed implicazioni per la gestione del fiume: costruzione di una visione a scala di bacino, identificazione delle condizioni desiderate ed individuazione delle priorità di gestione. Come si può intuire dalla definizione delle fasi (per i dettagli si rimanda a [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)), si tratta di un approccio pienamente basato sulla comprensione dei processi di aggiustamento morfologico, delle cause, delle variazioni passate e delle tendenze evolutive attuali e future, quindi coerente con le esigenze sottolineate in precedenza. Tuttavia va sottolineato che si tratta di una procedura di analisi geomorfologica di estremo dettaglio focalizzata su un singolo sistema fluviale. Essa richiede cioè un grado di approfondimento per ogni singola fase che è appropriato per uno studio specifico alla scala di un bacino e di un singolo fiume, finalizzato ad esempio alla definizione di strategie di gestione dei processi fisici e/o misure di recupero morfologico, mentre presenterebbe indubbiamente notevoli difficoltà di applicazione qualora si volesse adottare come sistema di classificazione e di valutazione a scala regionale.

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.

- 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. Un significativo miglioramento nella comprensione della dinamica degli alvei e delle loro modificazioni morfologiche degli ultimi decenni è derivato da due progetti di rilevanza nazionale (PRIN 2005 “Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali in Italia centro-settentrionale: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative” e PRIN 2007 “Tendenza evolutiva attuale e possibile dinamica futura degli alvei fluviali in Italia centro-settentrionale”, in corso) e dalle numerose pubblicazioni che ne sono derivate. Nell’ambito di tali progetti sono state perfezionate le procedure di analisi delle variazioni morfologiche di alvei fluviali ([SURIAN et al., 2009d](#)) e si stanno sviluppando modelli concettuali di evoluzione di più ampia applicabilità a scala nazionale. È stata proposta una procedura di rilevamento geomorfologico sul terreno ([RINALDI, 2008](#)). Esistono inoltre recenti lavori che mettono in evidenza l’impiego di procedure di valutazione geomorfologica a scala di bacino come base scientifica per definire strategie di gestione dei sedimenti (esperienze condotte sul Fiume Magra: [RINALDI & SIMONCINI, 2006](#); [RINALDI et al., 2008, 2009](#)).

CAPITOLO 2

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](#)).

2.1 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 il ben noto 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. 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 2.1](#)). 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 2.2](#)).

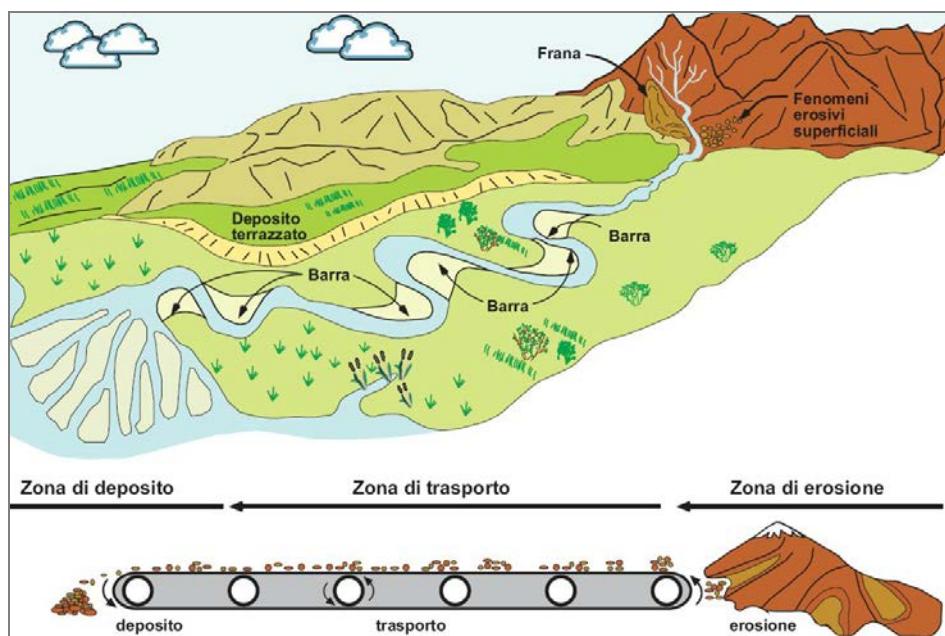


Figura 2.1 – Il corso d’acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti.
(da [AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008](#), modificato da [KONDOLF, 1994](#)).

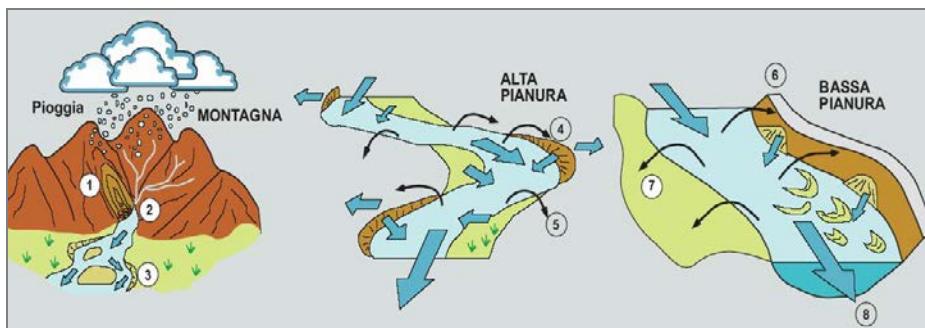


Figura 2.2 – Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico. (Da [AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008](#), modificato da [SEAR et al., 2003](#)). Zona montana di produzione di sedimenti: (1) frane; (2) alimentazione ed eventuale sbarramento da parte dei sedimenti in alveo; (3) sedimentazione in alveo ed erosione delle sponde. Zona di trasferimento di sedimenti (alta pianura): (4) erosione delle sponde ed accrescione 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 2.3](#)): (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. 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 scalando 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 (è difficile fornire dei limiti assoluti, ma nella maggior parte dei casi nelle regioni boscate il limite superiore di larghezza di questa classe intermedia può collocarsi tra 20 e 30 m); (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 (in molti ambienti il passaggio ad alvei di grandi dimensioni avviene per larghezze al di sopra di 20÷30 m e portate formative a partire da circa 20÷50 m³/s).

Tabella 2.1 – Schema delle relazioni tra zone del bacino, dimensioni e grado di confinamento degli alvei fluviali.

ZONE			DIMENSIONI	CONFINAMENTO		
Produzione	Trasferimento	Accumulo	Alvei di piccole dimensioni (<i>small channels</i>)	Confinati	Semiconfinati	Non confinati
			Alvei di dimensioni intermedie (<i>intermediate channels</i>)			
			Alvei di grandi dimensioni (<i>large channels</i>)			

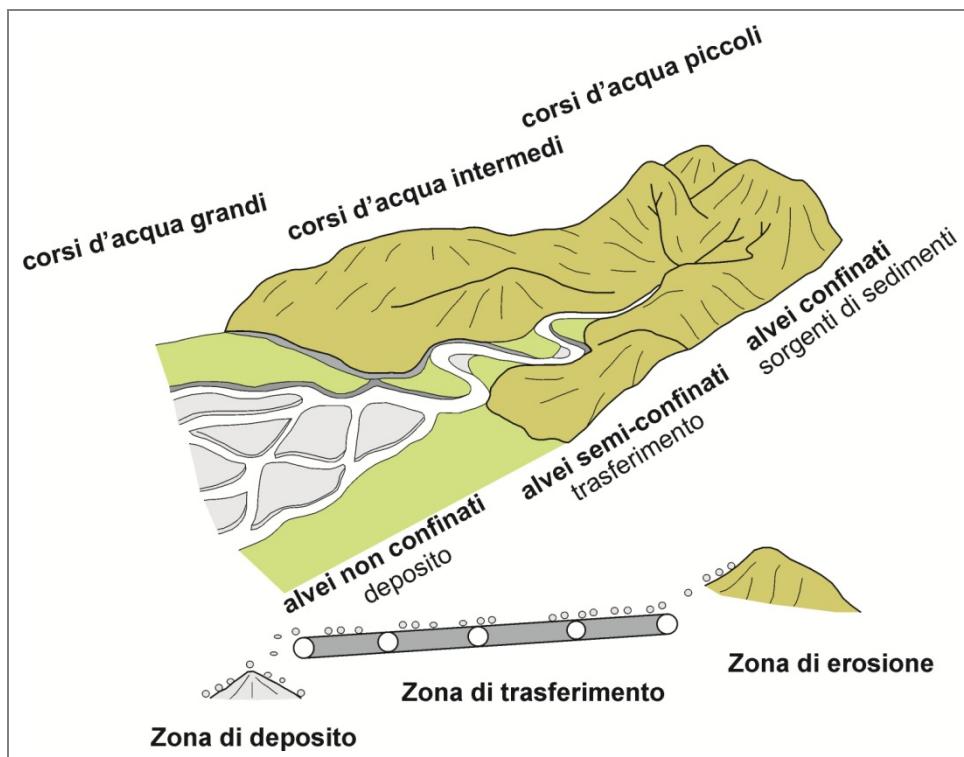


Figura 2.3 – Grado di confinamento e dimensioni dei corsi d'acqua nelle diverse zone del bacino.
(Modificato da [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#) e da [CHURCH, 1992](#)).

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 (si veda ad esempio il *River Continuum Concept*, il *Flood Pulse Concept*, ecc.) 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.

2.2 Le scale spaziali

La scelta delle scale spaziali e temporali di analisi dipende dagli aspetti che si intendono studiare. In molti casi è utile applicare un approccio gerarchico, organizzato in modo tale che ogni unità spaziale dell'ordine inferiore sia contenuta in quella di ordine superiore (*nested hierarchical approach*). In campo ecologico, un classico schema di organizzazione gerarchica di un sistema fluviale è quello proposto da [FRISSEL et al. \(1996\)](#), il quale mette in evidenza la suddivisione in sub-sistemi di habitat a scale diverse.

In campo più prettamente geomorfologico una suddivisione delle unità spaziali che segue questo approccio è quella adottata da [BRIERLEY & FRYIRS \(2005\)](#), nell'ambito della metodologia denominata *River Styles Framework*, descritta brevemente di seguito ([Figura 2.4](#)).

Il *bacino idrografico*, ed il sistema fluviale o reticolo idrografico su di esso impostato, rappresenta un'unità spaziale ben definita e costituisce il punto di partenza di qualunque analisi delle caratteristiche morfologiche e dell'evoluzione dei corsi d'acqua in esso presenti. La scala del bacino idrografico va considerata relativamente a due aspetti cruciali: (a) condizioni al contorno imposte (*imposed boundary conditions*): sono rappresentate dall'energia del rilievo, le pendenze, la topografia e la morfologia delle valli, ecc.; (b) condizioni al contorno di flusso liquido e solido (*flux boundary conditions*), vale a dire le cosiddette variabili guida del sistema (portate liquide e solide), in quanto è alla scala di bacino che avvengono i processi che le generano e che ne caratterizzano il regime. All'interno di uno stesso bacino idrografico, è utile spesso operare una ulteriore suddivisione in *sottobacini* i quali possono avere caratteristiche fisiche differenti. Per tale motivo, l'interpretazione dei condizionamenti sulle caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua in alcuni casi può essere meglio inquadrata alla scala dei sottobacini.

All'interno del bacino o di ogni singolo sottobacino, è possibile individuare diverse *unità fisiografiche* (*landscape units*) sulla base della variabilità del rilievo (in termini di energia del rilievo, quote, pendenze, geologia, morfologia della valle, ecc.).

Ad un livello di dettaglio superiore, si passa alla scala spaziale dei *tratti* (*reaches*), i quali presentano condizioni al contorno, portate liquide e solide sufficientemente uniformi in modo tale da determinare una certa omogeneità in termini di caratteri morfologici e di comportamento. Un aspetto critico nell'identificazione dei tratti può essere rappresentato dalla determinazione degli attributi che devono essere usati per classificare il corso d'acqua. I tratti devono riflettere variazioni ben identificabili del carattere e del comportamento del corso d'acqua (ad esempio grado di confinamento, dimensioni, morfologia del corso d'acqua).

All'interno di ogni tratto, si possono selezionare dei sottotratti o siti, definiti dagli autori come *unità geomorfologiche* (*geomorphic unit*), che siano rappresentativi dell'assemblaggio tipico di forme, dei loro rapporti altimetrici reciproci e quindi della forma della sezione. Tali forme sono a loro volta il risultato sia delle caratteristiche morfologiche del tratto che dei processi di aggiustamento morfologico avvenuti nel recente passato (incisione, sedimentazione, ecc.).

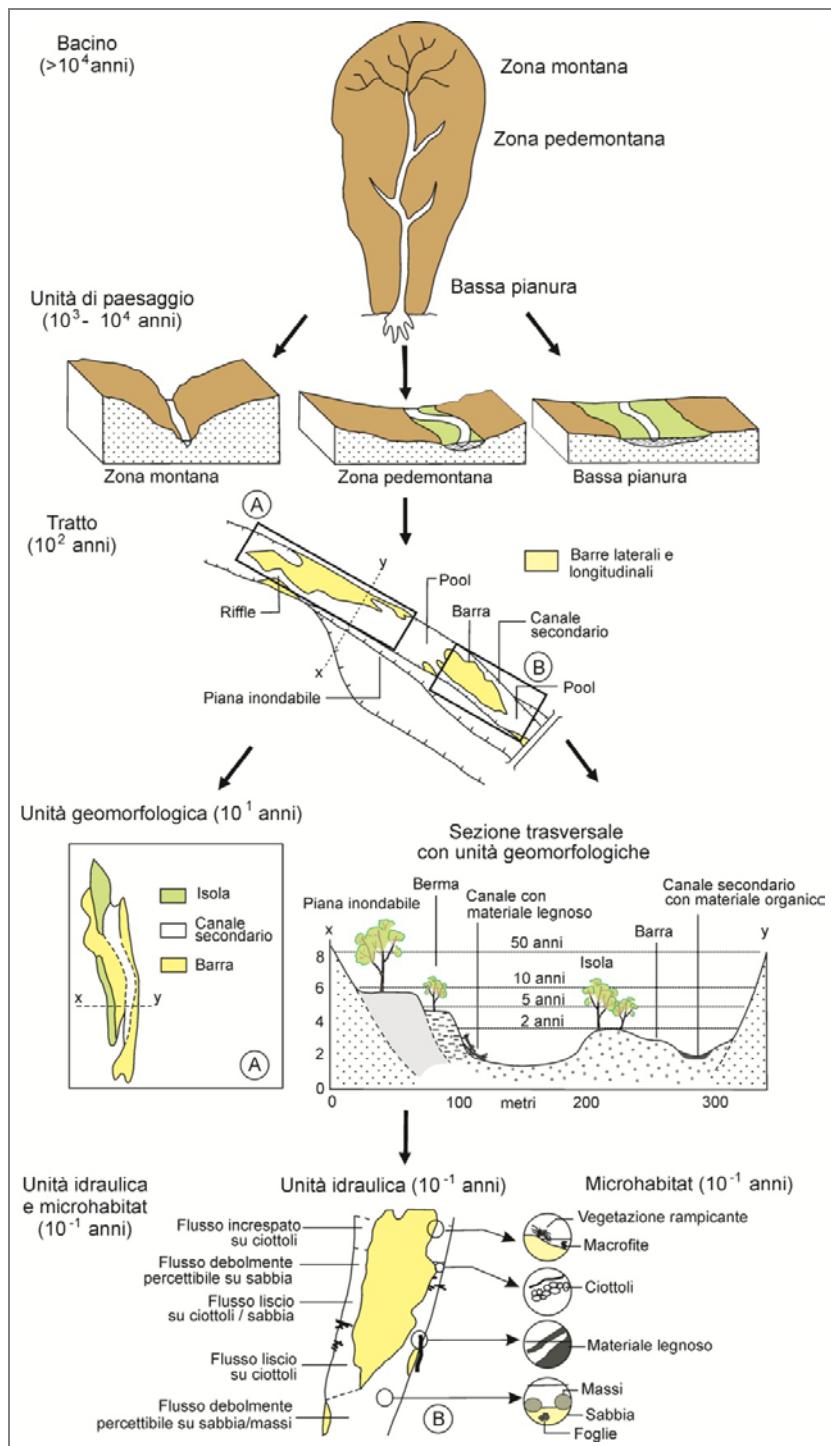


Figura 2.4 – Schema dell'approccio gerarchico.
(*Hierarchical nested approach*) utilizzato nell'ambito del *River Styles Framework* (da [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)).

Ad una scala spaziale di ulteriore dettaglio, si possono definire le *unità idrauliche* (*hydraulic units*), le quali permettono di descrivere principalmente i microhabitat, la struttura e la tessitura del substrato, i *pattern* idrodinamici determinati dalle condizioni di flusso e di resistenza al moto locali, nonché gli elementi vegetazionali presenti in alveo.

2.3 Gli alvei delle zone collinari e montane

Gli alvei della zona medio-alta del bacino idrografico sono di dimensioni da piccole ad intermedie, generalmente presentano pendenze relativamente elevate ed alto grado di confinamento, seppure localmente possono esistere condizioni di confinamento parziale o anche nullo. Tali corsi d'acqua sono comunemente definiti *torrenti montani* o talora *alvei confinati*. Essi si differenziano dai corsi d'acqua di pianura per alcune caratteristiche distintive quali: (a) pendenze del fondo elevate; (b) elevata resistenza al moto determinata dalla presenza di sedimenti grossolani; (c) regime delle portate con forte stagionalità; (d) morfologia dell'alveo con forte variabilità spaziale, a causa del forte controllo da parte di versanti, conoidi e substrato roccioso, e bassa variabilità temporale, in quanto solo eventi di una certa intensità sono in grado di modificare il fondo.

La morfologia di tali corsi d'acqua è condizionata dalla forte interconnessione tra processi fluviali e di versante. Questi ultimi in genere ne limitano la mobilità trasversale, di conseguenza le forme fluviali sono meno sviluppate planimetricamente rispetto ai fiumi di pianura.

Ai lati dell'alveo attivo può essere presente in alcuni casi una piana inondabile di limitata larghezza o, in altri casi, superfici discontinue di larghezza ancora più esigua di transizione tra barre attive e pianura (definite da alcuni autori *channel shelf* o *bench*: [HUPP & OSTERKAMP, 1996](#)).

I corsi d'acqua montano-collinari possono presentare un *alveo in roccia* (*alvei a fondo fisso*), pressoché privo di sedimenti a causa delle elevate energie della corrente in grado di smaltire tutto il materiale proveniente dai versanti. Più spesso, tali corsi d'acqua presentano invece un *alveo a fondo mobile*, cioè hanno un letto con sedimento continuo seppure le sponde possano essere in roccia. In questi casi, la configurazione del fondo può assumere varie morfologie che si differenziano soprattutto in base alla pendenza del fondo ed alle dimensioni dei sedimenti. Una prima classificazione delle morfologie di torrenti montani fu proposta da [GRANT et al. \(1990\)](#), ma successivamente la classificazione di [MONTGOMERY & BUFFINGTON \(1997\)](#) ha avuto più larga diffusione ([Figura 2.5](#)). Secondo tale classificazione vengono distinte le seguenti cinque tipologie: (1) *cascade*; (2) a gradinata (*step-pool*); (3) letto piano (*plane bed*); (4) *pool-riffle*; (5) *dune-ripple*. Tali morfologie riflettono diverse condizioni del rapporto tra capacità di trasporto della corrente ed alimentazione di sedimenti ([Figura 2.6](#)), con le prime tipologie (*cascade* e *step-pool*) associabili a condizioni di eccesso di capacità di trasporto (*supply limited*), mentre le ultime (*pool-riffle* e *dune-ripple*) a condizioni di deficit di capacità di trasporto (*transport limited*).

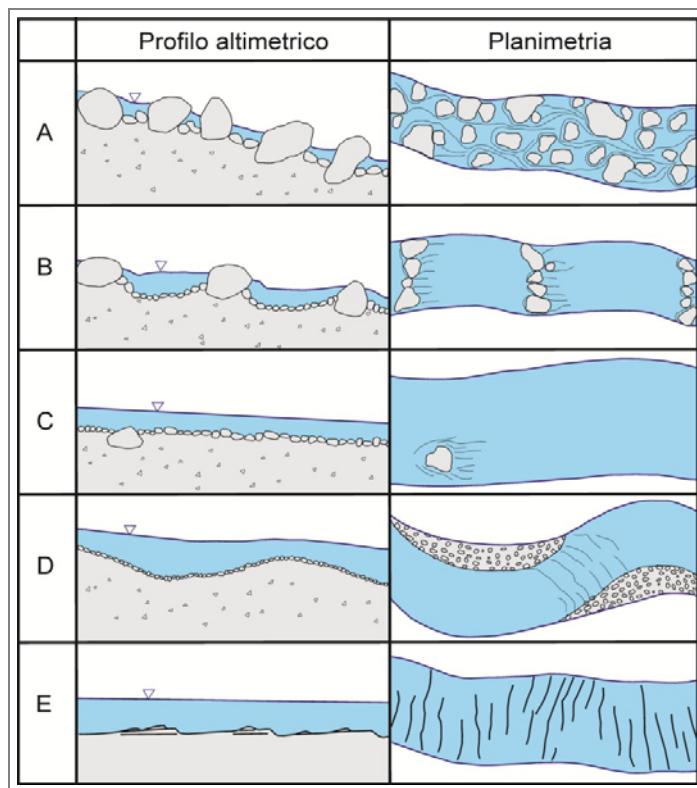


Figura 2.5 – Classificazione dei corsi d'acqua montani secondo [MONTGOMERY & BUFFINGTON \(1997\)](#).
 (A) Cascade; (B) a gradinata (step-pool); (C) letto piano (plane bed); (D) riffle-pool; (E) dune-ripple.

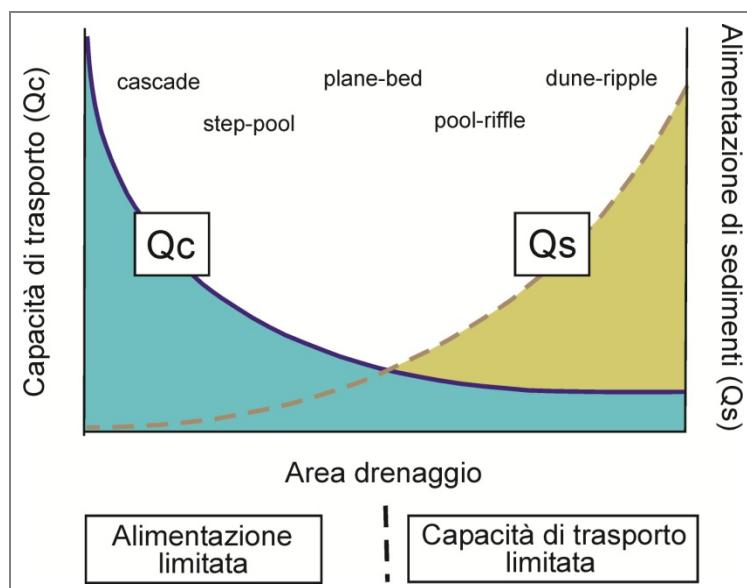


Figura 2.6 – Morfologie dei corsi d'acqua montani in relazione alle condizioni di capacità di trasporto (*transport capacity*) e di alimentazione di sedimenti (*sediment supply*).
 (Da [MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997](#))

Agli alvei in roccia ed alle cinque tipologie di alvei a fondo mobile prima definite, si possono aggiungere le due seguenti: (a) *tratti colluviali*, che possono riscontrarsi nelle zone di testata del reticolo idrografico dove le aste di primo ordine possono essere incise in materiale colluviale trasportato quindi da fenomeni gravitativi; (b) *morfologie imposte*, determinate dalla presenza di ostruzioni da parte di materiale legnoso che impongono la formazione di una determinata configurazione del fondo in

condizioni di pendenza e di portate solide diverse da quelle che normalmente determinerebbero quella stessa tipologia.

2.4 Gli alvei alluvionali di pianura

Nella parte medio-bassa del bacino, i corsi d'acqua sono prevalentemente di tipo non confinato o semiconfinato (eccetto eventuali tratti di attraversamento di soglie rocciose intermedie), di dimensioni da intermedie a grandi, e sviluppano un *alveo alluvionale* (*a fondo mobile*), cioè modellato all'interno di sedimenti alluvionali (in precedenza da esso stesso trasportati e depositati). Una caratteristica fondamentale di un alveo alluvionale mobile è quella di essere libero di auto-modellarsi, cioè di “scegliere la propria forma” sia in senso altimetrico che planimetrico, a differenza degli alvei confinati (talvolta definiti semi-alluvionali). La configurazione piano-altimetrica dell’alveo è il risultato dell’interazione tra processi responsabili della sua formazione (variabili guida del sistema, ovvero portate liquide e solide) e condizioni al contorno (forma del fondovalle, sedimenti che lo compongono, presenza o meno di vegetazione) ([Figura 2.7](#)).

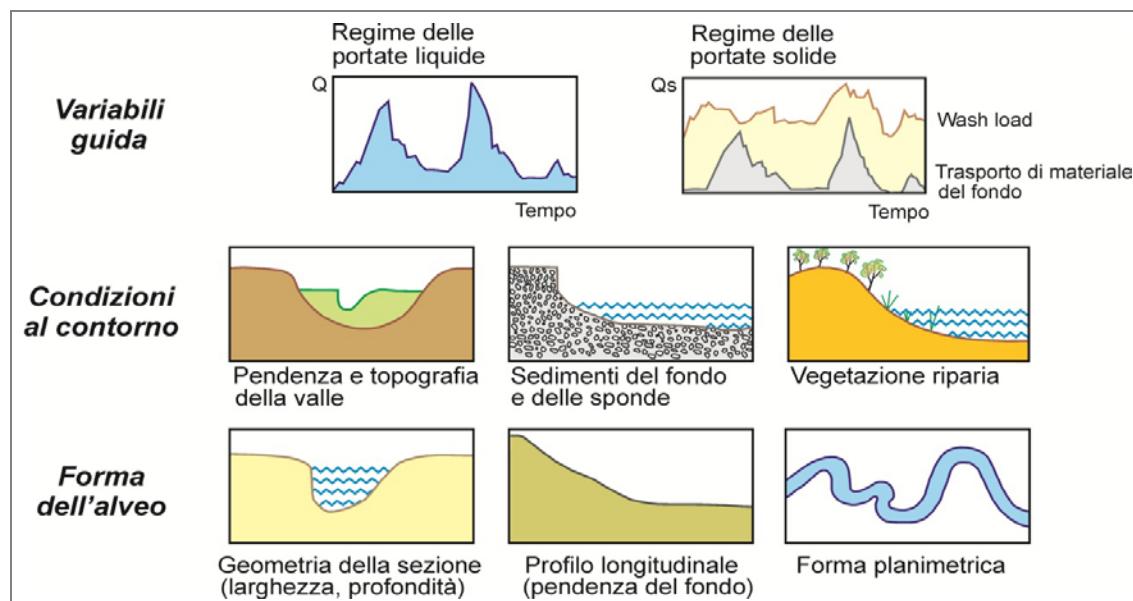


Figura 2.7 – La forma di un alveo alluvionale come risultato dell’interazione tra variabili guida e condizioni al contorno.

(Da [THORNE, 1997](#)).

La forma planimetrica del corso d'acqua è determinata da una combinazione di forme che si assestano e si succedono sia in senso laterale che longitudinale. Il corso d'acqua può essere caratterizzato dalla presenza di un canale unico (*alveo a canale singolo* o *monocursale*) o di più canali (*alveo a canali multipli* o *pluricursale*). Possono essere inoltre presenti *canali secondari* ai margini dell’alveo, all'interno della piana inondabile o sul lato interno di una barra (*canali di taglio*). Le superfici deposizionali tipiche di alvei a fondo mobile che ne caratterizzano fortemente la morfologia sono le *barre* ([Figura 2.8](#)), costituite da sedimenti analoghi a quelli presenti sul fondo, ma emersi per gran parte dell'anno. Si tratta di forme estremamente dinamiche in occasione degli eventi di piena tali da determinare un trasporto solido al fondo. Le *isole* sono invece superfici più stabili, emergenti anche in condizioni di portate formative (portate a piene rive o di *bankfull*) che presentano vegetazione pluriennale arborea ed arbustiva ([THORNE, 1997](#); [GURNELL et al., 2005](#)). Si tratta cioè

di superfici con caratteristiche morfologiche tessiturali e vegetazionali identiche a quelle della piana inondabile (si veda più avanti) solo che, a differenza di quest'ultima, sono delimitate su entrambi i lati da porzioni di alveo (un canale principale o secondario).

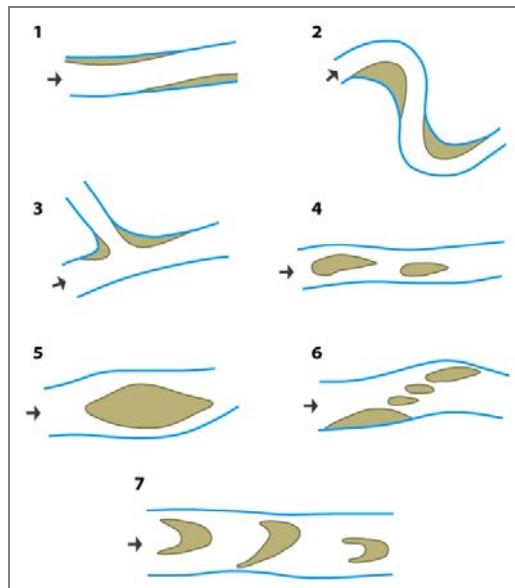


Figura 2.8 – Classificazione dei principali tipi di barre.

(Da [KELLERHALS et al., 1976](#)). 1. Barre laterali; 2. Barre di meandro; 3. Barre di confluenza; 4. Barre longitudinali; 5. Barre a losanga; 6. Barre diagonali; 7. Barre linguoidi o dune.

In prossimità dell'alveo (ovvero l'insieme dei canali e delle barre) è normalmente presente una *piana inondabile* (*floodplain*), definibile come una superficie pianeggiante adiacente al corso d'acqua e costruita da sedimenti trasportati nelle attuali condizioni di regime ([LEOPOLD et al., 1964](#)). Tale superficie è geneticamente legata principalmente alle variazioni laterali del corso d'acqua, in particolare all'accrescimento delle barre di meandro (almeno in fiumi a canale singolo sinuoso-meandriformi). In un corso d'acqua naturale ed in condizioni di equilibrio dinamico, la piana inondabile è normalmente soggetta ad essere inondata per portate con tempi di ritorno dell'ordine di 1÷3 anni. Il *terrazzo* rappresenta invece una piana inondabile formatasi in condizioni diverse dalle attuali, abbandonata per processi di abbassamento del fondo, che si trova quindi in posizione più elevata rispetto alla piana inondabile attuale e può essere raggiungibile da piene per portate con tempi di ritorno superiori ai 3 anni ([HUPP & OSTERKAMP, 1996](#)). Seppure in letteratura il terrazzo è spesso inteso come una superficie non più soggetta ad eventi alluvionali (a differenza della piana inondabile che è una superficie soggetta ad inondazioni indipendentemente dalla loro frequenza), si preferisce qui far riferimento alla terminologia frequentemente utilizzata nella moderna Geomorfologia Fluviale, dando ai due termini un significato genetico legato al grado di attività (superficie formatasi o meno nelle attuali condizioni). Tuttavia, sono numerosi gli autori che intendono come piana inondabile una superficie soggetta ad inondazioni per tempi di ritorno anche molto superiori (ad esempio “*piana inondabile per T=100 anni*”, che secondo una classificazione genetica sarebbe da intendere come terrazzo).

Muovendosi in senso longitudinale (verso valle), il corso d'acqua può inoltre dare luogo ad altre forme piano-altimetriche che esibiscono una loro caratteristica periodicità e che si diversificano a seconda della morfologia complessiva dell'alveo: (a) in alvei a canale singolo sinuosi, si può osservare una tipica alternanza di *riffles* e

pools e talora di barre alternate; (b) la presenza di meandri, cioè di curve che si susseguono più o meno regolarmente, determina il passaggio a fiumi meandriformi; (c) l'alternanza di nodi (punti di restringimento) e biforcazioni o isole è invece una caratteristica periodicità degli alvei a canali intrecciati ([THORNE, 1997](#)).

La definizione della morfologia fluviale in alvei alluvionali a fondo mobile si basa principalmente sul modo in cui le diverse forme fluviali si assemmblano tra di loro e determinano un caratteristico pattern complessivo. A partire dalla prima classificazione di [LEOPOLD & WOLMAN \(1957\)](#), i quali hanno distinto alvei *rettilinei* (*straight*), *meandriformi* (*meandering*) ed *a canali intrecciati* (*braided*), altre numerose classificazioni si sono succedute nel tempo, privilegiando la forma planimetrica ed i parametri che la caratterizzano come criteri principali di classificazione (per una dettagliata revisione dell'argomento si rimanda a [THORNE, 1997](#)). Ad esempio la classificazione di [BRICE \(1975\)](#) pone l'accento sulla distinzione delle diverse morfologie in base ai gradi (o indici) di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione, introducendo quindi nuovi termini, quali quello di *anastomizzati* (*anastomosing*) per definire alvei pluricursali con i singoli canali ad alto grado di sinuosità e separati tra loro da superfici vegetate con una certa stabilità (isole) (si veda anche la classificazione di [RUST, 1978](#)). La classificazione di [SCHUMM \(1977\)](#), pur riprendendo le principali tipologie già definite da [LEOPOLD & WOLMAN \(1957\)](#), è particolarmente significativa nel mettere in risalto il controllo esercitato sulle forme dal trasporto solido, che rappresenta il principale processo responsabile della morfologia fluviale ([Figura 2.10](#)).

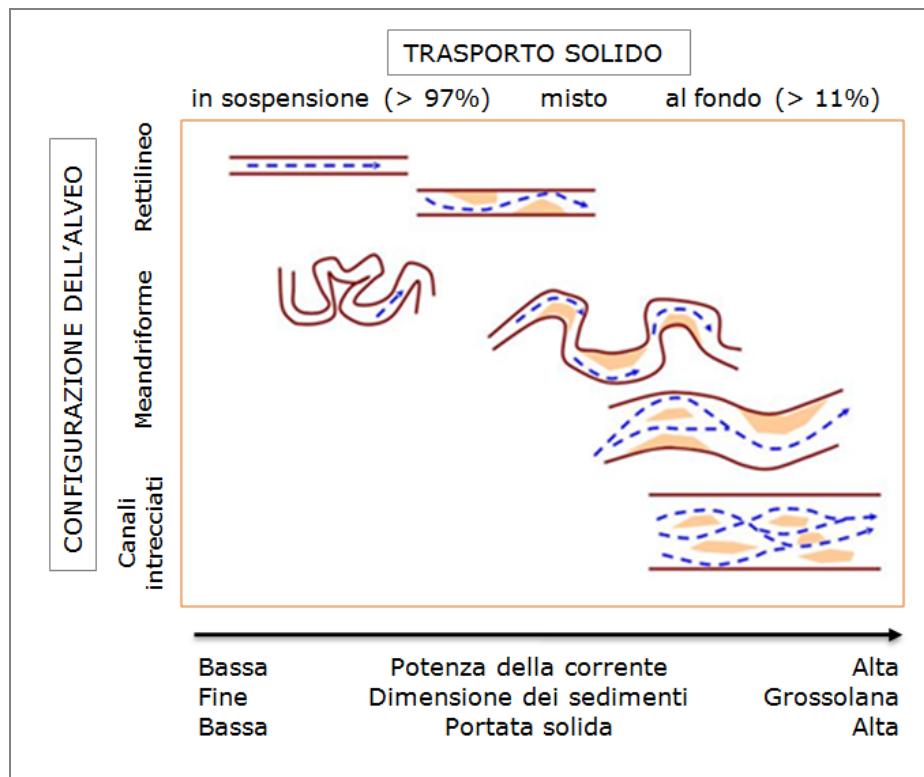


Figura 2.9 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo [SCHUMM \(1977\)](#).

Altri schemi di classificazione ([MOLLARD, 1973](#); [BRICE & BLODGETT, 1978](#)) mettono in risalto come non esistano limiti drastici tra le varie morfologie, quanto piuttosto un *continuum* di forme. Le relazioni tra morfologie fluviali e trasporto solido sono riprese ed approfondite dallo stesso [SCHUMM \(1985\)](#), che ripropone uno schema

più articolato rispetto al precedente dello stesso autore, ed in maniera simile da [CHURCH \(1992\)](#) (*Figura 2.10*). Quest'ultimo autore è uno dei primi ad introdurre il termine di *wandering* per indicare morfologie di transizione tra alvei meandriformi ed anastomizzati. Il termine è stato successivamente esteso per indicare forme transizionali in senso lato, ma preferibilmente tra meandriformi e canali intrecciati. Il sistema di [ROSGEN \(1994\)](#) rappresenta probabilmente la classificazione morfologica più completa di corsi d'acqua naturali (*Figura 2.11*), che si discosta in parte dai precedenti criteri basati quasi esclusivamente sulla forma planimetrica. Tale classificazione si basa infatti su una serie di parametri chiave quali pendenza, confinamento, rapporto larghezza / profondità della sezione, sinuosità e dimensioni granulometriche, ed include anche gli alvei confinati (torrenti montani) che normalmente vengono classificati con criteri differenti (come descritto precedentemente).

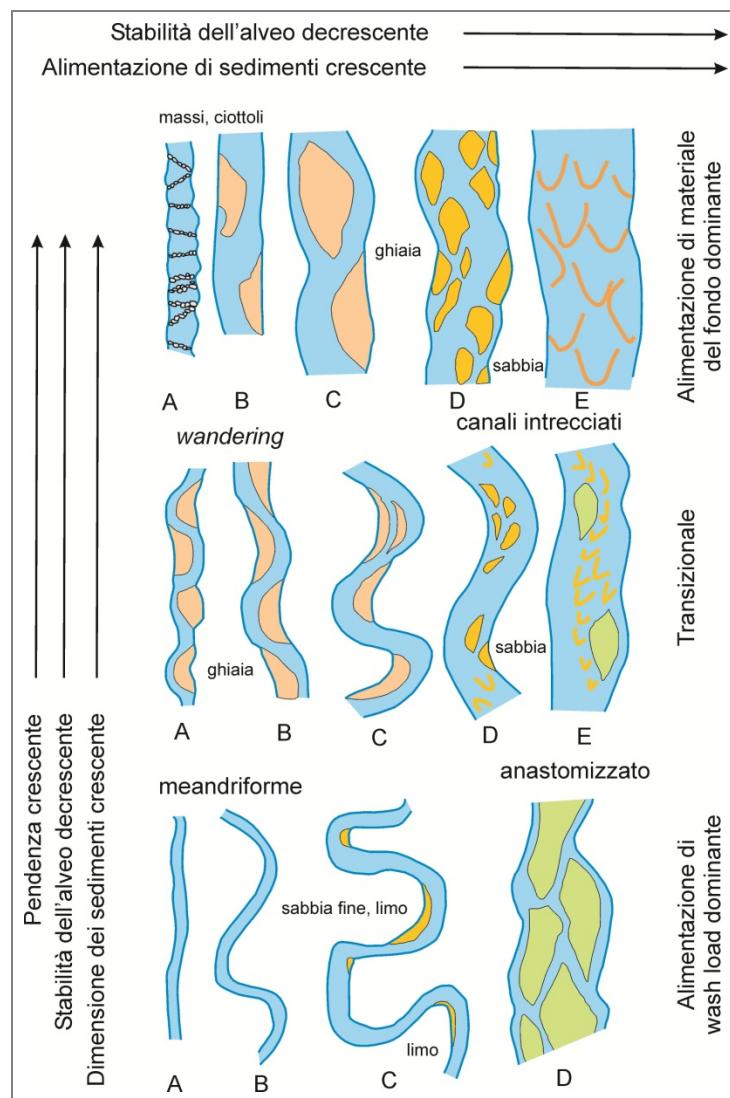


Figura 2.10 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo [CHURCH \(1992\)](#).

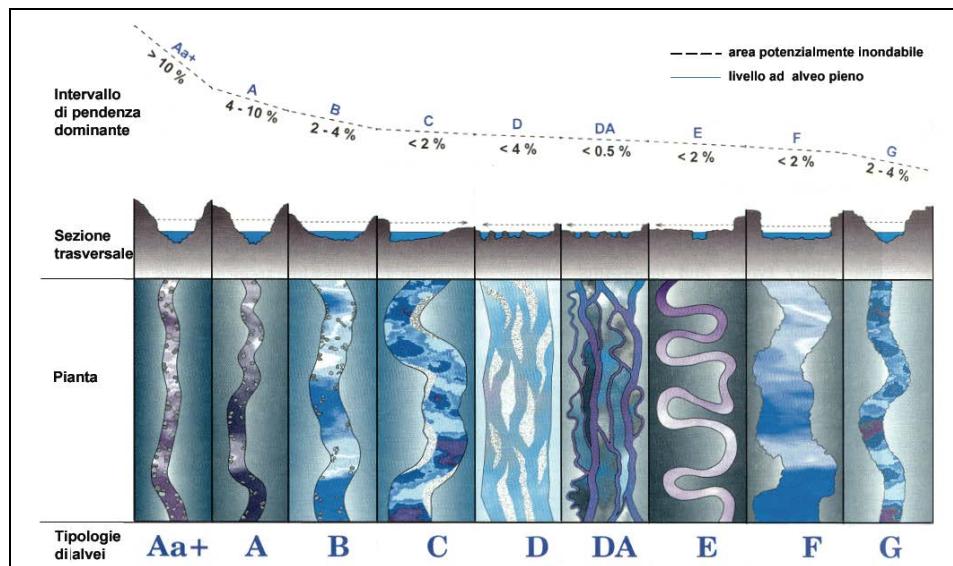


Figura 2.11 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo [ROSGEN \(1994\)](#).

2.5 Trasporto solido e sedimenti del fondo

Il trasporto solido di un corso d'acqua naturale può essere suddiviso nei seguenti tipi:

- *Trasporto solido al fondo*: è costituito dai sedimenti che si muovono sul fondo o a bassa distanza da questo, come elementi singoli o come movimento generalizzato di tutti i granuli di ogni dimensione. Seppure quasi sempre quantitativamente inferiore rispetto a quello in sospensione, rappresenta una frazione molto importante del trasporto totale perché direttamente connessa alle modificazioni morfologiche dell'alveo.
- *Trasporto solido in sospensione*: le particelle vengono sollevate dal fondo e vengono tenute in sospensione dalla turbolenza della corrente, percorrendo tratti più o meno lunghi prima di ritornare al fondo. Per la maggior parte dei fiumi costituisce la frazione più importante del trasporto solido totale. Questo tipo di trasporto solido è a sua volta suddivisibile in due classi ([Figura 2.12](#)): il *wash load* (trasporto per dilavamento) ed il trasporto in sospensione in senso stretto. Il primo rappresenta la porzione più fine del trasporto in sospensione (diametro inferiore a 0.064 mm, cioè a partire dal limo), che ha origine dai versanti durante un periodo piovoso e si muove direttamente fino alle zone di sedimentazione (quali laghi, zone palustri o mare), senza entrare a far parte del materiale del letto. Il *trasporto in sospensione s.s.* al contrario può essere sedimentato nell'alveo stesso in zone o in periodi di minore capacità di trasporto della corrente.
- *Trasporto solido in soluzione*: si tratta del trasporto di sostanze disciolte nell'acqua del fiume derivanti da processi di dissoluzione delle rocce affioranti nel bacino. Può avere qualche importanza in corsi d'acqua che drenano rocce solubili ma difficilmente rappresenta una frazione significativa del trasporto solido totale.
- *Trasporto solido per flottazione* (o *fluitazione*): è costituito prevalentemente da materiali legnosi (tronchi, rami) galleggianti. In particolari regioni, può comprendere anche blocchi e frammenti di ghiaccio.

- *Colate detritiche e di fango (debris flow e mud flow):* si tratta del movimento di una massa di detriti o di fango che, completamente imbevuta di acqua, si muove comportandosi essa stessa come un fluido avente una complessa reologia di tipo non-newtoniano. Si tratta quindi di processi intermedi tra trasporto solido e movimenti di massa, i quali avvengono generalmente lungo i tratti colluviali del reticolo idrografico.

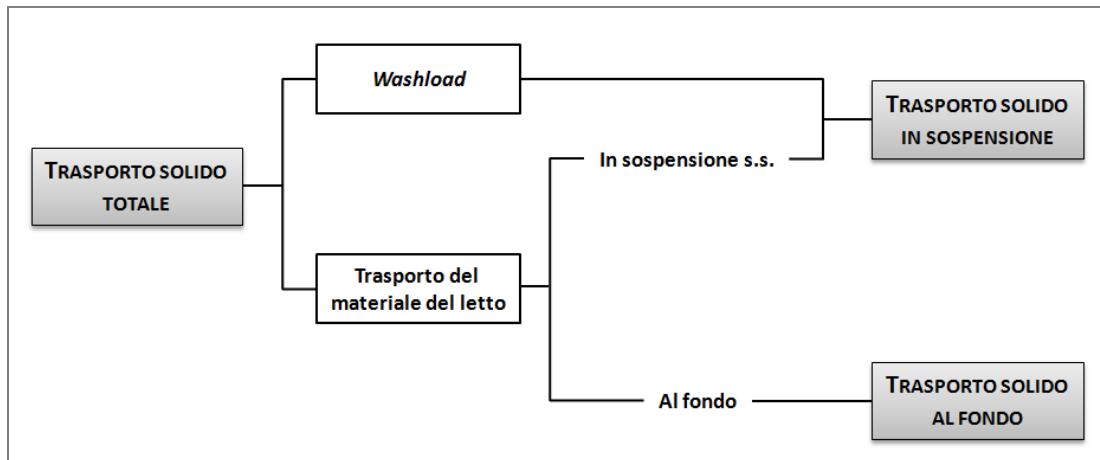


Figura 2.12 – Tipologie di trasporto solido.

Lo studio dei caratteri sedimentari di un alveo fluviale, ed in particolare delle granulometrie presenti sul fondo, riveste una particolare importanza perché fornisce indicazioni sul tipo e sulle dimensioni del materiale coinvolto nel trasporto solido. Le caratteristiche granulometriche dei sedimenti del letto variano anche notevolmente in senso longitudinale e trasversale, sia procedendo da monte verso valle (per i processi di abrasione e di azione selettiva della corrente ed in rapporto agli apporti laterali degli affluenti), che in relazione alle diverse unità morfologiche che compongono l'alveo (canale, barra, *riffle*, *pool*, ecc.). In molti alvei fluviali il cui fondo è costituito da sedimenti eterogenei sufficientemente grossolani (ghiaia, ciottoli), esiste inoltre una differenziazione granulometrica anche in senso verticale dal momento che tende a svilupparsi un livello superficiale di dimensioni granulometriche superiori rispetto al livello sottostante. Tale caratteristica del fondo prende il nome di *corazzamento*: si distinguono uno *strato superficiale corazzato* (*armour*) ed un *sottostrato* (*subarmour*).

Il corazzamento è stato attribuito, almeno originariamente, ad un tipico processo di azione selettiva della corrente (*sorting*), nel senso che le particelle più fini nello strato superficiale a diretto contatto con l'azione della corrente sono rimosse più facilmente rispetto a quelle del sottostrato, lasciando un deposito residuale di materiale più grossolano (*lag deposit*). Tale situazione è quella che si verifica tipicamente nel caso in cui si ha un deficit di alimentazione di sedimenti da monte (*supply limited transport*), come ad esempio a valle di una diga. Per indicare tali situazioni si utilizza anche il termine di *corazzamento statico* (*static armour*), cioè di un livello corazzato che viene rimobilizzato solo durante piene di una certa entità. Successivamente, vari studi hanno indotto a ritenere che lo strato superficiale corazzato rifletterebbe una condizione di uguale mobilità del fondo, cioè tutte le dimensioni della distribuzione del materiale del fondo comincerebbero a muoversi in corrispondenza di un campo di condizioni della corrente relativamente ristretto (*equal mobility*: [PARKER et al., 1982](#); [ANDREWS, 1983](#); [WILCOCK & SOUTHDARD, 1988](#)). Il fenomeno del corazzamento si spiegherebbe in tal caso in quanto occorrerebbe in

condizioni di trasporto solido poco intenso, ma non nullo, durante le quali i granuli più grossolani si concentrano in superficie mentre i più fini vanno ad occupare gli spazi compresi tra i più grandi e vengono da questi protetti ([ANDREWS & PARKER, 1987](#)). Sulla base di questa spiegazione del corazzamento, sono stati introdotti altri termini quale quello di *corazzamento mobile* o *debole* (*mobile armour* o *weak armour*), per indicare un livello corazzato che si mette in movimento anche per piene frequenti e che è il risultato stesso della mobilità del fondo.

Recenti studi riguardanti corsi d'acqua ghiaiosi effimeri di aree desertiche hanno messo in evidenza come in tali corsi d'acqua lo strato superficiale tende ad essere relativamente poco corazzato rispetto al sottostrato. Il grado di corazzamento può essere caratterizzato attraverso un parametro, il *rapporto di corazzamento (armour ratio)*, definito normalmente come il rapporto tra il diametro mediano dello strato superficiale e di quello del sottostrato. Lo studio di [HASSAN et al. \(2006\)](#) ha evidenziato come tale rapporto varia tra 0.5 e 2.4 (valore medio di 1.2) per una serie di corsi d'acqua effimeri, e tra 2 e 7 (valore medio di 3.4) per corsi d'acqua di regioni umide con un regime alimentato dallo scioglimento delle nevi. Tali differenze sono attribuite alle differenti condizioni idrologiche (ad es., piene rapide e improvvise o *flash floods*) e di maggiore produzione di sedimenti nei bacini dei corsi d'acqua effimeri.

2.6 Le portate formative

A causa dell'estrema variabilità dei livelli idrometrici e delle corrispondenti portate in una singola sezione di un corso d'acqua naturale, è nata l'esigenza di definire un livello (e/o una corrispondente portata) che fosse il valore più rappresentativo della forma e delle dimensioni dell'alveo. Nasce il concetto di *livello ad alveo pieno* (*bankfull stage* – alcuni autori italiani utilizzano anche i termini “piene rive” o “ripe piene”) e corrispondente *portata ad alveo pieno* (*bankfull discharge*). Secondo la definizione originaria proposta da [LEOPOLD et al. \(1964\)](#), la portata ad alveo pieno rappresenta la “massima portata che può essere contenuta all'interno dell'alveo senza che superi le sponde” ed il livello ad alveo pieno rappresenta il corrispondente livello idrometrico. Tenendo presente che le prime definizioni di portata ad alveo pieno (così come degli altri concetti di geometria idraulica) sono riferite quasi sempre ad alvei naturali stabili (in equilibrio dinamico), ne deriva che la superficie che cominciava ad essere inondata qualora la portata non contenuta all'interno dell'alveo superava le sponde coincideva proprio con la cosiddetta *pianura inondabile* (*floodplain*). Pertanto il livello ad alveo pieno si veniva ad identificare con la quota della pianura inondabile “attiva” o “moderna” (*active or modern floodplain*), cioè della superficie pianeggiante formata dal corso d'acqua nelle presenti condizioni di regime (a differenza del terrazzo che corrisponde ad una piana inondabile “inattiva”). È comunemente accettato in letteratura che la portata ad alveo pieno si verifica normalmente con moderata frequenza, essendo questa compresa tra 1 e 3 anni ($Q_{1.5}$, Q_2 , $Q_{2.33}$). Esistono alcune implicazioni fisiche legate al livello ad alveo pieno, in quanto esso rappresenta un'importante discontinuità nell'efficacia dei processi fluviali, in particolare: a) segna il passaggio da processi prevalenti di trasporto solido in alveo a processi di tracimazione; b) durante le esondazioni, una parte della corrente si muove sulla piana inondabile e non influenza direttamente le dimensioni dell'alveo.

L'identificazione sul terreno del livello ad alveo pieno non è sempre semplice. Tra i casi più problematici è quello in cui l'alveo si è recentemente inciso o è tuttora in incisione, in quanto in tal caso può esserci una mancanza di forme deposizionali (in particolare di una nuova piana inondabile) e perché la dimensione stessa dell'alveo

varia nel tempo. In assenza di una nuova piana inondabile costruitasi dopo la fase di incisione, la portata ad alveo pieno va ad identificarsi con la massima portata contenuta in alveo, a partire dalla quale la corrente inizia ad inondare un terrazzo. In questi casi, la portata ad alveo pieno può essere associata a tempi di ritorno anche ben superiori di 3 anni e non ha alcuna corrispondenza con la portata formativa (o dominante) del corso d'acqua ([SHIELDS et al., 2003](#); [SIMON & CASTRO, 2003](#); [SIMON et al., 2004](#)).

Associato al concetto di portata ad alveo pieno è quello di *portata formativa* (*channel-forming discharge*) o *portata dominante* (*dominant discharge*). La definizione di tali portate risale alle prime applicazioni della teoria del regime ad alvei naturali, quando si è posta la questione di definire un singolo valore di portata liquida che, se fosse idealmente sostituito all'intero regime delle portate per uno stesso periodo di tempo, produrrebbe la stessa forma e le stesse caratteristiche geometriche dell'alveo ([INGLIS, 1949](#)). Una definizione più robusta e fisicamente basata è quella fornita da [WOLMAN & MILLER \(1960\)](#), i quali impostarono il problema in termini di prodotto tra magnitudo e frequenza delle portate liquide ([Figura 2.13](#)). Secondo tale schema, le portate più efficaci nel modellare l'alveo non sono né quelle relativamente basse (le quali, anche se molto frequenti, sono in grado di trasportare solo modeste quantità di sedimenti), né quelle estreme (le quali, seppure associate ad elevato trasporto solido, sono troppo infrequenti), bensì una portata associata a condizioni intermedie, alla quale corrisponde il massimo valore del prodotto tra la curva di frequenza delle portate liquide e le corrispondenti portate solide. [ANDREWS \(1980\)](#) ha fornito una conferma sperimentale a quanto originariamente proposto da [WOLMAN & MILLER \(1960\)](#). È stato così introdotto anche il termine di *portata efficace* (*effective discharge*) per indicare appunto la portata che trasporta più sedimenti in un certo intervallo temporale. Dato che la frequenza associata alla portata efficace (tempi di ritorno tra 1 e 3 anni) è la stessa di quella che caratterizza la *portata ad alveo pieno*, le due portate spesso possono essere identificate, almeno in alvei in equilibrio dinamico.

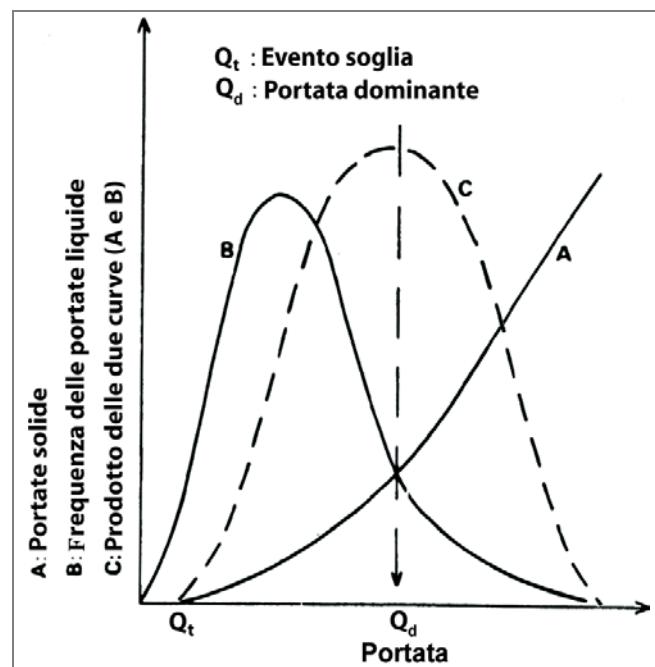


Figura 2.13 – Concetto di portata dominante o efficace secondo [WOLMAN & MILLER \(1960\)](#).

Riepilogando, la *portata formativa* (*channel forming discharge*) e la *portata dominante* (*dominant discharge*) possono essere considerati equivalenti, e sono da

intendere come quel valore teorico di portata che ha maggiori effetti sulla forma e sulle dimensioni dell'alveo, mentre esistono tre possibili approcci per determinare tale portata "teorica" ([BIEDENHARN et al., 2001](#)): (1) *Portata ad alveo pieno (bankfull discharge)*; (2) *Portata con tempo di ritorno compreso tra 1 e 3 anni* (il valore della portata con tempi di ritorno di 1.5÷2 anni è quello più comunemente usato); (3) *Portata efficace (effective discharge)*, intesa come portata che trasporta più sedimenti in un intervallo temporale sufficientemente ampio.

Idealmente, il metodo usato per determinare la portata dominante o formativa dovrebbe avere applicabilità generale e dovrebbe essere basato sulla quantificazione dei processi responsabili della forma e delle dimensioni dell'alveo. Solo il terzo dei tre possibili approcci (portata efficace) soddisfa questi requisiti; vanno tuttavia riconosciuti alcuni limiti, soprattutto legati al fatto che tale metodo richiede dati di trasporto solido difficilmente disponibili. Gli stessi [BIEDENHARN et al. \(2001\)](#) concludono che è raccomandabile usare tutti e tre i metodi ed alla fine confrontarli per ridurre le incertezze del risultato finale, così come è più opportuno considerare un *range* di portate, piuttosto che un singolo valore, che hanno maggiori effetti sulla forma dell'alveo.

Si ricorda che, nel caso di alvei instabili, la portata dominante calcolata come portata efficace può differire notevolmente dalla portata ad alveo pieno e dalla portata con tempi di ritorno di 1.5÷2 anni. In particolare, nel caso di un alveo che sta incidendo, la portata contenuta nell'alveo aumenta, la frequenza di inondazione della piana inondabile decresce progressivamente e quest'ultima diventa un terrazzo. Ciò ha importanti implicazioni in termini di efficacia di eventi con tempi di ritorno da moderati ad alti che precedentemente avrebbero dissipato la loro energia nella piana inondabile mentre ora trasportano molti più sedimenti rispetto alla stessa portata prima dell'incisione ([SIMON, 1992](#); [SIMON & DARBY, 1997, 1999](#)). La portata efficace ricavata dall'analisi magnitudo-frequenza in un alveo soggetto ad incisione può essere quindi molto differente rispetto al caso di un corso d'acqua stabile, pertanto la sua corrispondenza con la portata ad alveo pieno non è giustificabile.

Infine, si ricorda che nel caso di alvei con morfologie a canali intrecciati o transizionali (*wandering*), il livello ad alveo pieno presenta maggiori difficoltà di identificazione, così come è discutibile il concetto stesso di portata dominante. In queste morfologie si preferisce più spesso l'idea che esistano differenti valori di portata che hanno effetti sulla forma complessiva dell'alveo (ad es., una portata più bassa che modella il canale principale e le barre più attive, una più elevata che modella i canali secondari, le barre più alte e le isole) ([SURIAN et al., 2009b](#)). Molto complessa è anche la stima in campo del livello di alveo pieno in torrenti montani, i quali spesso non presentano una piana inondabile ([LENZI et al., 2000](#)). Anche per tali corsi d'acqua è stato recentemente ipotizzato che non si possa identificare un solo valore o range di portata efficace/dominante, bensì almeno due intervalli associati ad eventi di piena ordinaria e straordinaria ([LENZI et al., 2006](#)).

2.7 Mobilità laterale ed erosione delle sponde

I processi di erosione delle sponde fluviali sono quelli che determinano la mobilità planimetrica (laterale) del corso d'acqua e sono processi chiave per l'evoluzione morfologica dell'alveo, della piana inondabile e degli habitat ripariali ad essi associati. L'arretramento di una singola sponda può avvenire attraverso la combinazione di una larga varietà di processi, tra i quali è possibile distinguere le seguenti tre categorie ([THORNE, 1982](#); [RINALDI & DAPPORTO, 2005](#)): (1) *processi di degradazione meteorica e di indebolimento*; (2) *processi di erosione*; (3) *movimenti di*

massa. I primi sono processi prevalentemente subaerei (disseccamento, gelo/disgelo, dilavamento, calpestio, danni meccanici, distruzione della vegetazione, pressioni interstiziali positive), che agiscono sulla superficie o all'interno della sponda e ne comportano un progressivo indebolimento piuttosto che un effettivo arretramento. I processi di erosione determinano rimozione e trasporto di particelle o aggregati dalla superficie esterna della sponda (erosione fluviale per corrente parallela o incidente, erosione per rigagnoli e fossi, sifonamento, onde generate dal vento o da imbarcazioni). Infine i movimenti di massa comprendono vari meccanismi attraverso i quali si verifica una rottura ed un movimento del materiale di sponda ad opera della gravità (scivolamenti, ribaltamenti, crolli, colate). L'interazione tra i vari processi determina l'evoluzione su una più lunga scala temporale della sponda e dipende principalmente dal bilancio tra processi di alimentazione e di rimozione dei sedimenti, secondo il meccanismo noto come *controllo del punto basale* (*basal endpoint control*: [THORNE, 1982](#)). Secondo tale concetto, si possono schematicamente distinguere tre situazioni: a) *condizioni di accumulo*, quando i movimenti di massa apportano materiale alla base della sponda con un tasso superiore rispetto al tasso di rimozione; b) *condizione di equilibrio*, quando i processi di apporto e rimozione si bilanciano tra di loro; c) *condizioni di erosione*, quando l'erosione è tale da comportare una rimozione completa del detrito alla base della sponda ed è inoltre in grado di produrre un abbassamento del fondo.

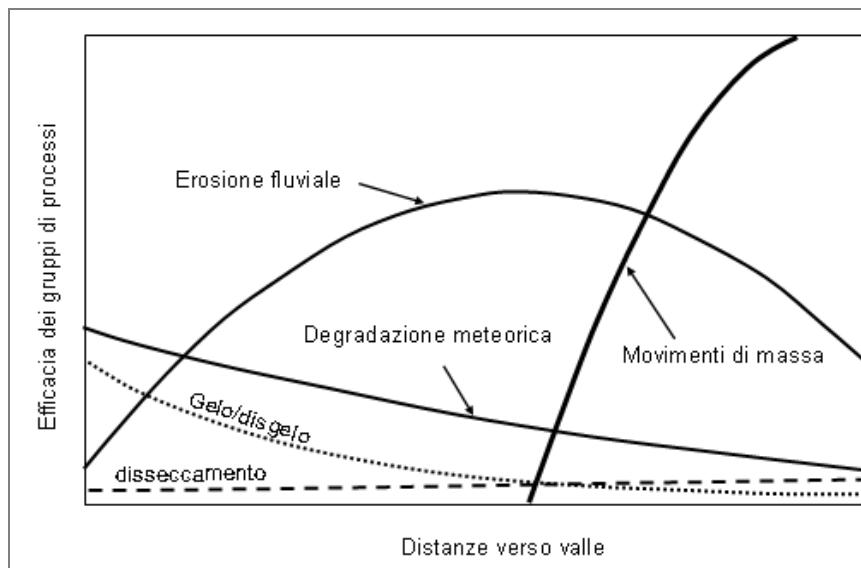


Figura 2.14 – Modello concettuale dei processi dominanti di arretramento di sponde fluviali in un sistema fluviale.

(Modificato da [LAWLER, 1992](#) e da [RINALDI & DARBY, 2008](#)).

Per quanto riguarda l'importanza relativa dei vari processi nel determinare l'arretramento delle sponde, [LAWLER \(1992\)](#) ha proposto un modello concettuale che ipotizza una zonazione spaziale all'interno di uno stesso sistema fluviale dei tre gruppi di processi ([Figura 2.14](#)): (1) nella porzione alta del bacino, i processi subaerei (degradazione meteorica) sono i più importanti; (2) lungo la parte intermedia del corso d'acqua, la potenza della corrente presenta i suoi valori massimi e l'erosione fluviale può diventare il processo dominante; (3) nella parte bassa, la potenza della corrente diminuisce (a causa del ridursi delle pendenze) mentre le sponde diventano sensibilmente più alte, pertanto i movimenti di massa diventano la categoria di processi dominanti.

L'instabilità laterale ed i tassi di arretramento sono estremamente variabili sia nello spazio (da fiume a fiume o da monte verso valle, all'interno dello stesso sistema fluviale) che nel tempo (a scala del singolo evento di piena, stagionale e pluriennale) e sono pertanto difficili da prevedere. I fattori che influenzano l'instabilità laterale in senso longitudinale (da monte verso valle) in un sistema fluviale possono variare sensibilmente a seconda della scala spaziale considerata. Alla scala dell'intero sistema fluviale, in prima approssimazione la distribuzione dell'instabilità laterale può essere legata all'interazione tra potenza della corrente e resistenza del materiale che costituisce le sponde. Nei tratti confinati della porzione medio-alta del bacino, seppure la potenza della corrente può raggiungere un valore massimo (si veda la distribuzione teorica prevista dal modello di LAWLER), la resistenza dei versanti annulla o limita la tendenza all'erosione laterale, mentre un aumento brusco dell'instabilità si verifica al passaggio del corso d'acqua nei tratti semiconfinati o non confinati (ad esempio sui conoidi allo sbocco in pianura). Alla scala di tratto, diventano più importanti fattori quali la composizione della sponda e la vegetazione presente, le tensioni tangenziali, a loro volta condizionate dalla geometria dell'alveo (curvatura e larghezza), dal trasporto solido al fondo e dalle forme deposizionali associate (barre), le quali possono forzare la corrente ad agire in particolari punti. Alla scala del singolo profilo di sponda, possono diventare importanti fattori locali quali la tensione tangenziale lungo sponda, le pressioni interstiziali, le proprietà dei materiali che costituiscono la sponda (parametri di erodibilità e di resistenza al taglio), la stessa forma dell'idrogramma di piena ([RINALDI & DARBY, 2008](#); [RINALDI et al., 2004, 2008](#); [LUPPI et al., 2009](#)).

Considerando i fenomeni di instabilità in senso temporale, il loro innescarsi o accentuarsi può essere strettamente legato alle tendenze evolutive del corso d'acqua o del sistema fluviale, ad esempio a causa di un abbassamento del fondo (si veda il paragrafo successivo) o a causa di una variazione di morfologia fluviale (ad es., da un alveo a canali intrecciati ad un meandriforme o viceversa). In tutti i casi, un approccio basato sulla ricostruzione dei tracciati dell'alveo nelle ultime decine di anni è fondamentale per delimitare la fascia dove il corso d'acqua potrebbe avere possibilità di divagare nei prossimi decenni (*fascia erodibile* o *fascia di mobilità funzionale*: si veda ad es., [PIÉGAY et al., 2005](#); [RINALDI, 2006](#)).

2.8 La vegetazione ed i processi fluviali

La vegetazione determina numerose interazioni con tutti i principali processi di modellamento geomorfologico (erosione, trasporto solido, sedimentazione) e, di conseguenza, con le forme fluviali e con le variazioni indotte da tali processi. È da tempo riconosciuto come ognuna delle varie superfici geomorfologiche prima definite (paragrafo [2.4](#)) sia caratterizzata da determinate frequenze di inondazione (seppure queste presentino una certa variabilità da caso a caso), e di conseguenza esistono chiare relazioni tra condizioni idromorfologiche ed associazioni di specie vegetazionali che si sviluppano su ognuna di tali superfici ([HUPP & OSTERKAMP, 1996](#); [HUPP & RINALDI, 2007](#)).

Le interazioni tra processi fluviali e vegetazione sono molteplici e coinvolgono tutti i principali processi responsabili del modellamento di un alveo fluviale ([Tabella 2.2](#)).

Interagendo con i vari processi fluviali, la vegetazione svolge quindi un ruolo importante anche nei riguardi dei processi di aggiustamento morfologico (si veda paragrafo successivo) ai quali può essere soggetto un alveo fluviale in una media scala temporale, a seguito di qualche tipo di disturbo rispetto alle sue condizioni di

equilibrio dinamico. Vari studi condotti prevalentemente negli Stati Uniti sudorientali hanno messo in evidenza come sia possibile riconoscere particolari pattern vegetazionali associati ai diversi stadi di evoluzione, proprio perché ogni specie è in grado di tollerare o meno particolari processi ed aggiustamenti morfologici. Sono state individuate specie caratteristiche per ogni stadio di evoluzione in funzione della loro capacità di adattarsi alle condizioni imposte dai processi di aggiustamento ([HUPP, 1999](#)), riconoscendo notevoli differenze di pattern vegetazionali a seconda che si tratti di (a) fiumi in equilibrio; (b) durante il periodo di aggiustamenti morfologici (es. incisione) in sistemi fluviali instabili; (c) durante il periodo di riequilibrio.

Tabella 2.2 – Schema riepilogativo dei processi fluviali influenzati dalla presenza di vegetazione viva e da detriti legnosi.

VEGETAZIONE VIVA RIPARIA E IN ALVEO	
PROCESSI IN ALVEO:	PROCESSI SPONDE:
<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza al moto - Parziale ostruzione sezione - Erosione per contrazione sezione - Effetti su trasporto solido - Sedimentazione - Creazione isole, avulsioni, ecc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Effetti idrologici - Effetti meccanici
MATERIALE LEGNOSO MORTO IN ALVEO	
PROCESSI IN ALVEO:	PROCESSI SPONDE:
<ul style="list-style-type: none"> - Resistenza al moto - Parziale ostruzione sezione - Erosione per contrazione sezione o diversione flusso - Trasporto solido (per flottazione) - Sedimentazione - Creazione isole, avulsioni, ecc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Erosioni localizzate - Sedimentazioni localizzate

Oltre alla vegetazione viva, gli accumuli legnosi presenti nei corsi d'acqua generano una molteplicità di effetti sui processi idraulici, geomorfologici ed ecologici. Il materiale vegetale più grossolano, corrispondente a rami e tronchi di alberi, presente all'interno di un corso d'acqua è ora denominato materiale legnoso grossolano (*Large Wood*, LW), a sostituire la vecchia dicitura (avente accezione negativa) di *detrito legnoso grossolano* (*Large Woody Debris*: LWD, o *Coarse Woody Debris*: CWD). Convenzionalmente, sono considerati LW i detriti con un diametro minimo di 10 cm e lunghezza minima di 1 m.

Si può definire un'analogia tra i processi che riguardano il legno e quelli che riguardano i sedimenti ([GURNELL et al., 2003](#)), distinguendo tra: (1) meccanismi di produzione ed alimentazione al sistema fluviale; (2) processi di mobilità e trasporto; (3) processi di deposizione. La componente legnosa può essere immessa nell'alveo attraverso vari meccanismi di produzione (*wood recruitment*) ([GURNELL et al., 2003](#); [BENDA et al., 2003](#)) quali: (a) movimenti di versante; (b) mortalità; (c) azione del vento; (d) precipitazioni nevose; (e) incendi; (f) mortalità indotta da organismi viventi; (g) erosione delle sponde; (h) erosione diretta da superfici interne all'alveo o della piana inondabile. I processi di mobilità, trasporto e deposizione (arresto) sono il risultato di complesse interazioni con le condizioni idrauliche del flusso e con lo stesso trasporto solido di sedimenti.

Una prima classificazione delle tipologie di accumulo è quella proposta da [WALLERSTEIN et al. \(1997\)](#) che distingue quattro principali tipologie di accumulo (*underflow jam, dam jam, deflector jam, parallel/bar head jam*). Più ampia diffusione ha ottenuto la classificazione proposta successivamente da ABBE & MONTGOMERY ([ABBE, et al., 2003](#)), la quale si fonda sull'identificazione dei processi formativi di tali accumuli. Tale classificazione definisce tre principali categorie, a seconda che gli elementi più consistenti dell'accumulo (elementi chiave) siano stati o meno trasportati dalla corrente: (a) in situ o autoctoni (*bank input, log step*); (b) combinazioni di elementi in situ e trasportati (*valley jam, flow deflection jam*); (c) trasportati (*debris flow/flood jam, bench jam, bar apex jam, meander jam, log rafts, unstable debris*).

2.9 Variazioni morfologiche degli alvei fluviali

La scelta della scala temporale cui far riferimento per lo studio dei fenomeni di instabilità ed il concetto stesso di instabilità hanno da sempre rappresentato un argomento di interesse ed allo stesso tempo di controversie nel campo della Geomorfologia Fluviale. In contrapposizione alla concezione di evoluzione del rilievo secondo la teoria del ciclo di erosione di DAVIS, a partire dagli anni '30 si affermarono la cosiddetta "teoria del regime" ed il concetto di fiume regolarizzato (*graded river*) ([MACKIN, 1948](#)), che introdussero i concetti di stabilità e di equilibrio dinamico. In seguito [SCHUMM & LICHTY \(1965\)](#) chiarirono che i concetti di ciclo di erosione e di equilibrio dinamico non sono mutuamente esclusivi, ma che l'apparente contrasto deriva evidentemente da differenti scale temporali di riferimento: (a) in una scala temporale dell'ordine del milione di anni (*cyclic time*), può rimanere valida l'idea di un fiume che riduce progressivamente la sua quota e pendenza del fondo a seguito di un ciclo di erosione; (b) in un intervallo di tempo più ristretto (*graded time*), la pendenza può oscillare intorno ad un valore medio costante in una condizione di equilibrio dinamico; c) considerando un intervallo temporale ancora inferiore (dell'ordine dei giorni), il fiume può trovarsi in una situazione completamente stazionaria (*steady time*).

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) possa fornire utili informazioni per una migliore comprensione delle possibili cause. 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](#)). Un alveo si può definire in *equilibrio dinamico* se, in riferimento a tale intervallo temporale, mantiene mediamente invariata la sua forma e le sue dimensioni caratteristiche (larghezza e profondità della sezione, pendenza, dimensione dei sedimenti). Al contrario un alveo si può definire *instabile* quando, in riferimento alla stessa scala temporale, varia significativamente le sue dimensioni o la sua forma.

Si può quindi immaginare che il fiume si assesti intorno ad una forma in "equilibrio dinamico" che risulta dall'interazione tra variabili guida e condizioni al contorno. L'alterazione di una delle variabili in gioco può determinare una perturbazione delle condizioni di equilibrio: il fiume in tal caso risponde a tale perturbazione movendosi verso una nuova condizione di equilibrio. Durante l'intervallo di tempo richiesto affinché il fiume non si riassesti intorno a questa nuova condizione, esso attraverserà una fase di instabilità, sarà cioè soggetto a variazioni significative della sua forma. Le risposte dell'alveo (o aggiustamenti morfologici)

possono avvenire nell'arco di brevi intervalli di tempo e limitate estensioni spaziali, o durante intervalli di tempo più lunghi (da decine a migliaia di anni) e coinvolgere un intero sistema fluviale, in funzione della intensità, estensione e tipo di disturbo.

Coerentemente con lo schema precedente, l'instabilità di un tratto di un fiume può anche essere considerata come il risultato di un'alterazione dell'equilibrio dinamico tra potenza della corrente ($Q = \gamma Q_S$) disponibile per trasportare sedimenti e quantità e dimensioni dei sedimenti che provengono da monte e alimentano il tratto dell'alveo fluviale. Tale concetto è ben espresso dalla relazione di [LANE \(1955\)](#) ([Figura 2.15](#)):

$$Q_S \approx Q_S D_{50}$$

dove Q rappresenta la portata liquida, S la pendenza del fondo, Q_S la portata solida e D_{50} il diametro mediano dei sedimenti del fondo.

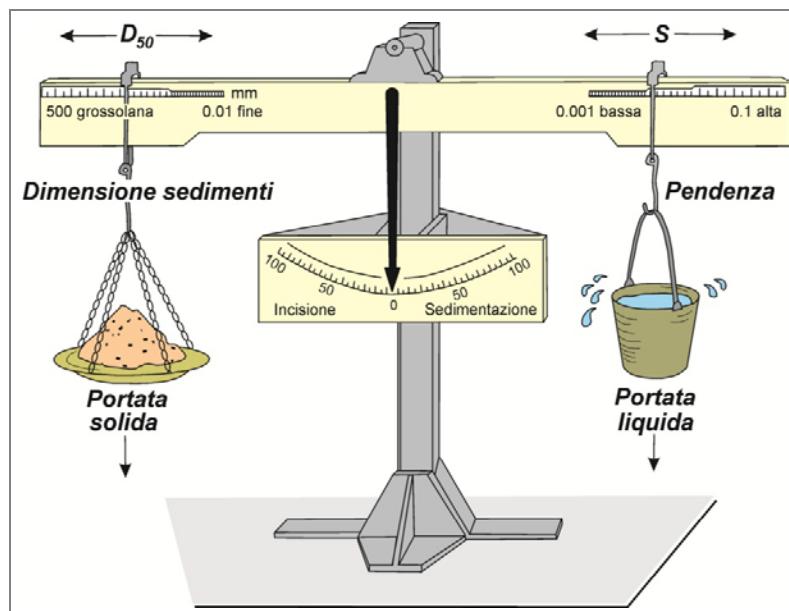


Figura 2.15 – Modello concettuale delle risposte di un alveo fluviale ad alterazioni dell'equilibrio dinamico (da [LANE, 1955](#)).

Numerosi sono i fattori che possono intervenire e modificare questo equilibrio. Tra di essi, si può innanzitutto fare una distinzione tra fattori naturali (quali variazioni climatiche ed idrologiche, movimenti tettonici, fenomeni vulcanici, variazioni del livello del mare, ecc.) e fattori antropici. Questi ultimi si possono a loro volta distinguere in due gruppi: a) interventi a scala di bacino (rimboschimenti, disboscamenti, sistemazioni idraulico-forestali, urbanizzazione); b) interventi diretti in alveo (tagli di meandro, canalizzazioni, dighe, escavazione di inerti). Per quanto riguarda gli interventi a scala di bacino, essi agiscono principalmente sulle variabili guida, andando cioè potenzialmente a perturbare il regime delle portate liquide o, più frequentemente, di quelle solide. Gli interventi diretti in alveo possono modificare direttamente la forma (ad esempio un taglio di meandri), creando così una forma instabile, o perturbare il regime delle portate liquide e solide (ad es., nel caso di una diga) per il tratto immediatamente a valle dell'intervento stesso.

Un'importante differenza tra fattori naturali ed antropici è la scala temporale su cui essi manifestano i loro effetti. I fattori naturali agiscono generalmente in maniera lenta, causando il più delle volte variazioni pressoché impercettibili alla scala della vita umana. Esistono naturalmente delle eccezioni: un evento catastrofico naturale (ad esempio un'eruzione vulcanica) può causare improvvisi e drastici riaggiustamenti nel sistema fluviale. Viceversa, i fattori antropici agiscono generalmente in una più breve

scala temporale, causando modifiche dirette o inducendo variazioni ben percettibili alla scala della vita umana.

Un alveo fluviale reso instabile da uno o più tipi di disturbi, naturali o antropici, può rispondere e modificarsi attraverso i seguenti tipi di variazioni morfologiche: a) variazioni altimetriche; b) variazioni di larghezza; c) variazioni della configurazione morfologica.

Per quanto riguarda le *variazioni altimetriche del fondo*, si può inquadrare il problema attraverso la cosiddetta bilancia di Lane. Alterazioni dell'equilibrio generate da un incremento dell'energia della corrente (o potenza), una riduzione della portata solida o delle dimensioni dei sedimenti, possono causare un abbassamento generalizzato della quota del fondo, definito *incisione* (*incision* o *degradation*). Viceversa, nel caso di una riduzione di energia della corrente o di un incremento della quantità o dimensioni dei sedimenti trasportati, si verifica normalmente un innalzamento generalizzato della quota del fondo, indicato con il termine di *sedimentazione* (*aggradation*). Tali processi possono interessare tratti molto lunghi, fino ad un intero sistema fluviale, e possono alternarsi sistematicamente in tratti diversi del bacino. L'incisione tende infatti a migrare verso monte attraverso il meccanismo di erosione regressiva (*nickpoint migration*), mentre a valle si possono avere fasi successive di sedimentazione indotte dal materiale prodotto dall'incisione ed eventualmente dall'allargamento indotto dall'instabilità delle sponde nei tratti a monte ([SCHUMM et al., 1984](#); [SIMON, 1989](#)). Questi fenomeni differiscono dai processi di erosione o di sedimentazione localizzata (*local scour* o *fill*), i quali sono invece legati a variazioni locali e sono limitati a brevi tratti (ad esempio a monte e a valle di una briglia).

Esiste un'ampia letteratura internazionale relativa alle risposte di un sistema fluviale a disturbi ed interventi antropici. Tagli di meandro, restringimenti e canalizzazioni hanno l'effetto prevalente di incrementare l'energia (o la capacità di trasporto) del fiume come conseguenza dell'incremento di pendenza e/o della riduzione di larghezza. Ciò induce un'incisione, la quale può essere seguita da una fase di sedimentazione nei tratti a valle del sistema, favorita dall'alimentazione di sedimenti mobilizzati nei tratti a monte dall'incisione stessa ([DANIELS, 1960](#); [KELLERHALS, 1982](#); [WINKLEY, 1982](#); [GREGORY, 1984](#); [SCHUMM et al., 1984](#); [BROOKES, 1988](#); [SIMON, 1989](#)). Ampia è anche la letteratura relativa agli effetti di una diga. L'esistenza di un invaso si riflette attraverso due fattori che influiscono in senso opposto sul bilancio sedimentario dell'alveo fluviale a valle della diga: l'annullamento del trasporto solido e la laminazione delle onde di piena, con la conseguente riduzione delle portate di picco. È ampiamente documentato in letteratura (ad es.,: [GREGORY & PARK, 1974](#); [PETTS, 1984](#); [WILLIAMS & WOLMAN, 1984](#)) come il primo fattore prevalga sul secondo causando quindi una fase di incisione a valle della diga.

Molti studi hanno inoltre descritto gli effetti geomorfologici dell'escavazione diretta da un alveo fluviale (ad es.,: [COLLINS & DUNNE, 1989](#); [KONDOLF, 1994](#); [SEAR & ARCHER, 1998](#); [RINALDI et al., 2005](#)). La prima risposta è quella di una migrazione verso monte dell'incisione, causata dall'alterazione del profilo del fondo indotta dallo scavo; tuttavia l'escavazione può produrre incisione anche a valle, per effetto della deposizione di sedimenti all'interno dello scavo stesso e per conseguente deficit di sedimenti rispetto alla capacità di trasporto ([KONDOLF, 1994](#)).

Gli interventi a scala di bacino, se protratti per lunghi periodi di tempo e su vaste aree, possono avere rilevanti effetti sul bilancio sedimentario del corso d'acqua. I disboscamenti hanno l'effetto di accelerare l'erosione del suolo sui versanti, determinando un incremento della quantità di materiale che va ad alimentare il

trasporto solido nella rete idrografica e favorendo condizioni di sedimentazione negli alvei fluviali ([COSTA, 1975](#); [KNOX, 1977](#)). Al contrario i rimboschimenti e le sistemazioni idraulico-forestali possono determinare una consistente riduzione dell'apporto solido nella rete idrografica e favorire incisione negli alvei.

Oltre alle variazioni altimetriche, un corso d'acqua può essere soggetto a due possibili variazioni di larghezza dell'alveo: a) allargamento (*widening*); b) restringimento (*narrowing*). Tali variazioni sono, rispetto a quelle altimetriche, meno studiate e anche meno agevolmente inquadrabili secondo gli schemi interpretativi esposti finora. Ad esempio, la relazione di Lane non si presta ad interpretare le possibili variazioni di larghezza. A tal fine, sono più adatte le seguenti relazioni ricavate da [SCHUMM \(1977\)](#), che esprimono la proporzionalità (diretta o inversa) delle variabili guida (portate liquide e solide) con una serie di variabili relative alla forma dell'alveo:

$$\begin{aligned} Q^+ &\sim w^+, d^+, \lambda^+, S^- \\ Q^- &\sim w^-, d^-, \lambda^-, S^+ \\ Qs^+ &\sim w^+, d^-, \lambda^+, S^+, P^- \\ Qs^- &\sim w^-, d^+, \lambda^-, S^-, P^+ \end{aligned}$$

dove Q è la portata liquida, w la larghezza, d la profondità media, λ la lunghezza d'onda dei meandri, S la pendenza del fondo, Qs la portata solida e P l'indice di sinuosità (i segni + e - indicano rispettivamente un aumento e una riduzione della variabile).

In base a tali proporzionalità, un allargamento (w^+) può verificarsi, a parità di altri fattori, per un aumento delle portate liquide e/o solide; viceversa una diminuzione delle stesse può causare un restringimento (w^-).

Un fiume, a causa di qualche disturbo, può talora cambiare la sua configurazione morfologica planimetrica (o pattern), passando ad esempio da una configurazione a canale singolo (sinuoso o meandriforme) ad una morfologia a canali multipli o viceversa. In questi casi la larghezza dell'alveo è la variabile che si modifica più drasticamente, mentre le variazioni di pendenza che accompagnano tale trasformazione possono essere molto ridotte, ma sufficienti per attraversare qualche valore di soglia che controlla appunto il passaggio da una morfologia ad un'altra.

Vari studi condotti a partire dagli inizi degli anni '80, relativi a sistemi fluviali impostati prevalentemente in depositi loessici negli Stati Uniti sudorientali e caratterizzati da sponde coesive, hanno messo in evidenza una successione di diversi tipi di variazioni morfologiche (incisione, allargamento, sedimentazione), che si susseguono sistematicamente nello spazio e nel tempo. Gli schemi evolutivi ricavati, i quali riportano una precisa sequenza temporale dei processi dominanti di aggiustamento, sono indicati con il termine di modelli geomorfologici concettuali di evoluzione (*CEMs: Channel Evolution Models*) ([SCHUMM et al., 1984](#); [WATSON et al., 1986](#); [SIMON & HUPP, 1986](#); [SIMON, 1989](#)). Il modello a sei stadi di evoluzione ([SIMON & HUPP, 1986](#); [SIMON, 1989](#)) ([Figura 2.16](#)) è stato sviluppato per descrivere l'evoluzione di fiumi del West Tennessee (USA) soggetti ad estesi interventi di canalizzazione e tagli di meandro durante il secolo scorso. Tale modello è basato sulla migrazione verso monte dell'abbassamento del fondo (*nickpoint migration*) e sulla conseguente sostituzione spazio-temporale dei processi di aggiustamento (*space for time substitution*). Nel modello viene considerato come stadio iniziale (*stadio I*) l'alveo fluviale nelle sue condizioni indisturbate. Lo *stadio II* è idealmente rappresentativo della fase di disturbo (in questo caso la canalizzazione), in seguito alla quale si instaura una fase di incisione (*stadio III*), seguita da una fase di instabilità delle sponde ed un conseguente allargamento dell'alveo attraverso movimenti di

massa (*stadio IV*). Mentre l'incisione migra verso monte, a tale processo subentra una fase di sedimentazione secondaria nei tratti di valle (*stadio V*), determinata dall'alimentazione di sedimenti provenienti dall'incisione stessa e dall'arretramento delle sponde, fino alla completa ristabilizzazione del livello del fondo ed alla tendenza verso il raggiungimento di un nuovo equilibrio dinamico (*stadio VI*).

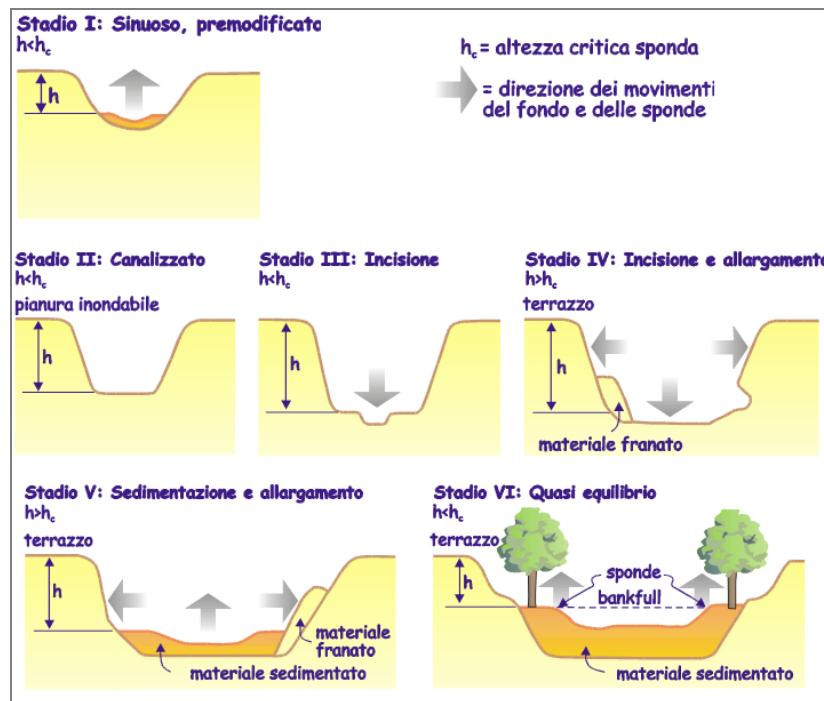


Figura 2.16 – Modello concettuale di evoluzione di alvei fluviali.
(CEM: Channel Evolution Model) (modificato da [SIMON, 1989](#) e da [RINALDI & SURIAN, 2005](#)).

L'importanza di un modello geomorfologico concettuale di evoluzione va oltre la semplice descrizione dell'evoluzione dei sistemi fluviali per i quali è stato condotto lo studio, in quanto un CEM può avere diversi risvolti applicativi (scelta di tipi di interventi e strategie di stabilizzazione o di riqualificazione fluviale). Un problema comune a tutte le classificazioni delle morfologie fluviali ([paragrafo 2.3](#)) è quello che esse non sono adatte a tenere conto degli aggiustamenti dinamici e dell'evoluzione del sistema fluviale ([THORNE, 1997](#)). Un diverso approccio di classificazione che va incontro a questa esigenza è basato sull'uso di un modello concettuale di evoluzione, validato per una determinata regione, attraverso il quale si classificano i corsi d'acqua in base agli aggiustamenti morfologici piuttosto che in base alle forme (pur tenendo conto della loro morfologia complessiva iniziale e finale).

2.10 Attuali conoscenze sui corsi d'acqua italiani

Nel corso degli ultimi secoli, ed in particolar modo negli ultimi 50-60 anni, la morfologia e la dinamica della maggior parte dei fiumi italiani hanno subito delle profonde trasformazioni, soprattutto a causa di vari interventi antropici (ad esempio costruzione di dighe, prelievo di sedimenti dagli alvei, interventi di canalizzazione, variazioni di uso del suolo). Tali interventi hanno infatti modificato il regime delle portate liquide e di quelle solide, oltre ad aver condizionato altri aspetti, come ad esempio la mobilità laterale, fondamentali nella dinamica di un alveo fluviale. L'entità delle variazioni subite dagli alvei è stata considerevole, in quanto in molti casi ha comportato una vera e propria trasformazione morfologica, ossia una

modificazione della configurazione planimetrica (ad esempio da un alveo a canali intrecciati ad un alveo di tipo *wandering* o, addirittura, a canale singolo) ([Figura 2.17](#)). I processi più diffusi sono stati il restringimento e l'incisione dell'alveo. La larghezza dell'alveo ha subito generalmente una riduzione superiore al 50%, fino a valori dell' 85÷90%, mentre l'abbassamento del fondo è stato dell'ordine di alcuni metri ma, localmente, anche di 10÷12 m ([SURIAN & RINALDI, 2003](#); [SURIAN et al., 2009a](#)). Tali processi si sono manifestati in alcuni corsi d'acqua a partire dal XIX secolo, ma sono stati molto intensi per un periodo relativamente breve, ossia tra gli anni '50 e gli anni '80 – '90 del secolo scorso. Le cause di variazioni così intense nella morfologia degli alvei sono state individuate nel prelievo di sedimenti dagli alvei, generalmente il fattore più rilevante, nella costruzione di dighe, in vari interventi di canalizzazione, in variazioni di uso del suolo a scala di bacino (in particolare l'aumento della copertura boschiva) e nelle sistemazioni idraulico-forestali ([Figura 2.18](#)).

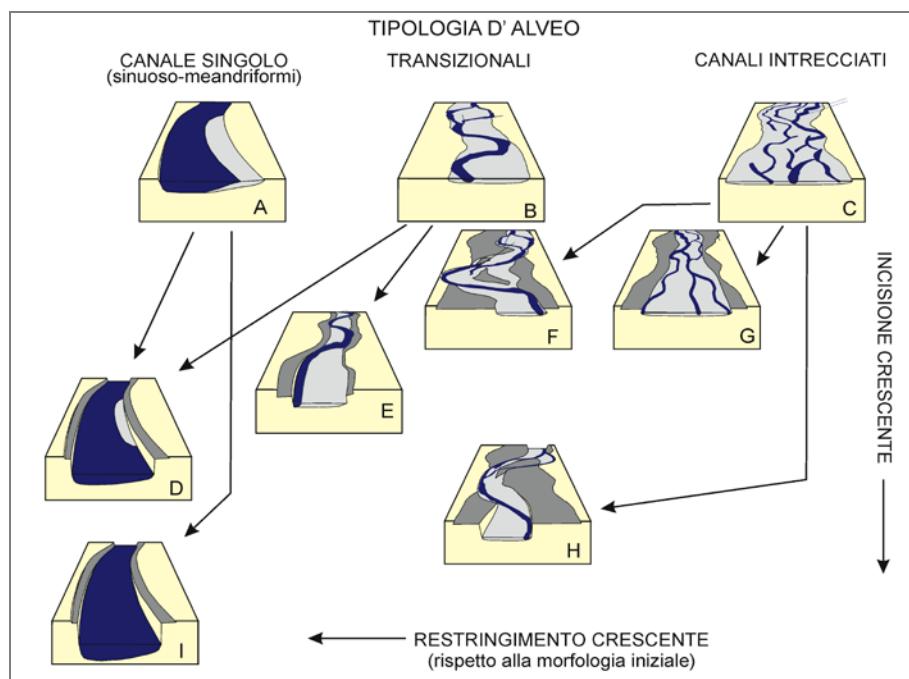


Figura 2.17 – Schema di classificazione delle variazioni morfologiche di fiumi italiani.
(Da [SURIAN & RINALDI, 2003](#), modificato).

Simili variazioni morfologiche dell'alveo si sono verificate anche in corsi d'acqua di altri paesi europei ed extra-europei, ma raramente l'intensità dei processi è stata così elevata come nei corsi d'acqua italiani ([WILLIAMS, 1978](#); [WILLIAMS & WOLMAN, 1984](#); [SIMON, 1989](#); [XU JIONGXIN, 1997](#); [SEAR & ARCHER, 1998](#); [WINTERBOTTOM, 2000](#); [LIEBAULT & PIEGAY, 2001](#); [LU et al., 2007](#)). Infatti, se non sono rari fenomeni di restringimento come quelli osservati nei fiumi italiani, sono invece poco frequenti fenomeni di incisione dell'ordine di 10-12 m.

Le ricerche più recenti ([SURIAN & RINALDI, 2004](#); [RINALDI et al., 2005](#); [SURIAN, 2006](#); [RINALDI & SIMONCINI, 2006](#); [SURIAN & CISOTTO, 2007](#), [SURIAN et al., 2009a](#)) stanno evidenziando in alcuni corsi d'acqua una successiva fase di parziale recupero morfologico (riallargamento e stabilità del fondo o in alcuni casi sedimentazione), cominciata generalmente alla fine degli anni '80 o nei primi anni '90. Tuttavia, a differenza della precedente fase principale di aggiustamento, che ha comportato il restringimento e l'incisione degli alvei, questa fase più recente non è ancora così ben documentata e generalizzata come la precedente. In tutti i casi tali processi non hanno comunque "compensato" le variazioni indotte dalla fase precedente.

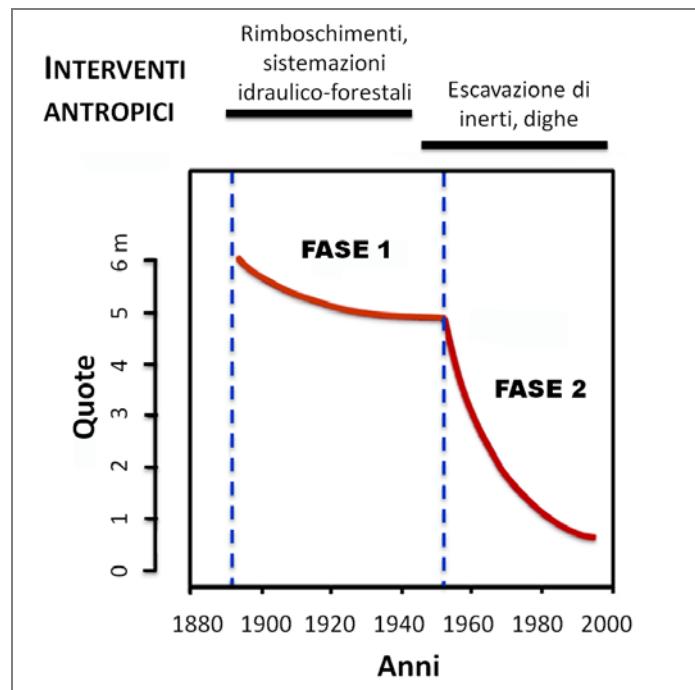


Figura 2.18 – Tipico andamento temporale della quota del fondo in risposta a disturbi antropici durante gli ultimi 100 anni circa osservato per vari fiumi italiani.
(Da [SURIAN & RINALDI, 2003](#) e da [RINALDI & SURIAN, 2005](#), modificato).

Questi studi hanno permesso di definire, almeno per alcuni corsi d'acqua, un modello concettuale di evoluzione, con particolare riferimento ad alvei inizialmente a canali intrecciati o transizionali, che comprende quindi due fasi precedenti di incisione-restringimento e una fase (non sempre evidente) di parziale recupero morfologico. La [Figura 2.19](#) rappresenta tale tipo di evoluzione per alcuni alvei fluviali appenninici (Magra, Vara, Cecina, Panaro: [RINALDI et al., 2008](#)).

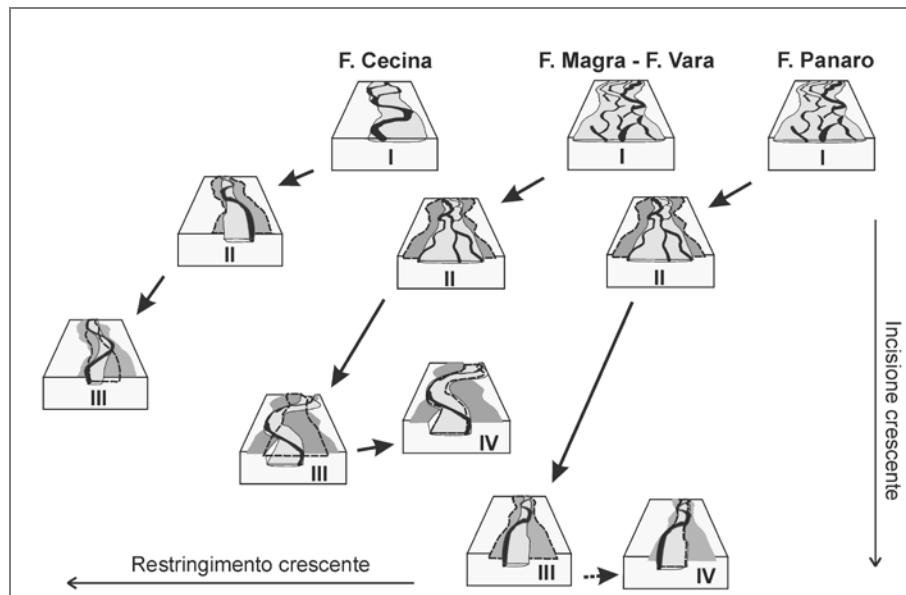


Figura 2.19 – Modello evolutivo relativo ad alcuni casi di studio appenninici.
(Da [RINALDI et al., 2008](#), modificato).

CAPITOLO 3

STRUTTURA METODOLOGICA

3.1 Concetto di stato di riferimento

La procedura di valutazione e monitoraggio delle condizioni idromorfologiche dei corsi d'acqua si basa, coerentemente con quanto richiesto dalla WFD, sulla valutazione dello scostamento delle condizioni attuali rispetto ad un certo stato di riferimento. La definizione di uno stato di riferimento per gli aspetti idromorfologici può ritenersi particolarmente problematica rispetto agli altri aspetti presi in esame per la WFD. La comunità scientifica internazionale è ormai concorde nel rinunciare a considerare come stato di riferimento una situazione “primitiva” (o “pristina”) completamente indisturbata. Recentemente si rimarca sempre di più la necessità di fare riferimento ai processi piuttosto che alle forme e considerare aspetti connessi con l’evoluzione morfologica. Per i progetti di riqualificazione, si preferiscono concetti quali quello di “immagine guida” (“*guiding image*”) identificabile con uno stato dinamico ecologico ([PALMER et al., 2005](#)). Più recentemente, si avverte sempre di più la necessità di parlare di “processi di riferimento” (“*reference processes*”) o di “interazioni tra forme e processi di riferimento” (“*reference process-form interactions*”) (si veda ad es., [BERTOLDI et al., 2009](#)) piuttosto che di “forme di riferimento”. Per meglio comprendere l’importanza dell’evoluzione morfologica dei corsi d’acqua ai fini della loro gestione attuale e futura, è inoltre particolarmente utile il concetto di “traiettoria” recentemente sempre più utilizzato in letteratura internazionale (si veda ad es., [BRIERLEY & FRYIRS, 2005, 2008](#); [DUFOUR & PIÉGAY, 2009](#)). Un corso d’acqua, nelle sue attuali condizioni, è il risultato di una traiettoria più o meno complessa di variazioni morfologiche in risposta a modificazioni di alcune variabili di controllo. La comprensione di tale traiettoria e dei legami causali tra variabili guida e morfologia del corso d’acqua è fondamentale, non già nell’ottica di tendere verso un recupero di una condizione passata (non più realizzabile in quanto nella maggior parte dei casi sono cambiate le variabili di controllo), quanto piuttosto per capire quali possano essere i trend futuri (fermo restando i condizionamenti attuali o nel caso essi vengano modificati attraverso azioni di gestione). Tale approccio può rappresentare 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.

Fatte queste premesse, alternativamente all’identificazione dello stato di riferimento con una situazione “primitiva”, in maniera più pragmatica alcuni autori concordano nel ritenere che lo **stato di riferimento** di un corso d’acqua sia **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 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 ([RINALDI et al., 2009](#); [SURIAN et al., 2009c](#)) ([Figura 3.1](#)).

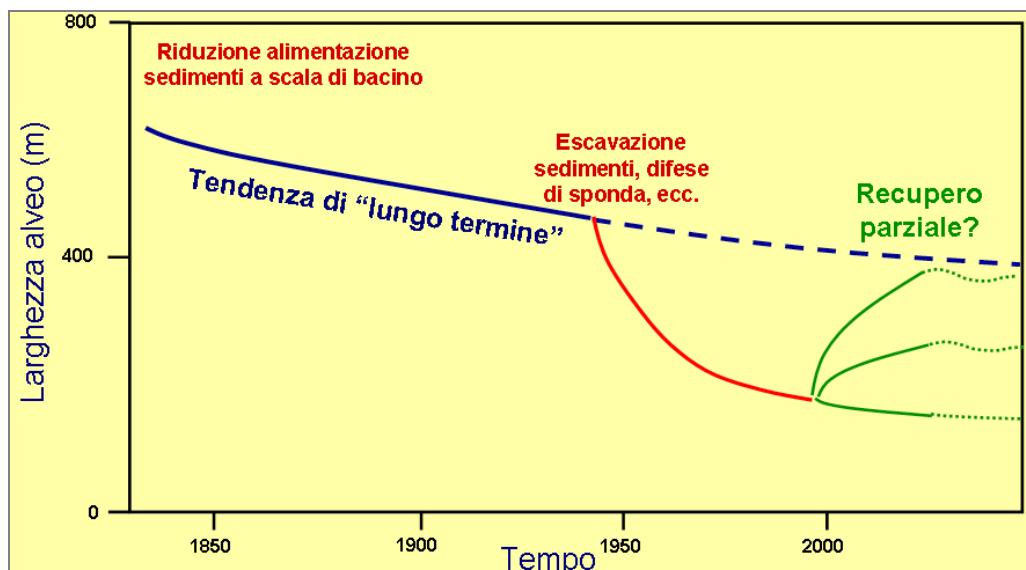


Figura 3.1 – Schema evolutivo delle larghezze osservato in alcuni tratti del F. Magra. (Modificato da [RINALDI et al., 2008](#)): sovrapposizione del trend di lungo termine, legato a variazioni di produzione di sedimenti a scala di bacino, con il trend determinato dalla fase di maggiore disturbo legata all'escavazione di sedimenti, e successivo parziale recupero morfologico.

Articolando la valutazione dello stato attuale in **tre componenti** (come esplicitato più avanti), vale a dire **funzionalità geomorfologica, artificialità e variazioni morfologiche**, la precedente definizione di **stato di riferimento** viene ad identificarsi con le seguenti condizioni: **(1) piena funzionalità dei processi geomorfologici** tipici che caratterizzano una determinata morfologia fluviale (condizione di equilibrio dinamico); **(2) assenza di artificialità;** **(3) 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.

3.2 Metodologie di analisi

È necessario che la valutazione delle condizioni attuali ed il monitoraggio futuro si basino su un **approccio integrato**, facendo uso sinergico delle due principali metodologie impiegate nello studio geomorfologico dei corsi d'acqua, vale a dire l'impiego di telerilevamento (*remote sensing*) e di analisi GIS ed il rilevamento sul terreno (si veda anche [SURIAN et al., 2009d](#)).

- (1) **Analisi GIS da telerilevamento.** Queste prevedono l'utilizzo soprattutto di foto aeree, ma per alcuni tipi di osservazioni (ricognizione iniziale, opere, uso del suolo e forme nella pianura, ecc.) o anche per osservazione di caratteristiche morfologiche relative all'alveo (almeno per corsi d'acqua sufficientemente grandi) possono essere impiegate anche immagini satellitari (attualmente di facile reperibilità e con elevata risoluzione geometrica). Vari software offrono al giorno d'oggi l'opportunità di consultare facilmente immagini utili almeno per le fasi di ricognizione e classificazione iniziale. Inoltre, lo sviluppo crescente di *database* cartografici condivisi, quali il *Portale Cartografico Nazionale*, renderanno sempre più agevoli questi tipi di analisi.
- (2) **Analisi e misure sul terreno.** Queste prevedono osservazioni di vario tipo e misure condotte con vari strumenti (analisi granulometriche, misure topografiche, analisi geomorfologiche, ecc.).

Vengono di seguito definiti i campi di applicazione dei due metodi.

- (1) **Campi di applicazione di analisi GIS da telerilevamento.** Per quanto riguarda le dimensioni dei corsi d'acqua, si fa riferimento alla terminologia proposta da [CHURCH \(1992\)](#), in base alla quale si definiscono: (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 a 30 m. Tale terminologia è adatta per definire le **dimensioni minime** 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 da immagini telerilevate (foto aeree o satellitari) possono essere condotte solo per corsi d'acqua grandi, vale a dire per larghezze dell'alveo superiori a 30 m. Per alvei di dimensioni inferiori, gli errori connessi alle misure possono essere dello stesso ordine di grandezza delle variazioni stesse, pertanto le misure non sono in genere attendibili.

Differentemente, per quanto riguarda alcuni elementi della funzionalità legati a caratteristiche osservabili nella pianura, è possibile un'analisi da immagini telerilevate, così come per gli **elementi di artificialità**, nel caso non fossero disponibili le informazioni necessarie relative all'ubicazione ed al tipo di opere da parte degli enti competenti preposti al rilascio delle autorizzazioni. Per tali aspetti, le analisi vengono condotte per tutti i tipi di alvei, in quanto anche per corsi d'acqua piccoli o medi è possibile ottenere informazioni su elementi presenti nelle adiacenze dell'alveo ed almeno un primo censimento delle opere di una certa grandezza e tipologia (es. briglie, muri di sponda, ecc.). Gli eventuali punti critici irrisolti vengono esaminati durante le fasi successive sul terreno.

(2) **Campi di applicazione di analisi e misure sul terreno.** Per le attività condotte sul terreno, non esistono limiti in termini di dimensioni degli alvei investigati. I corsi d'acqua piccoli e medi (larghezza dell'alveo inferiore a 30 m) 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 (ad esempio la corretta interpretazione di superfici adiacenti all'alveo).

È necessario prevedere che tutte le informazioni relative alle condizioni geomorfologiche ed alla presenza di opere utili per la valutazione dello stato attuale e per il monitoraggio siano opportunamente georeferenziate e riportate in ambiente GIS, in modo da rendere le elaborazioni ed interpretazioni dei dati facilmente ripetibili e comprensibili.

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).

Per quanto riguarda le **scale spaziali di analisi**, viene adottato un approccio di **suddivisione gerarchica** (*hierarchical nested approach*) per molti aspetti simile a quello definito da [BRIERLEY & FRYIRS \(2005\)](#) nel River Styles Framework. Si fa riferimento alle seguenti **unità spaziali**, con dimensioni progressivamente decrescenti ([Figura 3.2](#)).

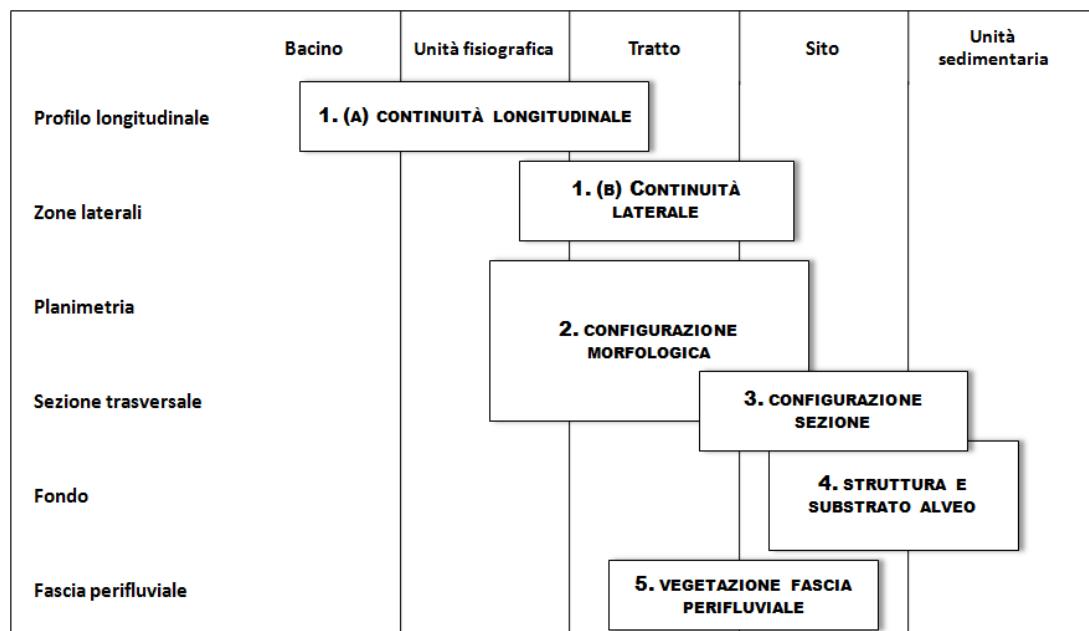


Figura 3.2 – Schema delle scale spaziali e degli aspetti considerati.

1. **Bacino idrografico.** Il bacino idrografico rappresenta l'unità spaziale fondamentale di partenza.
2. **Unità fisiografica e segmento.** Le unità fisiografiche (similmente alle *landscape units* di [BRIERLEY & FRYIRS](#)) 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 (corrispondono alle *geomorphic unit* secondo [BRIERLEY & FRYIRS](#)). 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 (corrisponde alle *hydraulic units* secondo [BRIERLEY & FRYIRS](#)).

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:

- **Scala geologica** ($10^4 \div 10^6$ 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** ($10^2 \div 10^3$ 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 $100 \div 150$ 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.

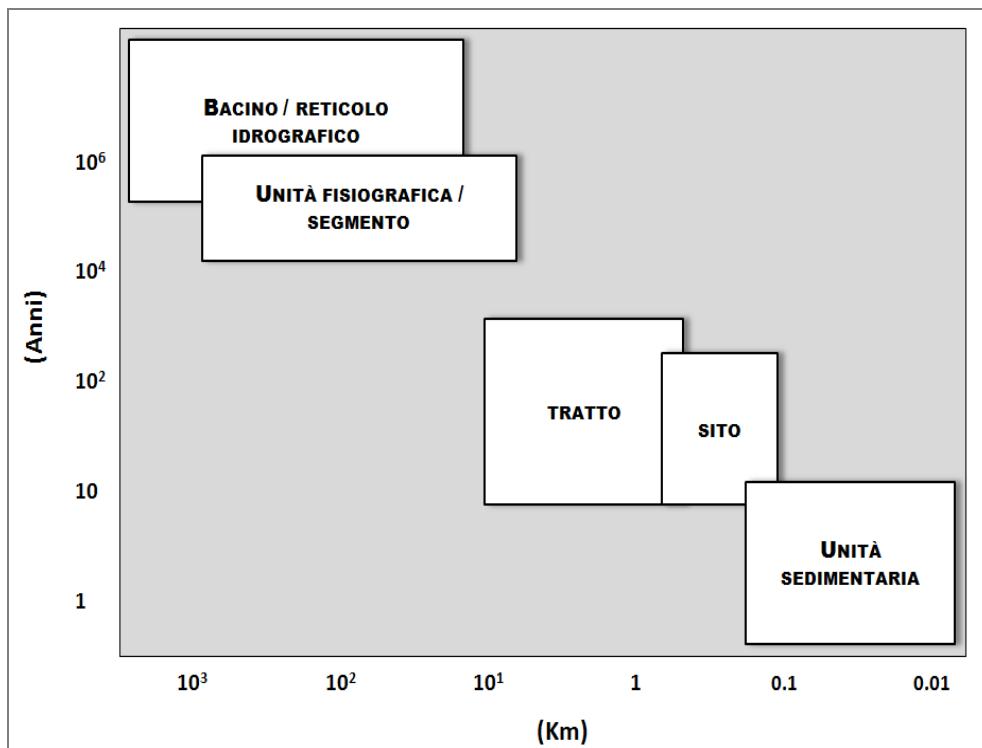


Figura 3.3 – Schema dei rapporti tra scale temporali e scale delle unità spaziali di indagine.

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 3.3](#), 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).

Un altro aspetto rilevante legato alle scale spazio-temporali di indagine è quello dell'**ampiezza della regione fluviale**, intesa in senso trasversale al corso d'acqua, entro la quale effettuare le indagini geomorfologiche. L'individuazione di tale fascia, che non può prescindere da valutazioni di carattere ecologico e funzionale oltre che idromorfologico, deve basarsi sul riconoscimento dello spazio che è sede dei processi associati con il funzionamento del sistema fluviale (o che si vuole che rimanga tale in

ragione delle misure che Piani specifici o lo stesso Piano di gestione dovranno prevedere). Con riferimento ai processi più propriamente geomorfologico-idraulici, come descritto di seguito, l'ampiezza di tale fascia può risultare variabile a seconda dei diversi processi e dei relativi parametri che si intendono misurare, nonché a seconda della scala temporale a cui si fa riferimento (in teoria, il limite esterno di tale fascia si può identificare con l'intera pianura alluvionale).

- (1) Per quanto riguarda gli aspetti legati alla **continuità idraulica laterale** (ad esempio l'identificazione di forme fluviali nella pianura parzialmente disconnesse ma periodicamente riattivabili), può ritenersi significativo fare riferimento almeno alle *aree inondabili con $T=200$ anni*. Tuttavia in molti casi le aree in grado di contenere piene con tale tempo di ritorno sono ristrette a causa della presenza di argini a poca distanza dal corso d'acqua e/o a causa della forte incisione dell'alveo. In tali situazioni è pertanto opportuno fare riferimento all'intera **pianura alluvionale**, identificabile con quanto riportato sulle Carte Geologiche come "Alluvioni attuali" o le Alluvioni più recenti non terrazzate.
- (2) Per quanto riguarda gli aspetti più strettamente legati alla **mobilità laterale** dell'alveo, è più opportuno fare riferimento al concetto di *fascia di mobilità funzionale* o di *fascia erodibile*, definibile come lo spazio disponibile per le migrazioni laterali dell'alveo che il corso d'acqua può potenzialmente rioccupare, riconosciuto sulla base della dinamica passata e futura (potenziale) ([MALAVOI et al., 1998](#); [PIÉGAY et al., 2005](#)). L'ampiezza di tale fascia dipende dalla scala temporale a cui si fa riferimento nella ricostruzione delle variazioni passate (più aumenta tale scala temporale e maggiore è l'ampiezza). Per applicazioni pratiche, si fa in genere riferimento ad un intervallo temporale degli ultimi 100 anni o, più spesso, soprattutto in un contesto fortemente antropizzato come quello italiano, si ritiene sufficientemente significativo l'intervallo degli ultimi 50 anni ([BARUFFI et al., 2005](#); [RINALDI, 2006](#); [RINALDI & SIMONCINI, 2006](#); [RINALDI et al., 2009](#)).

Per la delimitazione della regione fluviale è quindi opportuno integrare il criterio idraulico, finalizzato alla definizione delle aree inondabili, con quello geomorfologico, finalizzato all'individuazione della fascia di mobilità laterale. Complessivamente, l'inviluppo esterno delle due fasce viene ad individuare quella che può essere definita come *fascia di pertinenza fluviale* per i processi geomorfologico-idraulici e che si può considerare come l'ampiezza della regione fluviale di indagine.

Nel caso di **alvei confinati**, per i quali non esiste una fascia di pertinenza fluviale di pianura (oppure essa è estremamente limitata), è opportuno estendere l'analisi di alcuni aspetti (connessione con processi di versante, vegetazione) anche ad una fascia ristretta di versanti a contatto con il corso d'acqua.

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**. Tale 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 \(2002\)](#) e precedentemente richiamati, ma secondo una riorganizzazione sequenziale che comprende nell'ordine ([Tabella 3.1](#)): (1) continuità longitudinale e laterale; (2)

configurazione morfologica (o pattern); (3) configurazione della sezione; (4) struttura e substrato dell'alveo; (5) caratteristiche della vegetazione nella fascia perifluviale.

Si noti che, mentre la continuità longitudinale e laterale sono trattati insieme, la continuità verticale (scambi tra flussi superficiali ed iporreici) è più convenientemente inclusa nel quarto aspetto, in quanto dipende essenzialmente dalla struttura e dal substrato dell'alveo.

Tali aspetti sono in seguito più convenientemente raggruppati nelle tre seguenti categorie:

- (1) **Continuità** (longitudinale e laterale);
- (2) **Morfologia**, comprendente la configurazione morfologica, la configurazione della sezione e la struttura e substrato dell'alveo;
- (3) **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 aspetti morfologici di un corso d'acqua, andandone a modificare direttamente le sue caratteristiche naturali (ad es., modificando la forma o interrompendo la continuità del flusso solido). Tuttavia, anche laddove non ci sono impatti diretti in alveo, si possono innescare processi che favoriscono una degradazione fisica del corso d'acqua (ad esempio attraverso un abbassamento del fondo). Infatti gli impatti antropici possono avere effetti anche ad una certa distanza e gli aggiustamenti morfologici possono

migrare (verso valle o verso monte) all'interno del sistema fluviale. Tali processi dinamici riguardano soprattutto gli alvei fluviali alluvionali a fondo mobile (cioè quelli che sono classificati come non confinati e, in parte, i semiconfinati). In tale ottica, per alcuni aspetti (in particolare variazioni del fondo e di morfologia planimetrica) è opportuno estendere per tali corsi d'acqua l'analisi in maniera retrospettiva ad un intervallo sufficientemente lungo per poter interpretare le variazioni che possono essere in atto al momento attuale nel contesto di disturbi passati. Si ritiene che un intervallo di tempo significativo possa essere quello degli ultimi decenni, a partire dagli anni '50 circa, 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.

Complessivamente, l'analisi morfologica comprende le seguenti fasi ([Figura 3.4](#)):

- (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:** 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.

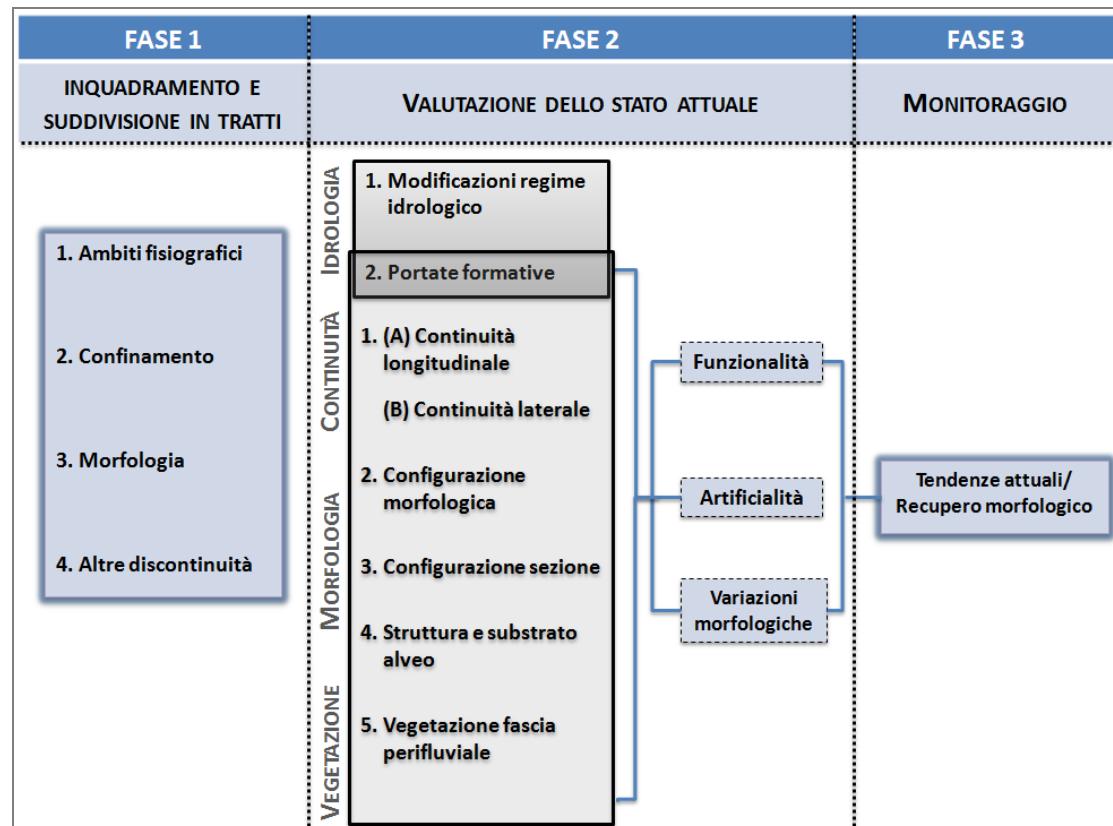


Figura 3.4 – Schematizzazione a blocchi della struttura metodologica.

La struttura complessiva del sistema di valutazione comprende quindi sia aspetti strettamente morfologici che aspetti idrologici e vegetazionali della fascia riparia ([Figura 3.4](#)). Per quanto riguarda gli aspetti idrologici, in questa metodologia vengono

inclusi solo gli aspetti connessi a quelli morfologici, vale a dire le portate formative, mentre le modificazioni del regime idrologico devono essere trattate separatamente. Le variazioni complessive del regime idrologico sono analizzate separatamente e descritte in [ISPRA \(2009\)](#): l'integrazione dei due aspetti permette una completa caratterizzazione e classificazione idromorfologica di un corso d'acqua.

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

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* (che si identifica con la condizione di equilibrio dinamico);
- *assenza di artificialità*;
- *assenza di variazioni* significative di forma, dimensioni e quota del fondo in un arco temporale degli ultimi decenni.

La procedura complessiva prevede l'applicazione in sequenza delle tre precedenti fasi (inquadramento e suddivisione in tratti, valutazione, monitoraggio), con la valutazione dello stato attuale realizzata per tutti i corsi d'acqua principali del bacino: ciò è indispensabile per interpretare complessivamente i trend e le cause di evoluzione. Per esigenze particolari, è possibile procedere all'inquadramento e suddivisione in tratti, alla valutazione e al monitoraggio di un singolo tratto o solo di alcuni tratti. Tuttavia tale procedura, sebbene possa consentire la valutazione del comportamento del singolo tratto, non è in grado di permettere un'adeguata comprensione dei processi e delle cause a scala di bacino e pertanto non può essere utilizzata in maniera appropriata per formulare proposte di gestione.

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.

CAPITOLO 4

INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE DEI CORSI 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 4.1](#) 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 (ad es., nello **STEP 4**) 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.

4.1 Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche (STEP 1)

Scopo: ottenere un primo inquadramento del contesto fisico nel quale sono inseriti i corsi d'acqua ed effettuarne una prima suddivisione in macro-aree (unità fisiografiche) e macro-tratti (segmenti).

Informazioni / dati necessari di base: area del bacino, informazioni su litologie prevalenti, clima e regime idrologico, uso del suolo nel bacino, profili longitudinali dei corsi d'acqua.

Metodi: consultazione di carte geologiche, geomorfologiche, di uso del suolo; studi esistenti; raccolta ed elaborazione dati idrologici; telerilevamento/GIS.

Risultati: vengono individuate le unità fisiografiche attraversate dal corso d'acqua in esame e vengono definiti i segmenti.

Descrizione: vengono inizialmente raccolte varie informazioni e dati che possono essere utili, anche successivamente, per comprendere i possibili condizionamenti fisici sul carattere, sul comportamento e sulle variazioni della configurazione longitudinale dei corsi d'acqua in esame. Tali informazioni comprendono: area del bacino, idrologia, litologia, uso del suolo nel bacino. I profili longitudinali (costruiti dalle carte topografiche disponibili), soprattutto per il corso d'acqua principale ed i maggiori affluenti, possono fornire indicazioni utili, sia per la suddivisione in segmenti che (soprattutto) per la successiva suddivisione in tratti (si veda in seguito).

Tabella 4.1 – Principali unità fisiografiche.

DENOMINAZIONE	NOTE
Settore Alpino e Pianura Padana	
(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% (CASTIGLIONI & PELLEGRINI, 2001) 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).
(4) Bassa pianura	Comprende le porzioni di pianura padana e veneto-friulana con pendenza inferiore a 0.15% (CASTIGLIONI & PELLEGRINI, 2001), con sedimenti in prevalenza fini (ghiaia fine, sabbie e limi).
Settore Appenninico ed Isole	
(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.

Sulla base di questa prima raccolta di informazioni, vengono individuate le principali **unità fisiografiche** attraversate dai corsi d'acqua in esame ([Figura 4.2](#)).

Una prima suddivisione può essere fatta considerando le principali unità descritte in [Tabella 4.1](#). Tali unità si differenziano per aree geografiche (settore alpino-pianura padana; settore appenninico ed isole) e non sono da considerarsi come un elenco esaustivo ma come un primo orientamento. Esse sono riconducibili, ai fini delle fasi successive, a due principali **ambiti fisiografici**: (1) collinare-montuoso; (2) di pianura.

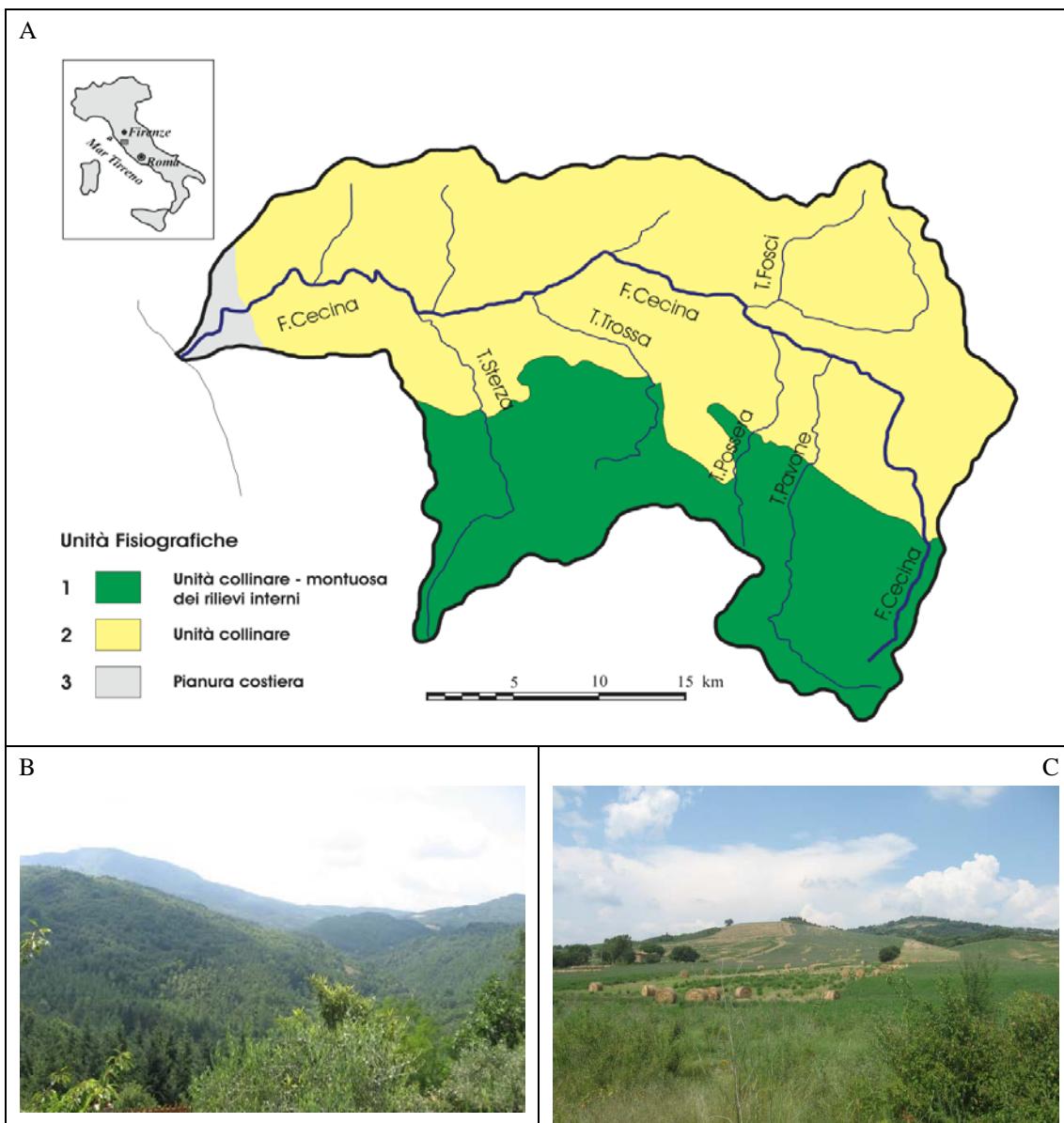


Figura 4.2 – Esempio di suddivisione del bacino del Fiume Cecina (Toscana meridionale) in unità fisiografiche.

(A) Definizione delle unità fisiografiche; (B) Foto panoramica relativa all'unità collinare-montuosa; (C) Foto relativa all'unità collinare.

Per la definizione delle **unità fisiografiche di pianura**, possono essere utili le seguenti precisazioni:

- Le pianure, per essere considerate come unità fisiografiche a sé stanti, devono avere una larghezza significativa (qualche km). I corsi d'acqua all'interno di pianure sono di norma non confinati.
- Nel caso di fasce di pianure di larghezza limitata (ad esempio 1÷2 km) presenti all'interno di bacini prevalentemente collinari o montuosi, esse possono essere incluse in un'unità fisiografica collinare e/o montuosa, seppure si possa tener conto della loro presenza o meno nella definizione dei segmenti (in base al confinamento) (si veda a tal proposito la [Figura 4.3](#)).
- Le tipologie di pianura riportate in [Tabella 4.1](#) sono da considerarsi indicative, soprattutto per il settore appenninico ed isole dove esiste una maggiore variabilità di situazioni ed è difficile effettuare generalizzazioni (per il settore alpino e padano la distinzione tra alta e bassa pianura è consolidata). Nel caso di più tratti di pianura in uno stesso bacino, un'eventuale suddivisione in alta e bassa pianura può avvenire sulla base di un profilo longitudinale della stessa, individuando significative discontinuità di pendenza (non necessariamente coincidenti con il limite utilizzato per il settore alpino-padano). In alcuni casi, quando ad esempio si hanno più porzioni di pianura con pendenze marcatamente differenti, è possibile definire anche unità di media pianura laddove ritenuto significativo.
- Le pianure intermontane sono pianure di dimensioni sufficientemente grandi che sono interrotte a valle da una soglia (chiusura della valle) (per piccole pianure intermontane esse vengono inglobate nell'unità collinare-montana entro la quale si inseriscono).
- Le pianure costiere del settore appenninico ed isole possono essere considerate come bassa pianura quando presentano una sufficiente estensione laterale e continuità con i bacini limitrofi (ovvero si abbandona completamente l'ambito collinare-montuoso) e sono in genere accompagnate anche da una variazione tessiturale dei sedimenti (presenza di sabbie costiere). Le pendenze sono generalmente basse, ma non necessariamente paragonabili alla bassa pianura del settore alpino-padano.

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. All'interno di una stessa unità fisiografica, è possibile distinguere più segmenti in funzione prevalentemente del confinamento (valutato in prima approssimazione, mentre una misura più precisa viene effettuata nello STEP successivo) ([Figura 4.3](#)), delle caratteristiche morfologiche della valle e del profilo longitudinale del corso d'acqua (significative variazioni della pendenza del fondo). In alcuni casi, si può tener conto anche delle principali variazioni di direzione della valle dovute ai principali controlli tettonici dell'area. Si tenga tuttavia presente di evitare un'eccessiva frammentazione dei corsi d'acqua in segmenti. Essi di norma hanno lunghezze che variano da qualche km, soprattutto nelle porzioni montuose del bacino, fino all'ordine di decine di km nelle porzioni di pianura.

Suddivisione in unità fisiografiche e segmenti

L'analisi parte da una suddivisione del reticolo idrografico in aree e tratti relativamente omogenei. Si possono distinguere le seguenti fasi:

1. Si delimitano arealmente le diverse unità fisiografiche ([Figura 4.2](#)).
2. Dall'intersezione dei limiti delle unità fisiografiche con i corsi d'acqua si determina una prima suddivisione in segmenti ([Figura 4.3](#)). 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. Per quanto riguarda il corso d'acqua o i corsi d'acqua principali del bacino, nei loro tratti di pianura, il segmento ha di norma lunghezze maggiori, generalmente dell'ordine di diversi km (ma anche in questo caso non esiste un limite inferiore rigido).
5. Il grado di confinamento valutato in prima approssimazione (tratti prevalentemente confinati, semiconfinati o non confinati) ([Figura 4.3](#)), la direzione della valle, quando ritenuta significativa (soprattutto nelle porzioni collinari montane dei principali corsi d'acqua si può tenere conto di marcate variazioni di direzione legate a controlli tettonico-strutturali), e le variazioni più significative della pendenza del fondo possono essere elementi da considerare per un'ulteriore suddivisione in segmenti.

Altre informazioni / dati: 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***.

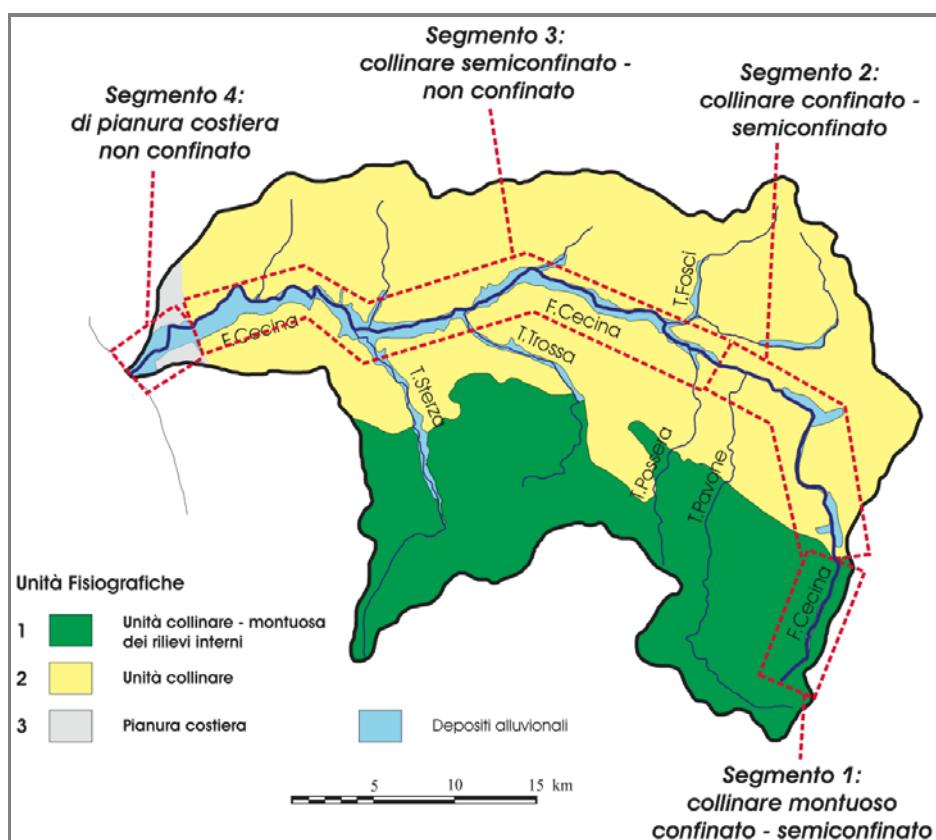


Figura 4.3 – Esempio di suddivisione in segmenti del Fiume Cecina.

Si noti che i segmenti 1 e 4 corrispondono ad unità fisiografiche (si veda [Figura 4.2](#)), mentre i segmenti 2 e 3 derivano da un'ulteriore suddivisione in base ai caratteri di confinamento nell'attraversamento dell'unità collinare.

4.2 Definizione del grado di confinamento (STEP 2)

Scopo: attraverso questo STEP vengono caratterizzate più in dettaglio le condizioni di confinamento, procedendo ad una (eventuale) preliminare suddivisione dei segmenti in tratti.

Informazioni / dati necessari: larghezza pianura, grado di confinamento, indice di confinamento.

Metodi: telerilevamento / GIS, carte topografiche e geologiche.

Risultati: i segmenti vengono suddivisi in base al confinamento.

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

- GRADO DI CONFINAMENTO (Gc).

Si tratta del grado di confinamento laterale considerato in senso longitudinale, alla scala del segmento o del tratto, cioè a prescindere dall'ampiezza della pianura, e corrisponde alla percentuale di lunghezza del corso d'acqua con sponde non a contatto con la pianura, bensì con versanti o terrazzi antichi. In altri termini esprime la percentuale di lunghezza di un tratto in cui si verifica o meno (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: si veda [paragrafo 3.3](#)), identificabile generalmente nella Carta Geologica con le “*Alluvioni attuali*” o “*Alluvioni oloceniche*”. Al criterio cronologico è necessario però associare anche un criterio altimetrico. Se le Alluvioni sono terrazzate, solo in presenza di scarpate di alcuni metri (indicativamente fino a 4-5 m) le Alluvioni vanno considerate come parte della pianura. Un terrazzo olocenico di 10÷15 m non fa quindi parte della pianura alluvionale. Al contrario un terrazzo pleistocenico separato da un dislivello di pochi metri dall'alveo può essere incluso nella pianura, a meno che non sia costituito da depositi fortemente cementati. In ogni caso i terrazzi che determinano il confinamento sono quelli antichi (olocenici e pleistocenici) e non eventuali terrazzi connessi all'incisione recente (ultimi 50-100 anni) dell'alveo. In prossimità della foce la pianura può includere i depositi costieri moderni (dune attuali e recenti, sabbie di spiaggia attuale, sabbie eoliche recenti, ecc.) che siano in continuità morfologica e che presentino caratteristiche di cementazione o addensamento simili a quelle dei depositi fluviali.

Come si misura

La misura viene effettuata con strumenti GIS. Per un determinato tratto, si misura come rapporto tra somma delle lunghezze delle sponde in diretto contatto con versanti o terrazzi antichi (aspetto valutato con l'ausilio della carta geologica e della carta topografica) e lunghezza totale delle due sponde, espresso in percentuale.

La definizione del confinamento può essere in una certa misura soggettiva, in quanto dipende dalla lunghezza di corso d'acqua a cui si fa riferimento. Tuttavia, essendo fatta alla scala del tratto, bisogna tener conto della lunghezza dello stesso, che come precisato precedentemente è di norma dell'ordine di qualche km (generalmente da 1 a 5 km). La definizione dei tratti si basa anche su altri elementi di omogeneità (definiti in seguito), pertanto una prima suddivisione in base al confinamento deve essere successivamente riverificata (STEP 4).

In base al grado di confinamento così definito, [BRIERLEY & FRYIRS \(2005\)](#) distinguono i tre seguenti casi:

1. Alveo confinato: pianura assente. Oltre il 90% delle sponde è direttamente in contatto con versanti o terrazzi antichi. Eventualmente la pianura è ristretta a punti isolati (meno del 10% della lunghezza del tratto). Tipico di ambiti montani e collinari, oppure può essere presente lungo fiumi di pianura limitatamente a tratti di separazione (soglie rocciose) tra bacini diversi.
Si noti che nel computo del confinamento vengono inclusi nei versanti di una valle anche i *conoidi*, sia che essi siano di origine alluvionale (ovvero formati da processi fluviali in senso stretto) che derivanti da colate detritiche o di fango. Infatti i depositi dei conoidi, seppur incoerenti, si caratterizzano spesso per una granulometria più grossolana rispetto a quella del corso d'acqua principale e quindi determinano una forte azione di condizionamento laterale ed altimetrica. Il confinamento può inoltre essere determinato dalla presenza di corpi di frana o di falde detritiche.
2. Alveo semiconfinato (o parzialmente confinato): pianura discontinua. Le sponde sono a contatto con pianura alluvionale per una lunghezza compresa tra il 10 ed il 90% della lunghezza del tratto. Tipico delle principali valli alpine, di zone pedemontane (all'uscita dall'ambito montuoso-collinare e all'ingresso nel fondovalle alluvionale), oppure può essere presente in tratti di separazione (soglie rocciose) tra bacini diversi.
3. Alveo non confinato: pianura continua. Meno del 10% dei margini dell'alveo sono a contatto con i versanti o terrazzi antichi. Le sponde sono quindi completamente deformabili, in modo tale che l'alveo è completamente libero di rimodellare i suoi limiti esterni. È tipico delle aree di pianura, ove l'alveo scorre in depositi alluvionali distante dai versanti. Tuttavia, anche in ambito montuoso o collinare un alveo può presentarsi non confinato. È il caso di valli glaciali aventi un fondovalle molto ampio, oppure di conoidi alluvionali di una certa dimensione, dove il corso d'acqua (ad esempio un piccolo torrente) che lo ha formato si ritrova distante dai versanti e quindi, in analogia con i fiumi di pianura, ha massima libertà di rimodellare le sponde e modificare il proprio tracciato (processi di avulsione). Tuttavia, per essere classificabile come non confinato, il corso d'acqua deve essere in contatto con un conoide recente (formato in condizioni idrologiche simile alle attuali), e non con le scarpate di conoidi antichi, spesso incisi, i quali risultano assimilabili a terrazzi antichi. Quindi il corso d'acqua principale di una valle anche molto ampia, si può presentare localmente *confinato* da uno o più conoidi laterali, sui quale scorrono affluenti che localmente (lungo i tratti di conoide) possono essere *non confinati*.

In alcuni casi (in particolar modo in ambiente collinare-montuoso), il grado di confinamento così definito non si ritiene sufficiente a caratterizzare tale proprietà fisica. Infatti, non è infrequente il caso di alvei montani che non scorrono a diretto contatto con i versanti bensì presentano ai margini una pianura di larghezza molto limitata (dell'ordine dei metri). Secondo la definizione di grado di confinamento, tali casi potrebbero essere classificati come semiconfinati (se non addirittura non confinati), mentre si ritiene più appropriata l'attribuzione alla classe degli alvei confinati. A tal fine si fa ricorso ad un criterio aggiuntivo basato sulla larghezza relativa della pianura, ovvero ad un altro parametro (indice di confinamento) che descrive il confinamento in senso trasversale, come di seguito descritto.

- INDICE DI CONFINAMENTO (IC).

È qui 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*.

Tabella 4.2 – Definizione delle classi di confinamento sulla base del grado e dell'indice di confinamento.

CLASSE DI CONFINAMENTO	DESCRIZIONE
<i>Confinati</i>	Tutti i casi con grado di confinamento > 90%
	Grado di confinamento compreso tra 10% e 90% e indice di confinamento ≤ 1.5
<i>Semiconfinati</i>	Grado di confinamento compreso tra 10% e 90% e indice di confinamento > 1.5
	Grado di confinamento $< 10\%$ e indice di confinamento $\leq n$
<i>Non confinati</i>	Grado di confinamento $< 10\%$ e indice di confinamento $> n$

Il valore più elevato per alvei a canale singolo è legato al fatto che corsi d'acqua di questo tipo, per poter sviluppare meandri liberi (confinamento basso), necessitano di una pianura di una certa ampiezza, pari a circa 4.5 volte la larghezza dell'alveo ([LEOPOLD & WOLMAN, 1957](#)).

Sulla base del grado e dell'indice di confinamento, è quindi possibile definire le tre classi di confinamento secondo quanto specificato in [Tabella 4.2](#).

Come si misura

Per alvei sufficientemente grandi si misura con strumenti GIS, perpendicolarmente all'asse dell'alveo, ma viene mediato per estensioni longitudinali di tratti dove tale parametro si mantiene relativamente omogeneo. La spaziatura longitudinale delle sezioni da misurare può essere variabile, ma ai fini della classificazione è sufficiente un numero limitato di misure (minimo 3), da effettuare in un tratto in cui tale caratteristica si mantiene relativamente omogenea ed assumerne il valore medio. Per la delimitazione della pianura è necessario l'utilizzo di carte topografiche a scala adeguata (1:10.000 o 1:5.000) a supporto della carta geologica, soprattutto nel caso di alvei di piccole dimensioni e per sviluppi della pianura limitati.

Sulla base del confinamento, i segmenti precedentemente individuati vengono suddivisi preliminary in tratti ([Figura 4.4](#)).

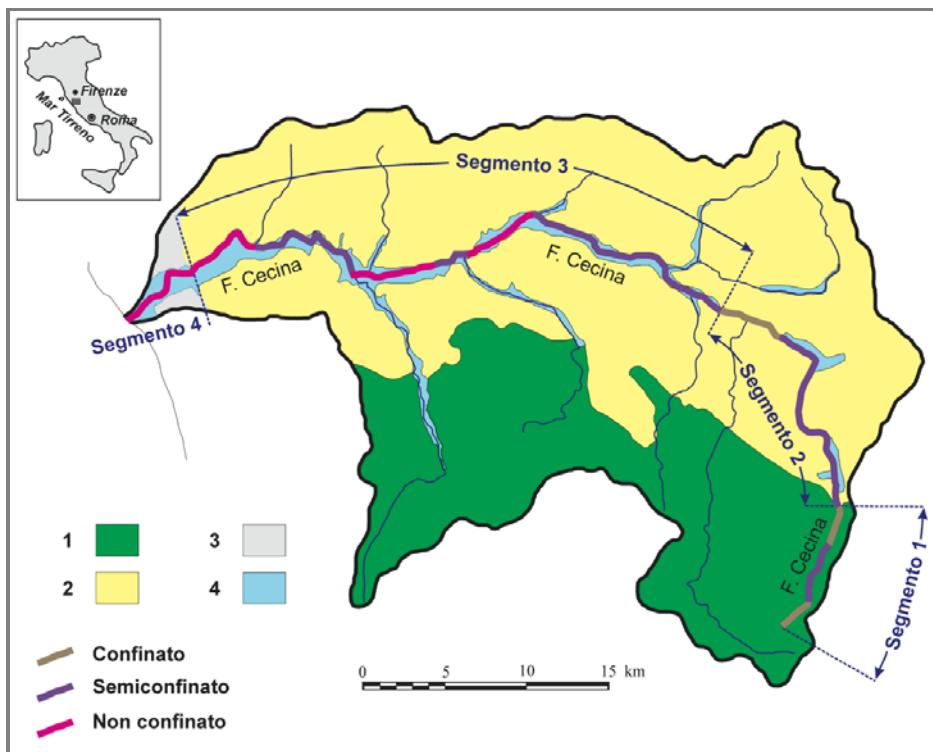


Figura 4.4 – Esempio di suddivisione dei segmenti del Fiume Cecina in base al confinamento. (A seguito di questo STEP sono stati individuati preliminarmente 11 tratti. 1: Unità collinare-montuosa; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali).

4.3 Definizione della morfologia dell'alveo (STEP 3)

Scopo: attraverso questo STEP si procede ad una definizione delle morfologie fluviali presenti.

Informazioni / dati necessari: ambito fisiografico, confinamento, indice di sinuosità, indice di intrecciamento, indice di anastomizzazione, configurazione del fondo (necessario nella classificazione di secondo livello: si veda in seguito).

Metodi: telerilevamento / GIS

Risultati: i segmenti vengono suddivisi in base alla morfologia dell'alveo.

Descrizione: 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, secondo lo schema riportato in [Figura 4.5](#) e di seguito descritto.

- (1) Nel caso di **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 [CAPITOLO 5](#)), 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.

- (2) Nel caso di **ambito di pianura**, i corsi d'acqua sono necessariamente di tipo non confinato o semiconfinato e vengono classificati esclusivamente in base alla forma planimetrica. Anche in questo caso, nel caso di alvei a canale singolo ad un **secondo livello di classificazione** viene descritta la configurazione del fondo (durante la fase di valutazione sul terreno), fintantoché il fondo risulta visibile, ma tale aspetto assume un valore puramente descrittivo e non discriminante ai fini della classificazione stessa.

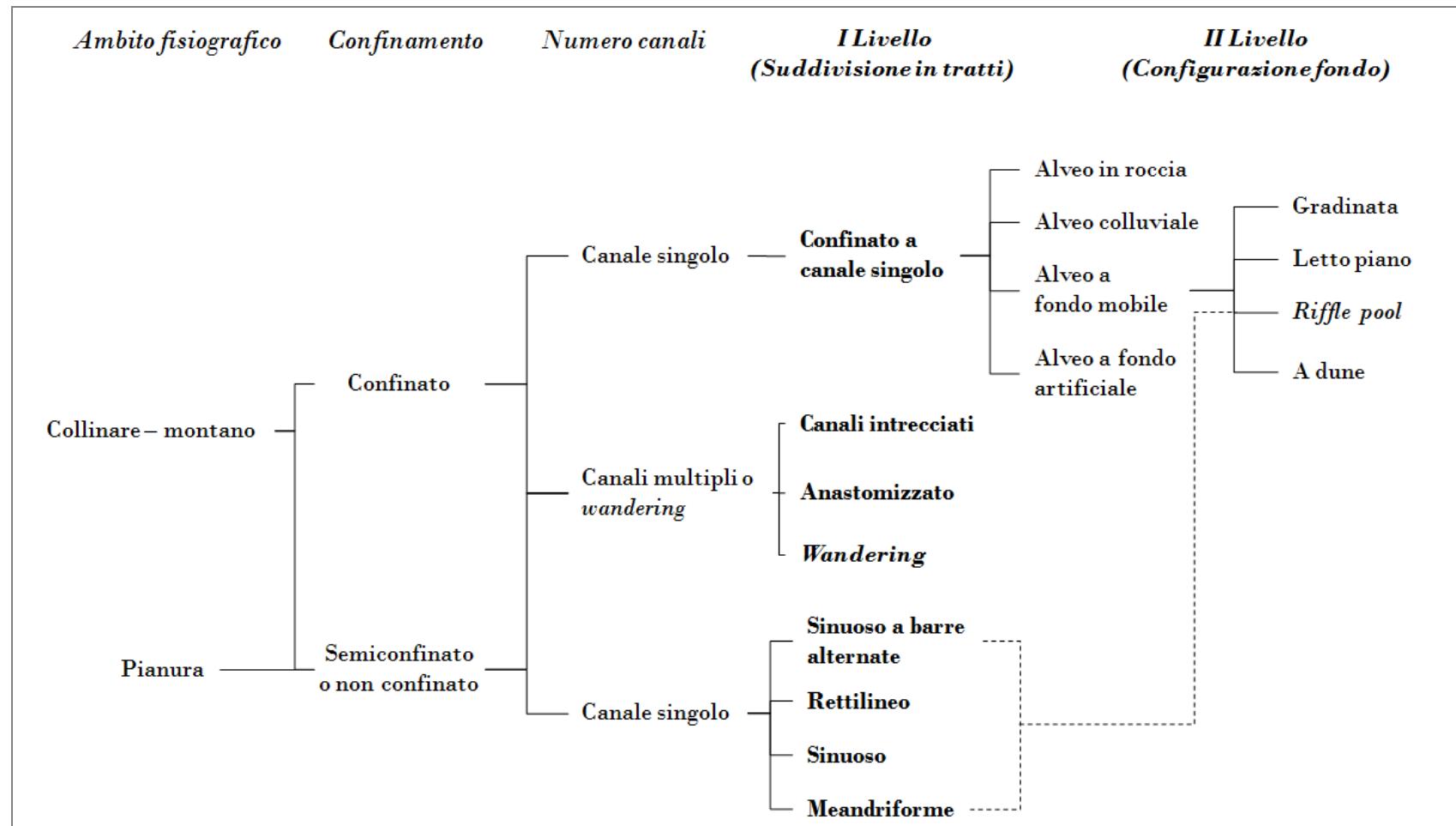


Figura 4.5 – Criteri di classificazione morfologica basata sul tipo di ambito fisiografico, sul confinamento, sulla forma planimetrica e sulla configurazione del fondo.

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).

4.3.1 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, intrecciamiento ed anastomizzazione, descritti in dettaglio di 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 (si veda [in seguito](#)).

L'**alveo** (identificabile anche con il termine alveo pieno o di "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 ([Figura 4.6](#)). 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.

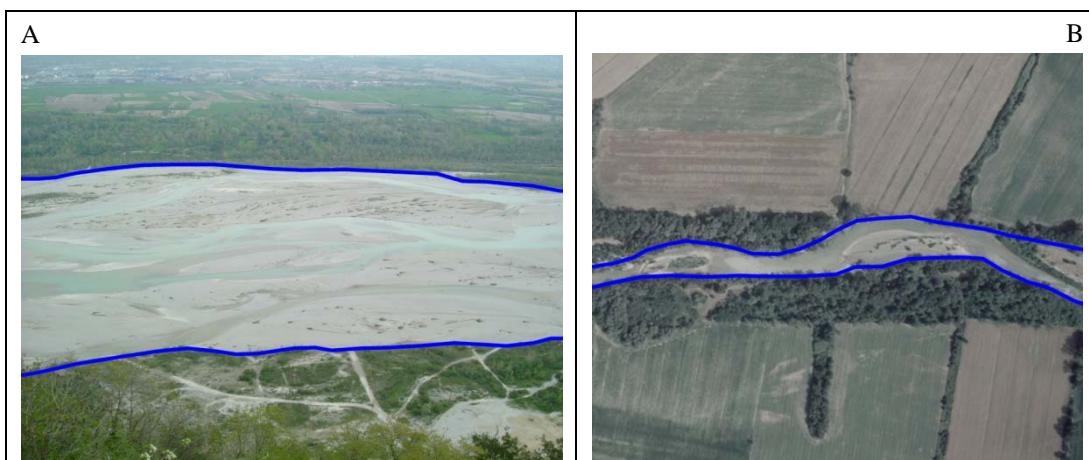


Figura 4.6 – Delimitazione dell'alveo per corsi d'acqua sufficientemente larghi (larghezza > 30 m).

Le linee blu rappresentano le sponde dell'alveo. A) Esempio relativo ad un tratto del F. Tagliamento; B) esempio relativo ad un tratto del F. Cecina.

- 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.

Come si misura

La misura dell'indice di sinuosità si effettua quasi sempre da immagini telerilevate in ambiente GIS previa georeferenziazione delle immagini. Le operazioni da effettuare sono le seguenti:

1. Delimitazione dell'alveo (nel caso di alvei sufficientemente larghi).
2. Tracciamento dell'asse dell'alveo: si definisce la linea mediana dell'alveo (equidistante ai due limiti esterni).
3. Tracciamento dell'asse del tracciato planimetrico del corso d'acqua ([Figura 4.7](#) e [Figura 4.8](#)): rappresenta la direzione lungo la quale si sviluppa il tracciato planimetrico del corso d'acqua (coincide con l'asse di orientazione del corso d'acqua o di inviluppo dei meandri, secondo [MALAVOI & BRAVARD, 2010](#), e con l'asse della fascia fluviale, secondo [BRICE, 1964](#)). Tale asse tiene conto di tutte le variazioni significative di direzione del tracciato complessivo (di norma per lunghezze del corso d'acqua comunque non inferiori a circa 20 volte la larghezza dell'alveo). Quando si verifica un cambiamento di direzione del tracciato, si individua una sezione singolare sul corso d'acqua e se ne identifica il punto di intersezione con l'asse dell'alveo ([Figura 4.7](#)). Gli estremi dei due segmenti di asse del tracciato planimetrico saranno associati univocamente a tale punto dell'asse dell'alveo tracciandone le rispettive perpendicolari passanti per quel punto. Nel caso di alvei confinati privi di pianura alluvionale, l'asse del tracciato planimetrico si identifica con l'asse dell'alveo (in questi casi l'indice di sinuosità risulterà quindi pari ad 1).
4. Si misurano la lunghezza del corso d'acqua tra i due estremi del tratto lungo l'asse dell'alveo, la corrispondente lunghezza lungo l'asse del tracciato planimetrico e se ne fa il rapporto ([Figura 4.8](#)).

Nei casi di alvei di piccole dimensioni, sebbene non sia possibile la delimitazione dell'alveo da immagini telerilevate, l'asse dell'alveo si fa coincidere in pratica con il tracciato del corso d'acqua così come visibile dall'immagine. Nei casi in cui non fosse possibile la determinazione dell'asse dell'alveo da foto aeree (ad esempio nel caso di estrema copertura vegetale che ne impedisce l'identificazione), la misura può essere effettuata in alternativa sul terreno tramite rilievo planimetrico (con GPS o stazione totale).

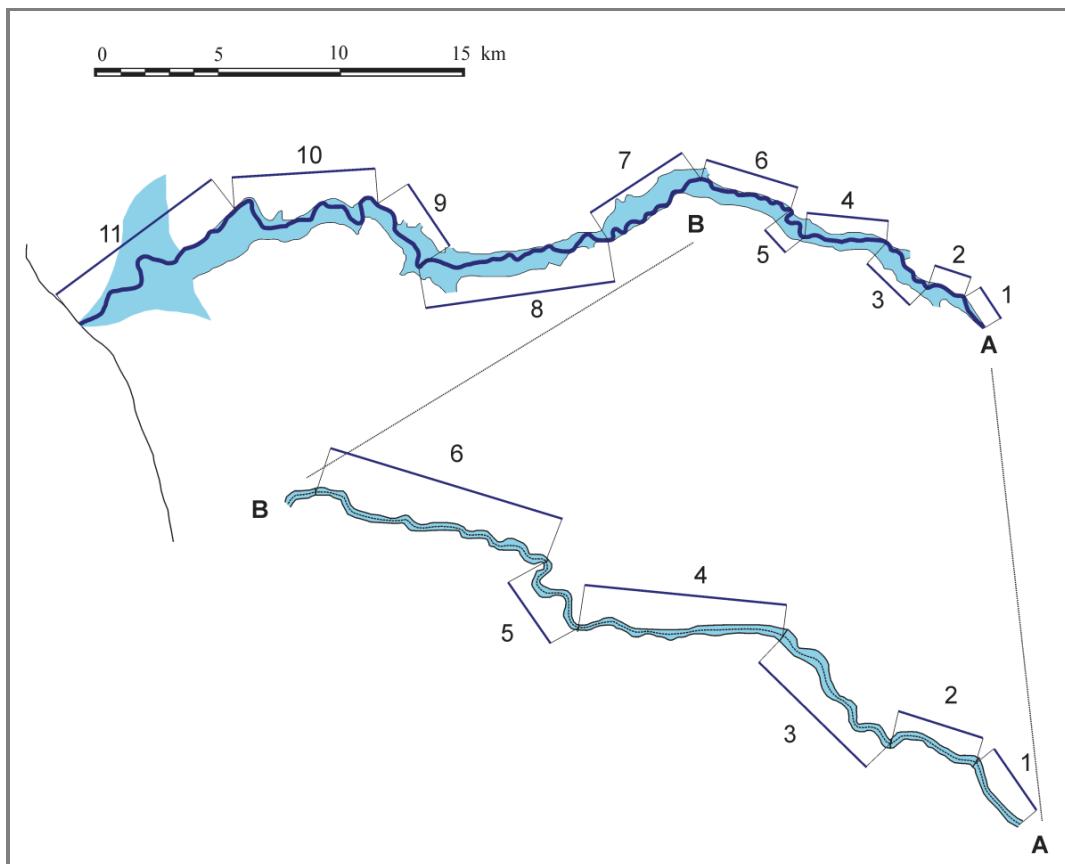


Figura 4.7 – Esempio di definizione dell'asse del tracciato planimetrico per tutta la porzione di fiume dove è necessario misurare l'indice di sinuosità.

In basso si riporta più in dettaglio il tratto AB per mettere in evidenza le sezioni di variazione dell'asse del tracciato planimetrico (la linea centrale rappresenta l'asse dell'alveo).

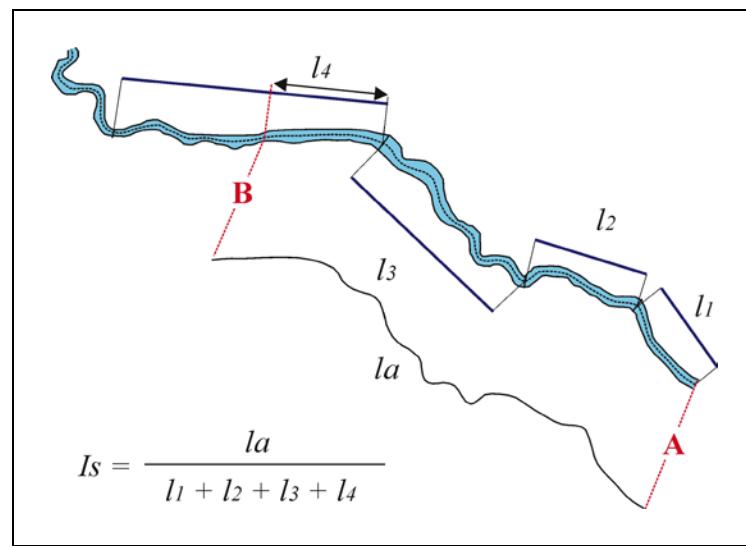


Figura 4.8 – Misura dell'indice di sinuosità in un tratto compreso tra i punti A e B con variazioni dell'asse del tracciato planimetrico.

(la : lunghezza misurata lungo l'asse dell'alveo; $l_1 + \dots + l_4$: lunghezza misurata lungo l'asse del tracciato planimetrico).

- INDICE DI INTRECCIAMENTO (II).

Si definisce come il numero di canali attivi separati da barre.

Come si misura

La misura dell'indice di intrecciamento si effettua, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate (generalmente foto aeree). Le operazioni da effettuare sono le seguenti ([Figura 4.9](#)):

1. Si stabilisce un passo spaziale lungo l'asse dell'alveo di sezioni lungo le quali vengono effettuate le misure. Nella fase di inquadrato iniziale, può essere sufficiente utilizzare un passo relativamente ampio (dell'ordine di 2 o più volte la larghezza media dell'alveo nel tratto), scelto anche in funzione della lunghezza del tratto (ridurre l'interdistanza se il tratto è breve) e la frequenza o meno di più canali.
2. Per ogni sezione si misura il numero di canali attivi. Vengono considerati quei canali che presentano una certa continuità di flusso idrico. Tale operazione può presentare un certo grado di soggettività e può risentire soprattutto dei livelli idrometrici presenti durante la ripresa aerea. Per minimizzare gli errori, è necessario escludere dalle misure foto aeree relative a situazioni estreme (deflussi molto bassi o eventi di piena) in quanto possono portare a stime poco significative dell'indice.
3. Il valore finale dell'indice di intrecciamento corrisponde al valore medio delle misure effettuate nel tratto.

Nei casi di alvei di piccole o medie dimensioni, per i quali non è agevole la determinazione dell'indice da immagini, la misura viene effettuata sul terreno, limitandosi in questo caso alla scala del sito di rilevamento.

Si noti che, in questa fase di classificazione morfologica, è necessario verificare il valore di questo parametro solo nel caso di una presenza significativa di più canali attivi, essendo il valore di soglia al di sopra del quale definire un alveo a canali intrecciati pari a 1.5 (si veda dopo).

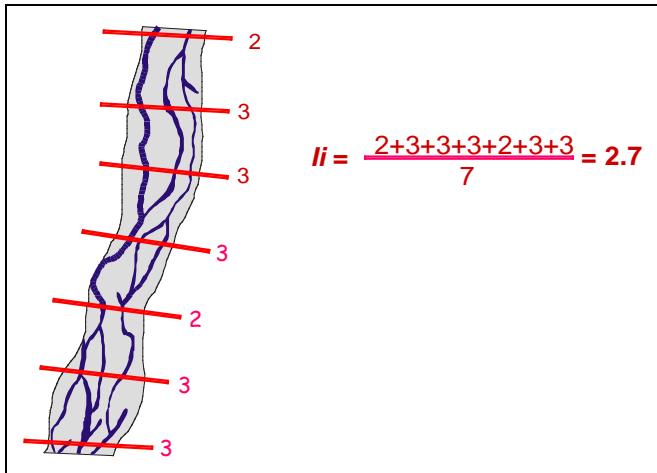


Figura 4.9 – Misura dell'indice di intrecciamento.

- INDICE DI ANASTOMIZZAZIONE (IA).

Si definisce come il numero di canali attivi separati da isole fluviali.

Come si misura

La misura dell'indice di anastomizzazione si effettua, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate. Le operazioni da effettuare sono analoghe a quelle per la misura dell'indice di intrecciamento, vale a dire ([Figura 4.10](#)):

1. Si stabilisce un passo spaziale lungo l'asse dell'alveo di sezioni lungo le quali vengono effettuate le misure (seguendo con criteri analoghi all'indice di intrecciamento).
2. Per ogni sezione si misura il numero di canali separati da isole. Anche in questo caso vengono considerati quei canali che presentano una certa continuità di flusso idrico e vanno escluse situazioni idrologiche estreme.
3. Il valore finale dell'indice di anastomizzazione corrisponde al valore medio delle misure effettuate nel tratto.

Nei casi di alvei di piccole o medie dimensioni, la misura può essere effettuata sul terreno, limitandosi in questo caso alla scala del sito di rilevamento.

Si noti che, in questa fase di classificazione morfologica, è necessario verificare il valore di questo parametro solo nel caso di una presenza significativa di più canali separati da isole, essendo il valore di soglia al di sopra del quale definire un alveo anastomizzato pari a 1.5 (si veda dopo).

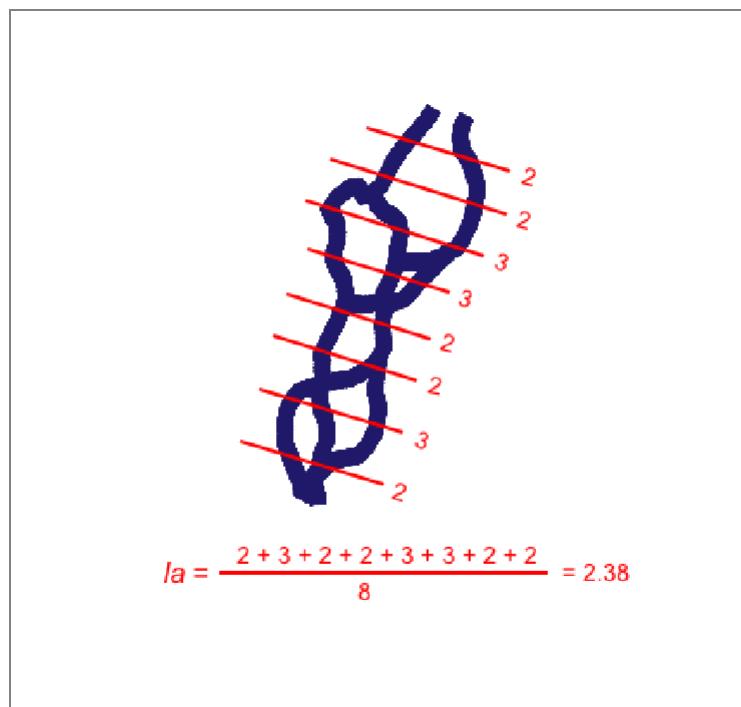


Figura 4.10 – Misura dell'indice di anastomizzazione.

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.

TIPOLOGIE BASATE SULLA FORMA PLANIMETRICA

- **Rettilineo.** Si tratta di corsi d'acqua a canale singolo, quindi con indice di intrecciamiento generalmente pari o prossimo ad 1, e con un indice di sinuosità inferiore ad 1.05 ([BRICE, 1975](#); [MALAVOI & BRAVARD, 2010](#)). In genere sono indicativi di situazioni artificiali ([Figura 4.11](#)), in quanto si tratta di una morfologia rara in natura e, quando presente, generalmente non si riscontra per tratti più lunghi di 10 volte la larghezza dell'alveo.



Figura 4.11 – Alveo rettilineo (F.Chiese).

- **Sinuoso.** A differenza dei rettilinei, gli alvei di tipo sinuoso hanno un indice di sinuosità superiore ad 1.05 ([Figura 4.12](#)). [BRICE \(1984\)](#) indica alvei a bassa sinuosità quando l'indice è inferiore ad 1.3, e sinuoso-meandriformi quando è superiore, ma il valore superiore comunemente più accettato, che separa i sinuosi dai meandriformi, è quello di 1.5 ([LEOPOLD & WOLMAN, 1957](#)). Sia negli alvei sinuosi che anche nei rettilinei possono essere presenti barre, prevalentemente di tipo laterale che spesso si alternano sui due lati. Tuttavia, a differenza dei transizionali, tali barre non sono mai presenti in maniera continua ai lati del canale, cioè la lunghezza delle barre laterali è di norma inferiore indicativamente all'80÷90% del tratto (per tale parametro si veda il [punto \(2.4\) del CAPITOLO 6](#)). È possibile la presenza locale di isole fluviali, ma l'indice di anastomizzazione si mantiene sempre basso (e comunque inferiore ad 1.5).



Figura 4.12 – Alveo di tipo sinuoso.

- **Meandriforme.** Si tratta di un alveo a canale singolo (indice di intrecciamento generalmente pari o prossimo ad 1), caratterizzato da un andamento sinuoso con la formazione di una successione più o meno regolare di meandri ([Figura 4.13](#)). Il principale parametro caratterizzante tale morfologia è l'indice di sinuosità: [LEOPOLD & WOLMAN \(1957\)](#) classificarono meandriformi gli alvei con indice superiore ad 1.5. Seppure tale valore limite (come altri) presenta una certa arbitrarietà, esso è comunemente accettato in letteratura ed è adottato in questa metodologia. Sono possibili varie sotto-categorie di alvei meandriformi, quali ad esempio: (a) meandriformi canaliformi privi di barre di meandro, generalmente caratteristici di tratti di pianura a bassa pendenza e con trasporto solido al fondo limitato; (b) meandriformi con barre di meandro e canali di taglio (*chute cut-off*), nei quali l'indice di intrecciamento può essere localmente più elevato (proprio per la presenza di canali di taglio), e la lunghezza di barre laterali può assumere valori relativamente elevati. È possibile la presenza locale di isole fluviali, ma l'indice di anastomizzazione si mantiene sempre basso (e comunque inferiore ad 1.5).



Figura 4.13 – Alveo di tipo meandriforme (F.Adda).

- **Transizionale.** Rientrano in questa categoria alcune morfologie che presentano caratteri intermedi tra le altre principali tipologie (sinuosi,

meandriformi, canali intrecciati, anastomizzati). In quanto tali, esistono maggiori difficoltà a definire univocamente dei valori di soglia dei tre indici caratteristici, pertanto in tal caso si ricorre, per la loro definizione, anche ad altre caratteristiche, alcune delle quali derivanti da osservazioni qualitative. La caratteristica comune alle morfologie qui indicate come transizionali consiste nel fatto che esse presentano un alveo relativamente largo e poco profondo, costituito in gran parte da barre emerse, le quali occupano una percentuale elevata dell'area dell'alveo, in maniera simile agli alvei a canali intrecciati, ma a differenza di questi ultimi l'intrecciamento è più basso o addirittura assente. Tale caratteristica si può meglio sintetizzare attraverso la lunghezza delle barre laterali (per la misura di tale parametro si veda il [punto \(2.4\)](#) del CAPITOLO 6) che, in tali alvei, presenta un valore particolarmente elevato, di norma almeno superiore all'80%, spesso > 90% (vale a dire sono presenti barre laterali senza soluzione di continuità da un lato o dall'altro del corso d'acqua). Il canale di magra divaga all'interno dell'alveo, alternando continuamente la sua posizione sui due lati, e scorrendo quindi spesso a contatto con una delle due sponde. In base principalmente alle caratteristiche di intrecciamento, possono essere distinte due **sotto-tipologie**:

1. **Wandering** ([Figura 4.14A](#)), sono quegli alvei che presentano un alveo relativamente più largo, con situazioni locali di intrecciamento piuttosto diffuse (quindi un indice superiore ad 1, ma inferiore ad 1.5), oltre che situazioni locali di anastomizzazione, cioè presenza locale di isole (quindi anche l'indice di anastomizzazione può essere superiore ad 1). [CHURCH \(1983\)](#) introdusse il termine *wandering* proprio per indicare una situazione di transizione tra anastomizzato e meandriforme, ma successivamente il termine è stato esteso ed adoperato più comunemente a situazioni di transizione tra meandriformi e canali intrecciati.
2. **Sinuoso a barre alternate** ([Figura 4.14B](#)): hanno caratteristiche simili ai precedenti, ma l'alveo in genere è relativamente meno largo e presenta minori situazioni di intrecciamento (indice prossimo ad 1). Analogamente ai *wandering*, essi sono caratterizzati da una sostanziale differenza in dimensioni e pattern planimetrico tra canale di magra ed alveo di piena, con un canale stretto e fortemente sinuoso che scorre all'interno di un alveo in condizioni formative (*bankfull*) con una sinuosità medio-bassa (indice tra 1.05 ed 1.45) ([RINALDI, 2003](#)). Per quest'ultima caratteristica alcuni autori hanno a volte adottato anche il termine di "pseudomeandriformi" (*pseudomeandering*) ([TERUGGI & BILLI, 1998](#); [BARTHOLDY & BILLI, 2002](#)) o anche con lo stesso termine *wandering* ([BILLI, 1988](#)).

Si noti che, benché entrambe queste tipologie siano transizionali, in seguito i corsi d'acqua di tipo *wandering* vengono spesso raggruppati con quelli a canali multipli mentre i sinuosi a barre alternate vengono piuttosto assimilati agli alvei a canale singolo.

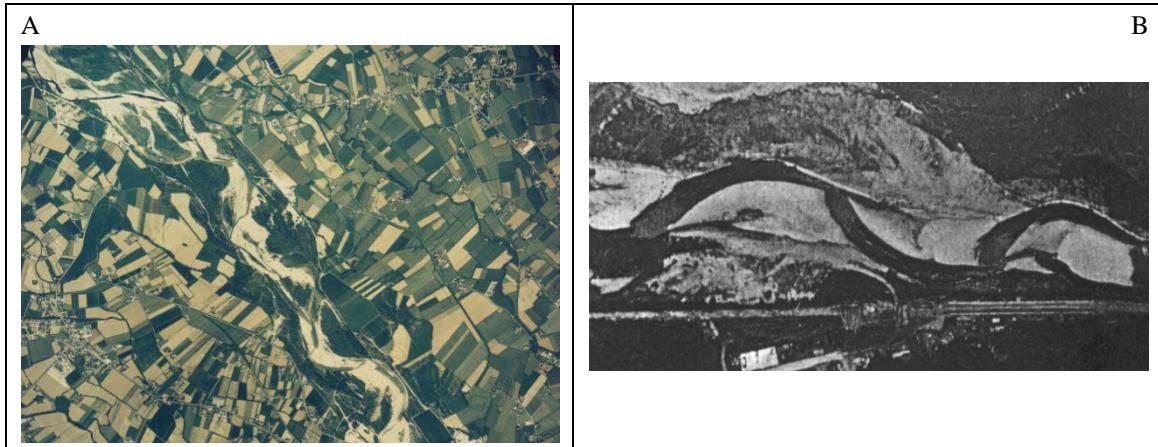


Figura 4.14 – Alvei con morfologie transizionali: A) *wandering*; B) sinuoso a barre alternate.

- **Canali intrecciati.** Si tratta di alvei caratterizzati dalla presenza di più canali separati da barre ([Figura 4.15](#)). Il parametro caratterizzante in questo caso è l'indice di intrecciamento: anche per questo indice, in letteratura i valori di soglia proposti non sono sempre omogenei. In questo caso si ritiene che corsi d'acqua con valori superiori ad 1.5 possono essere definiti come a canali intrecciati. Anche in questo caso si possono distinguere varie sotto-tipologie, principalmente: (a) alvei a *braid bars*: i canali sono separati per la quasi totalità da barre, tipici dei tratti pedemontani a più elevata energia; (b) alvei a *braid islands*: sono presenti in numero significativo anche isole fluviali, le quali denotano un passaggio a condizioni di energia leggermente inferiore e/o una tendenza dell'alveo ad allargarsi. Per gli alvei a canali intrecciati l'indice di sinuosità (misurato considerando l'alveo complessivo, in condizioni formative o di *bankfull*) non è molto significativo, e comunque è di norma prossimo ad 1. L'indice di anastomizzazione è prossimo ad 1 negli alvei a *braid bars*, mentre è più elevato (comunque inferiore ad 1.5) negli alvei a *braid islands*.



Figura 4.15 – Alveo a canali intrecciati (Fiume Tagliamento).

- **Anastomizzato.** Si tratta di alvei caratterizzati dalla presenza di più canali separati da isole vegetate, cioè superfici all'incirca alla stessa quota della pianura inondabile ([Figura 4.16](#)). A differenza degli alvei a canali intrecciati, nei quali in condizioni formative le barre sono completamente sommerse ed il corso d'acqua perde i caratteri di pluricursale (eccetto laddove siano presenti isole), nel caso degli alvei anastomizzati il pattern rimane pluricursale anche in condizioni di portata ad alveo pieno. Il parametro caratterizzante è l'indice di anastomizzazione: analogamente al caso degli alvei a canali intrecciati, si pone pari ad 1.5 il valore di soglia, al di sopra del quale un corso d'acqua si considera anastomizzato. L'indice di intrecciamento di norma è prossimo ad 1, mentre l'indice di sinuosità (calcolato come media dei singoli canali) può essere relativamente elevato, in quanto i singoli canali possono presentare una sinuosità elevata da renderli assimilabili a fiumi meandriformi, e comunque tale parametro non è caratterizzante.



Figura 4.16 – Alveo anastomizzato. Si riconoscono i canali e le isole inondate a seguito di un evento di piena.

Si riporta in [Figura 4.17](#) e [Figura 4.18](#) ed in [Tabella 4.3](#) un riepilogo dei criteri e dei **valori di soglia** degli indici utilizzati per la distinzione delle morfologie dei corsi d'acqua non confinati e semiconfinati. Come è possibile notare, la distinzione tra tipologie diverse avviene sulla base dei tre indici chiave utilizzati a tal fine (sinuosità, intrecciamento, anastomizzazione). Solo nel caso delle due **morfologie transizionali** (sinuoso a barre alternate e *wandering*), non è possibile definire con esattezza dei valori di soglia di tali indici, ma si ricorre ad alcune osservazioni di carattere qualitativo ed alla lunghezza delle barre laterali che, di norma, è almeno $> 80\%$ del tratto. Per gli alvei sinuosi a barre alternate si noti inoltre che l'indice di sinuosità può essere anche < 1.05 , pertanto tale morfologia include anche quelle situazioni che, a rigore, sarebbero definibili come “rettilineo a barre alternate” (non si ritiene tuttavia di considerare separatamente questa morfologia).

$1 \leq Is < 1.05$ e $Ia < 1.5$		
$1.05 \leq Is < 1.5$ e $Ia < 1.5$		
$Is \geq 1.5$ e $Ia < 1.5$		
$Ia \geq 1.5$		
$1 \leq Ii < 1.5$		
	$1 \leq Ii < 1.5$	$Ii \geq 1.5$

Figura 4.17 – Schema delle morfologie fluviali e dei relativi campi di variabilità degli indici morfologici planimetrici.
(Is : indice di sinuosità Ii : indice di intreccio; Ia : indice di anastomizzazione).

Tabella 4.3 – Differenze tra le varie morfologie fluviali in termini di indici di sinuosità, intrecciamento e anastomizzazione.

(In grassetto i valori di soglia dei parametri caratterizzanti, quando definibili) oppure in termini di altre caratteristiche morfologiche distintive.

TIPOLOGIA	INDICE SINUOSITÀ	INDICE INTRECCIAMENTO	INDICE ANASTOMIZZAZIONE
Rettilinei (<i>R</i>)	$1 \leq Is < 1.05$	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)
Sinuosi (<i>S</i>)	$1.05 \leq Is < 1.5$	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)	1÷1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)
Meandriformi (<i>M</i>)	≥ 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	$1 < Ii < 1.5$	$1 < Ia < 1.5$
Canali intrecciati (<i>CI</i>)	qualunque (di norma basso)	≥ 1.5	< 1.5
Anastomizzati (<i>A</i>)	qualunque (anche > 1.5)	1÷1.5	≥ 1.5
Altre caratteristiche distintive			
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		

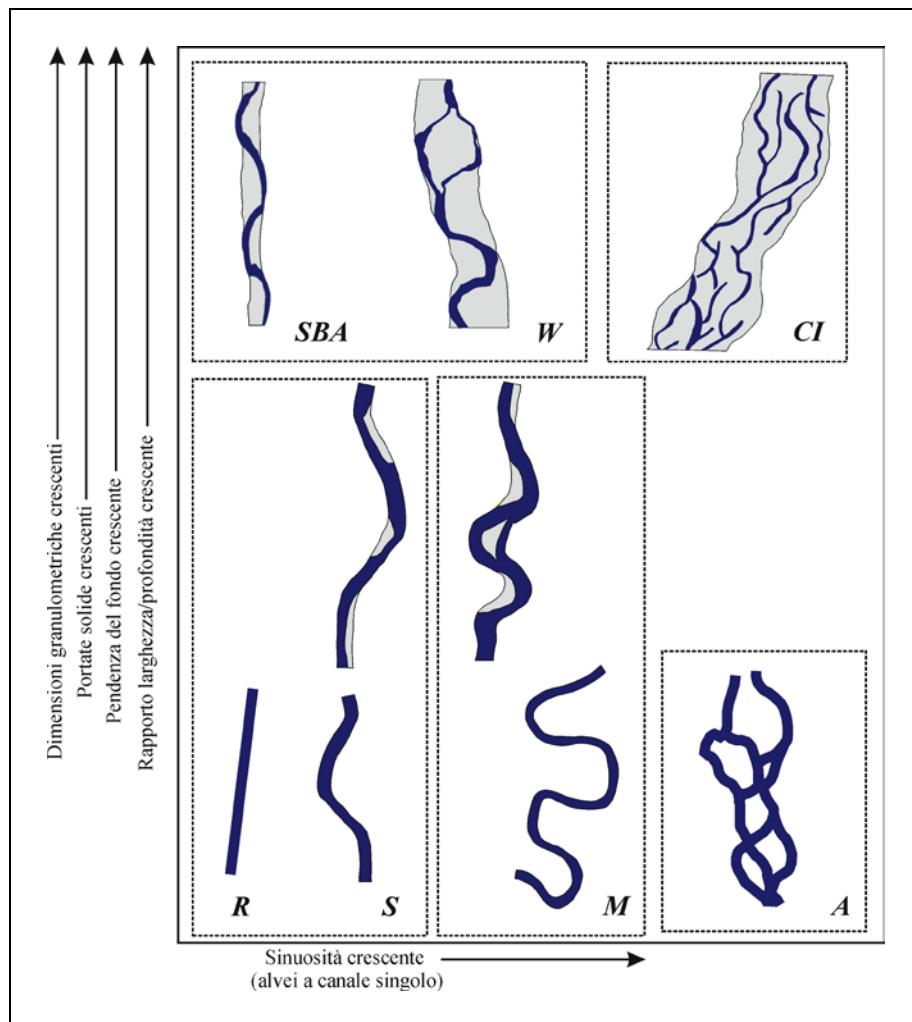


Figura 4.18 – Morfologie fluviali e relazioni con i principali parametri di controllo.
 (da [RINALDI, 2003](#), modificato). **R**: Rettilineo; **S**: Sinuoso; **M**: Meandriforme; **A**: Anastomizzato;
SBA: Sinuoso a barre alternate; **W**: *Wandering*; **CI**: Canali intrecciati.

Attribuzione della morfologia a corsi d'acqua non confinati e semiconfinati

L'attribuzione di una tipologia morfologica ad un determinato tratto avviene, come precedentemente descritto, soprattutto sulla base dei principali indici (sinuosità, intrecciamento, anastomizzazione) che ne descrivono la forma planimetrica integrati, in alcuni casi (alvei transizionali) dall'osservazione di altre caratteristiche distintive (es. continuità di barre laterali alternate).

È opportuno effettuare alcune precisazioni sull'applicazione di tali criteri. Essi, infatti, non devono essere applicati in maniera rigida, ma in alcuni casi la loro adozione richiede un'osservazione critica della morfologia presente in rapporto ad eventuali alterazioni antropiche o variabilità naturali esistenti nel tratto. È necessario a tal fine effettuare una distinzione di come si procede a seconda che si tratti di alvei a canale singolo oppure transizionali ed a canali multipli.

1. Alvei a canale singolo. L'attribuzione ad una delle tre tipologie appartenenti a questa categoria (rettilineo, sinuoso, meandritiforme) è basata sull'indice di sinuosità, ed è sostanzialmente indipendente dalla presenza o meno di barre e di altre forme presenti nell'alveo (canali, isole, ecc.). In questi casi, pertanto, si procede a misurare tale indice ed a ricavarne il valore medio nel tratto, indipendentemente dai possibili controlli artificiali sulla forma planimetrica del corso d'acqua. Ad esempio, un alveo rettificato artificialmente verrà classificato come "rettilineo" se l'indice di sinuosità medio nel tratto è inferiore ad 1.05: il fatto che tale morfologia derivi da un'alterazione artificiale del tracciato verrà valutato nelle fasi successive.
2. Alvei transizionali o a canali multipli. Per queste tipologie, la definizione della morfologia si basa non tanto sulla configurazione planimetrica del tracciato quanto sulla presenza o meno di determinate forme caratteristiche all'interno dell'alveo (barre, canali, ecc.). La presenza di opere in alveo, soprattutto trasversali, può pertanto alterare tali caratteristiche per parte del tratto e renderne più difficoltoso il riconoscimento. Inoltre può esistere una naturale variabilità della morfologia stessa, che può per brevi tratti perdere le caratteristiche che la contraddistinguono (ad es., per aumento locale della capacità di trasporto della corrente e/o per un locale confinamento da parte dei versanti, l'alveo può perdere le sue barre alternate o i canali intrecciati). Considerata la necessità di non frammentare eccessivamente il corso d'acqua ma di considerare condizioni di relativa omogeneità morfologica per tratti sufficientemente lunghi (dell'ordine di qualche km), in questi casi la definizione della morfologia va effettuata sulla base dell'osservazione delle porzioni del tratto non condizionate da alterazioni antropiche (o fattori naturali). Le alterazioni di una porzione del tratto chiaramente attribuibili alla presenza di elementi antropici verranno valutate nelle fasi successive.

Un esempio per meglio spiegare tale concetto è il seguente: si pensi ad un tratto dove, in gran parte, è riconoscibile una morfologia a canali intrecciati, ma lungo il quale esiste una briglia la cui presenza causa la sommersione delle barre per una certa distanza a monte, quindi la scomparsa di canali intrecciati. Misurando l'indice di intrecciamento lungo l'intero tratto, compresa la porzione alterata, il suo valore medio potrebbe risultare inferiore ad 1.5, inducendo l'operatore a non classificarlo come alveo a canali intrecciati. È invece corretto mediare il valore dell'indice di intrecciamento, escludendo quelle porzioni in cui tale morfologia è evidentemente soggetta ad alterazioni legate alla presenza di opere artificiali. Ne risulterà un tratto classificato con morfologia a canali intrecciati, dove la presenza ed estensione di porzioni alterate verrà valutata successivamente. Un esempio analogo può essere fatto nel caso vi siano variazioni locali della morfologia dovute a fattori naturali (es. una porzione confinata, tuttavia troppo breve per essere considerata come un tratto a sé stante).

In [Tabella 4.4](#) si riportano le morfologie preferenziali di alvei semiconfinati e non confinati in relazione alle principali unità fisiografiche (riportati in [Tabella 4.1](#)) in ambito nazionale. Si tratta di indicazioni di larga massima, in quanto l'esatta morfologia che si sviluppa in un dato ambito fisiografico dipende fortemente dalle portate liquide e solide e da particolari condizioni che si possono riscontrare a scala di bacino (presenza di rocce più o meno erodibili, uso del suolo, ecc.).

Tabella 4.4 – Morfologie fluviali preferenziali in relazione ai principali ambiti fisiografici di pianura in Italia.

AMBITO FISIOGRAFICO	MORFOLOGIE PREFERENZIALI
<i>Settore Alpino e Pianura Padana</i>	
Alta pianura	Transizionali (<i>wandering</i>) – a canali intrecciati
Bassa pianura	Sinuosi – meandriformi
<i>Settore Appenninico ed Isole</i>	
Pianure intermontane appenniniche, alta pianura o tratti non confinati/semiconfinati in aree collinari appenniniche con prevalenza di rocce dure nel bacino e pendenze della valle relativamente elevate	Transizionali – a canali intrecciati
Pianure intermontane appenniniche, alta pianura o tratti non confinati/semiconfinati in aree collinari appenniniche con prevalenza di rocce tenere nel bacino e pendenze della valle relativamente basse	Sinuosi – meandriformi – transizionali
Bassa pianura (o pianura distale)	Rettilinei – sinuosi – meandriformi

Nel caso di **corsi d'acqua a canale singolo semiconfinati o non confinati in ambito collinare-montano** di piccole o medie dimensioni, si adottano gli stessi criteri precedenti, come descritto sinteticamente di seguito.

- **Alvei a canale singolo: sinuosi a barre alternate, rettilinei, sinuosi o meandriformi.** In ambito collinare montano, i corsi d'acqua a fondo mobile (si escludono quindi gli alvei in roccia) semiconfinati o non confinati a canale singolo vengono classificati come sinuosi a barre alternate, rettilinei, sinuosi o meandriformi a seconda principalmente del valore dell'indice di sinuosità. I tratti meandriformi di ambito montano (indice di sinuosità > 1.5) ([Figura 4.19](#)) spesso presentano una morfologia del fondo a dune quando il sedimento è prevalentemente sabbioso, ma si possono avere casi di andamento planimetrico meandriforme su fondo in ghiaia e quindi in assenza di morfologia a dune e increspature, bensì in presenza di *riffle* e *pool*. La sinuosità dei meandriformi montani è generalmente minore (compresa tra 1.5 e 2.0) rispetto a quelli di pianura ([LENZI et al., 2000](#)).



Figura 4.19 – Alveo meandriforme in ambito montano (Rivo di Caserine, Trento). Tipicamente questa tipologia si riscontra in valli dove l'erosione glaciale ha ridotto la pendenza a valori modesti.

4.3.2 *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***, vengono adoperati gli stessi criteri di classificazione visti in precedenza (sulla base quindi, a seconda dei casi, dei valori assunti dagli indici di intrecciamento o di anastomizzazione e dalla lunghezza delle barre laterali), distinguendo quindi le seguenti tipologie.

- **Alvei *wandering*, a canali intrecciati o anastomizzati.** 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 (*Figura 4.20A*) 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. È possibile talora la formazione di alvei di tipo anastomizzato anche in ambiente collinare-montano (*Figura 4.20B*).



Figura 4.20 – Alvei a canali multipli di ambiente collinare-montuoso.

(A) Alveo a canali intrecciati confinato (F. Bhagirati, India); (B) alveo anastomizzato confinato (F. Tayia, Alaska).

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.

CLASSIFICAZIONE DI II° LIVELLO

Tale classificazione non è funzionale alla suddivisione in tratti, ma può intervenire nelle fasi successive di valutazione dello stato attuale e di monitoraggio, e viene trattata qui per completezza. Si ricorda che per i corsi d'acqua semiconfinati o non confinati a canale singolo, la classificazione di secondo livello viene comunque applicata fintantoché il fondo risulta visibile.

Una prima suddivisione viene effettuata tra le seguenti categorie: (1) alvei in roccia; (2) alvei colluviali; (3) alvei a fondo mobile, con presenza cioè di un letto alluvionale.

- **Alveo in roccia.** I tratti in roccia sono contraddistinti dall'assenza, in modo continuo, di un letto alluvionale ([WOHL, 2000](#)) ([Figura 4.21](#)). Tuttavia, anche negli alvei in roccia del sedimento può essere momentaneamente accumulato nelle pozze o a valle di ostruzioni. La mancanza di depositi alluvionali in alveo è da attribuire all'elevata capacità di trasporto associata ad una forte pendenza del canale e/o ad un elevato tirante idrico. La pendenza può essere sia molto elevata ($> 20\%$) che relativamente bassa ($< 1\%$) ([LENZI et al., 2000](#)). La dinamica evolutiva dei tratti in roccia è molto più lenta rispetto ai tratti alluvionali (ma con differenze legate alla litologia interessata, più o meno erodibile) e legata a particolari processi idraulici (cavitàzione e abrasione) e chimici (dissoluzione delle rocce per litologie carbonatiche) (si veda ad es., [WOHL & TINKLER, 1998](#)).

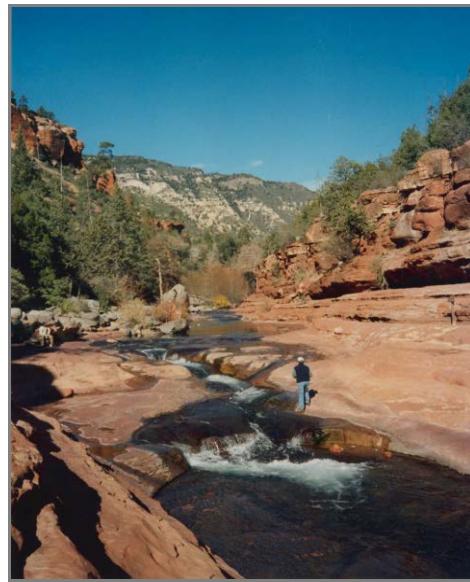


Figura 4.21 – Alveo in roccia su substrato di arenaria (Arizona, USA).

Nella pozza in primo piano è presente comunque del sedimento.

- **Alveo colluviale.** I cosiddetti tratti colluviali (*colluvial*) si distinguono dalle altre tipologie per essere incisi all'interno di materiale colluviale (depositi colluviali e di versante) ([Figura 4.22](#)). Possono trovarsi in corrispondenza dei tratti di testata del reticolo idrografico, cioè delle aste di ordine gerarchicamente inferiore (primo ordine), presentano quindi dimensioni ridotte e la loro attività di trasporto solido è tipicamente intermittente ed impulsiva (fenomeni di trasporto di massa, ovvero colate detritiche o *debris flow*). Essi possono talora essere assimilati anche a forme di *gullies* ([D'AGOSTINO, 2009](#)).

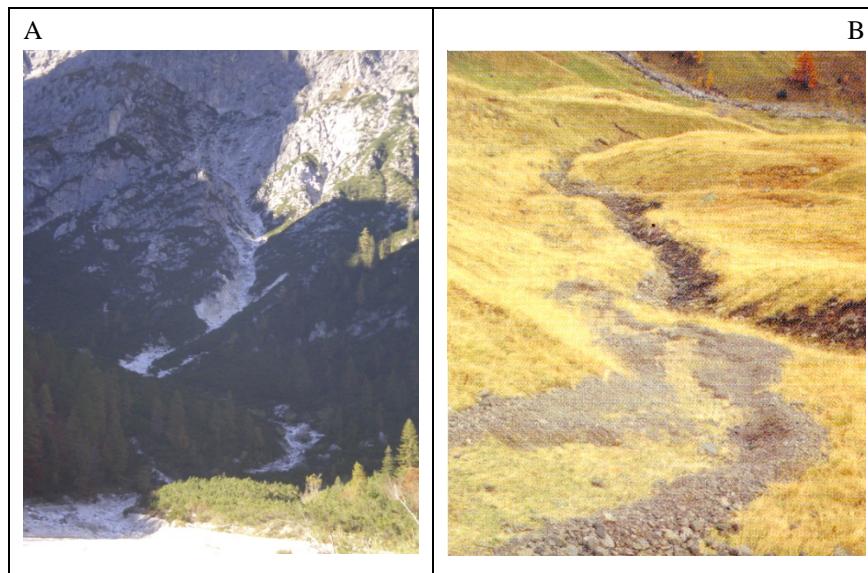


Figura 4.22 – Esempi di tratti colluviali.

(A) Collettore colluviale in Val d'Oten (Dolomiti Bellunesi); (B) particolare di un tratto colluviale (da [LENZI et al., 2000](#)).

- **Alveo a fondo mobile.** I tratti a fondo mobile presentano un letto con uno strato di sedimento continuo, anche se grossolano. Nel caso di alveo a canale

singolo, si distinguono varie sotto-tipologie utilizzando come criterio la configurazione del fondo, riprendendo quasi del tutto la classificazione di [MONTGOMERY & BUFFINGTON \(1997\)](#). L'instaurarsi di queste morfologie è strettamente associato al rapporto tra la capacità di trasporto della corrente e l'alimentazione solida, il quale è intimamente connesso alla pendenza del letto. Le sotto-tipologie utilizzate nella presente classificazione sono le seguenti:

- **A gradinata.** In questa tipologia vengono incluse sia le morfologie a gradinata vere e proprie (a *step-pool*, con i gradini e le pozze che occupano l'intera sezione dell'alveo, vedi [MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997](#)) che quelle configurazioni più caotiche dove ciò non accade (*cascade* sensu [MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997](#); rapide a gradino secondo [LENZI et al., 2000](#)) ([Figura 4.23](#)). La caratteristica unificante di tali tratti è la presenza di un flusso con alternanza di getti in caduta e risalti idraulici (*tumbling flow*) stimabile fino a deflussi di piena ordinaria. Ciò si verifica approssimativamente quando l'altezza dei gradini è maggiore o pari al tirante di piene rive della sezione. Infatti, a deflussi minori anche gradini molto bassi (tipici di morfologie a letto piano/rapida) possono generare risalti idraulici, ma questi vengono poi sommersi durante eventi ordinari. I gradini sono costituiti da massi e/o tronchi incastrati fra loro e posti trasversalmente rispetto alla corrente, lungo una linea retta o curva. Lo spazio fra uno *step* ed il successivo è occupato da pozze (*pool*) ed eventualmente da una breve lunghezza di raccordo dove il pelo libero tende a disporsi parallelo al fondo (*run* o “correntino”). Se i gradini sono costituiti da roccia in posto in maniera continua, allora il tratto, pur presentando un profilo a gradinata, viene classificato come “in roccia”, anche se nelle pozze potrà essere presente del sedimento. In genere la morfologia a gradinata è associata ad alvei con un forte confinamento che porta ad un basso rapporto larghezza/profondità. Le pendenze sono $> 3\div 5\%$, fino al $20\div 30\%$. All'aumentare della pendenza generalmente si assiste ad una maggiore caoticità nella disposizione dei gradini, e ad una tendenza ad avere gradini e pozze parziali lungo la sezione (*cascade* sensu [MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997](#)).

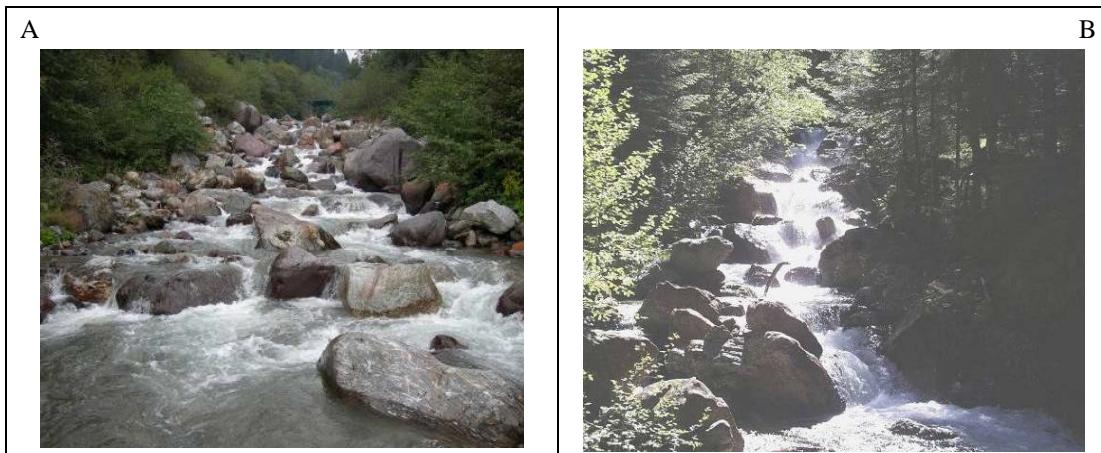


Figura 4.23 – Alvei a gradinata.

(A) Alveo a gradinata riconducibile alla tipologia *cascade*, T. Maso di Spinelle, Trento. (B) Alveo a gradinata riconducibile alla categoria *step-pool*, Rivo di Caserine, Trento.

- **Letto piano.** Il termine letto piano è utilizzato per indicare dei tratti d'alveo con un profilo longitudinale regolare privo di rilevanti variazioni altimetriche e quindi con un pelo libero pressoché parallelo al fondo ([MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997](#); [LENZI et al., 2000](#)) ([Figura 4.24](#)). Vengono inclusi per semplicità in questa categoria anche i tratti che presentano fenomeni di *tumbling flow* per portate di base, associati ad un basso rapporto tirante/scabrezza (morfologia a rapida a scivolo secondo [LENZI et al., 2000](#); *rapids* secondo [GRANT et al., 1990](#); spesso con presenza di allineamenti trasversali di clasti, ovvero *transverse ribs* o *stone lines*, si veda [HASAN et al., 2006](#)). Tuttavia, per portate medio-alte, queste unità (potrebbero far pensare ad un alveo a gradinata) vengono sommerse e quindi il profilo del pelo libero diventa più regolare e parallelo al fondo, cosa che non avviene nei tratti a gradinata dove anche durante eventi di piena ordinaria il flusso presenta un'alternanza di getti e risalti idraulici. Infatti, come detto per la precedente tipologia, il livello idrico di riferimento deve essere quello di piene rive (piena ordinaria) e, rispetto ad esso, va valutato se i gradini presenti causano o meno la formazione di risalti idraulici. I tratti a letto piano si instaurano generalmente con pendenze comprese tra 1÷3%, e presentano una granulometria meno eterogenea rispetto a quelli a gradinata, tipicamente dominata da ciottoli e ghiaia grossolana. I tratti caratterizzati da un letto piano presentano di solito poche barre laterali, derivanti da un ridotto rapporto larghezza/profondità. La presenza di ostruzioni al flusso (massi, tronchi) può però causare la formazione di pozze e barre laterali, le quali divengono unità morfologiche imposte da condizionamenti esterni. Negli alvei montani, la morfologia a letto piano rappresenta una condizione di passaggio fra una condizione relativa di alta (tratti a gradinata) e bassa (*riffle-pool*, canali intrecciati e transizionali) capacità di trasporto rispetto all'alimentazione solida. I tratti a letto piano che possiedono una corazzatura del fondo indicano una capacità di trasporto ancora superiore alla fornitura di sedimento da monte, mentre quelli non corazzati mostrano un bilancio tendenzialmente in pareggio tra il trasporto di sedimento e la disponibilità di sedimento ([LENZI et al., 2000](#)).



Figura 4.24 – Alvei a letto piano.

(A) Morfologia a letto piano tipo *plane-bed* (F. Isonzo, Slovenia). (B) Morfologia a letto piano con unità a “*rapids*” (T. Cordevole, Belluno). Per livelli di piena ordinaria i piccoli *step* presenti vengono sommersi.

- **Riffle-pool.** Negli alvei a canale singolo, vengono così definiti i tratti caratterizzati dalla successione di unità a pendenza più sostenuta e tiranti ridotti (*riffle*, talvolta chiamati raschi) e unità aventi tiranti maggiori (*pool*) e pendenze molto basse (fino a negative, pozze o *pool*) (*Figura 4.25*). Generalmente vi sono poi unità di transizione tra pozze e *riffle* caratterizzate da una pendenza positiva ridotta e flusso quasi parallelo al fondo.

Le pozze presentano spesso una granulometria superficiale più fine rispetto ai *riffle*. Spesso tale alternanza di unità morfologiche è accompagnata dal susseguirsi ritmico di barre laterali alternate, ed in tal caso i *riffle* presentano una direzione obliqua rispetto al flusso. Tuttavia, ci possono essere alvei privi di barre laterali ma con la successione di *pool* e *riffle*, i quali in tal caso tendono ad essere ortogonali al flusso. La morfologia a *riffle-pool* caratterizza molti corsi d'acqua ghiaiosi con pendenza $< 1\div 2\%$ in condizioni di confinamento laterale o comunque dove l'apporto di sedimento non è tale da causare la formazione di barre mediane con conseguente creazione di un pattern di tipo pluricursale.

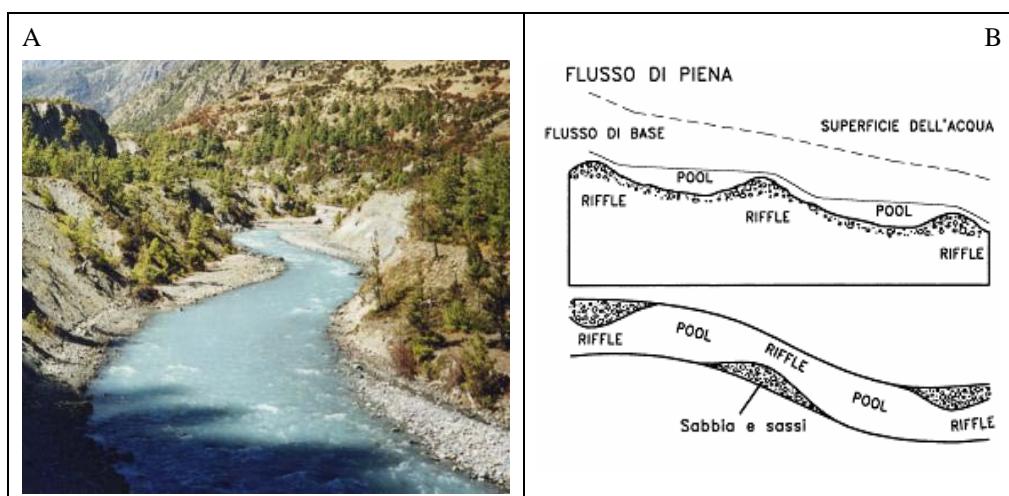


Figura 4.25 – Alvei a *riffle-pool*.

(A) Alveo a *riffle-pool* (F. Marsyandi, Nepal). In primo piano si vede un *riffle* (increspature del pelo libero, clasti emergenti), con a monte un *pool* (pelo libero regolare, tirante maggiore). (B) Schema della morfologia a *riffle-pool* (da [LENZI et al., 2000](#)).

- **A dune.** I tratti aventi una pendenza modesta ($< 0.5\%$) e con materiale d'alveo costituito prevalentemente da sabbia possono sviluppare una morfologia a dune e increspature (*dune-ripple* secondo [MONTGOMERY E BUFFINGTON, 1997](#); per brevità qui indicate solo come “dune”), ossia manifestare le forme di fondo tipiche dei fiumi a fondo sabbioso ([LENZI et al., 2000](#)) (*Figura 4.26*). Tali morfologie non sono molto comuni ma si possono presentare quando l'evoluzione del rilievo ha portato alla creazione di tratti vallivi a pendenza molto ridotta, ad esempio in conche di origine tettonica, a monte di morene frontali o in corrispondenza a gradini d'erosione glaciale (tratto a monte del gradino). Il trasporto solido nei tratti a *dune-ripple* è limitato dalla bassa capacità di trasporto derivante dalla pendenza molto ridotta.



Figura 4.26 – Alveo a dune su substrato sabbioso (Rivo di Caserine).

Sulle dune sono sovrapposte delle increspature più piccole (*ripples*). Il canale presenta una certa sinuosità, e per questo le increspature sono curvilinee.

- **Alveo a fondo artificiale.** Rientrano in questa categoria tutti i casi in cui il fondo è completamente artificiale (cunettoni) o comunque dove l'interdistanza tra le opere trasversali è talmente ravvicinata da non permettere l'instaurarsi di unità morfologiche non dipendenti dall'opera stessa (esclude quindi le pozze di scavo a valle delle opere stesse) ([Figura 4.27](#)). In questi casi non si riconosce la configurazione in condizioni naturali e quindi non è possibile adottare i precedenti criteri.



Figura 4.27 – Alveo a fondo artificiale sistemato con briglie ad interdistanza ridotta. (T. Pramper, Belluno).

ALTRI DATI PER LA CARATTERIZZAZIONE MORFOLOGICA DEL TRATTO

Si tratta di 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.

- **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 (per i tratti confinati la pendenza è stata già determinata nello **STEP 3**).
- **Larghezza dell'alveo (L)** (in m): è la larghezza dell'alveo pieno o “a piene rive” (“bankfull channel”).

Come si misura

La determinazione della larghezza viene effettuata, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi GIS di immagini telerilevate. Si procede attraverso i seguenti passaggi:

1. Tracciamento dei limiti dell'alveo.
2. Definizione dell'asse dell'alveo (linea di mezzeria dell'alveo) (operazione già effettuata per la misura degli indici di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione).
3. Definizione del passo delle misure. Per una misura accurata della larghezza è consigliata un'interdistanza dell'ordine di $0.25L-1L$. Tuttavia tale interdistanza può anche essere aumentata in casi ad esempio di alvei non molto larghi e con larghezze relativamente omogenee. Alcuni criteri nella scelta dell'interdistanza possono essere la lunghezza del tratto esaminato (ridurre l'interdistanza se il tratto è breve, al contrario se il tratto è molto lungo) e la variazione longitudinale della larghezza (ridurre l'interdistanza se le variazioni sono frequenti).
4. Misura della larghezza: viene effettuata per ogni punto dell'asse dell'alveo corrispondente al passo definito, perpendicolarmente allo stesso ([Figura 4.28](#)). Al termine delle misure si ricava un valore medio.

La misura della larghezza dell'alveo non comprende le eventuali isole fluviali presenti. Tuttavia, in tali casi, è utile misurare anche la **larghezza totale dell'alveo** o **larghezza dell'alveo con isole (Lt)** (in m) ([Figura 4.28](#)).

Nel caso di alvei anastomizzati, la larghezza dell'alveo è determinata dalla somma delle larghezze dei canali attivi, mentre la larghezza totale dell'alveo definisce la larghezza dell'intera fascia dei canali e delle isole.

Il calcolo della larghezza media del tratto può essere anche effettuato in base al rapporto “area alveo / lunghezza alveo” (Aa/l). Rispetto al metodo precedente (nel caso di elevata interdistanza fra le sezioni) si ottiene una stima più accurata della larghezza media del tratto in esame ma si perdono informazioni sulle variazioni longitudinali della larghezza. Questo problema può comunque essere risolto suddividendo il tratto in sotto-tratti per i quali si calcola la relativa area. È utile stimare anche l'area delle isole, in modo tale da poter valutare la larghezza media dell'alveo con o senza isole.

Per disporre di misure di larghezza non necessariamente legate alla disponibilità di immagini, si effettuano anche misure sul terreno. In tal caso, è opportuno definire tre sezioni in corrispondenza del sito di monitoraggio sul terreno (utili anche per la definizione della profondità), poste a distanza variabile tra 0.5 e 2 volte circa la larghezza dell'alveo (ai cui estremi porre dei capisaldi per i rilievi successivi). Tali sezioni vanno definite con orientamento all'incirca ortogonale rispetto all'asse dell'alveo. In questi casi la delimitazione dell'alveo avviene sul terreno e si basa sull'individuazione della pianura inondabile o, in sua assenza, del terrazzo più basso che delimita l'alveo. Per ulteriori dettagli sul rilievo di sezioni si rimanda al [CAPITOLO 6](#).

Per alvei di dimensioni da piccole a medie (inferiori a 30 m), la misura della larghezza viene effettuata esclusivamente sul terreno secondo la stessa procedura prima descritta.

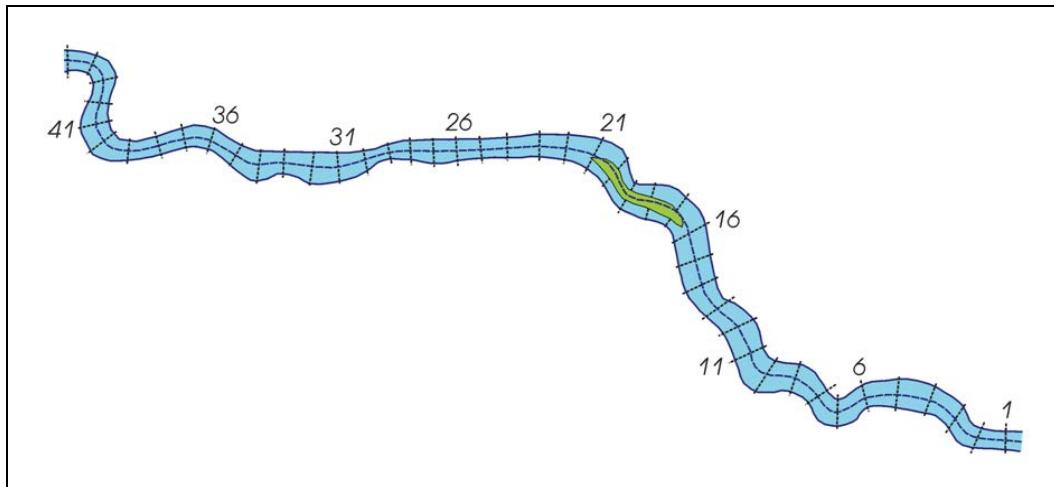


Figura 4.28 – Misura della Larghezza dell’alveo (L).

I segmenti tratteggiati (da 1 a 45) rappresentano le sezioni di misura. Tra le sezioni 17 e 20, per la misura della larghezza (L) non comprende l’isola (in verde), mentre essa va inclusa per la misura della larghezza totale (L_t).

- **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 ($0.002 \text{ mm} < d < 0.0625$ mm), Sabbia ($0.0625 \text{ mm} < d < 2$ mm), Ghiaia ($2 \text{ mm} < d < 64$ mm), Ciottoli ($64 \text{ mm} < d < 256$ 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.

4.4 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 ([Figura 4.29](#)). Le 18 possibili tipologie, che scaturiscono dalle combinazioni tra confinamento e morfologia, sono riportate in **Errore. L’origine riferimento non è stata trovata..**

Tabella 4.5 – 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

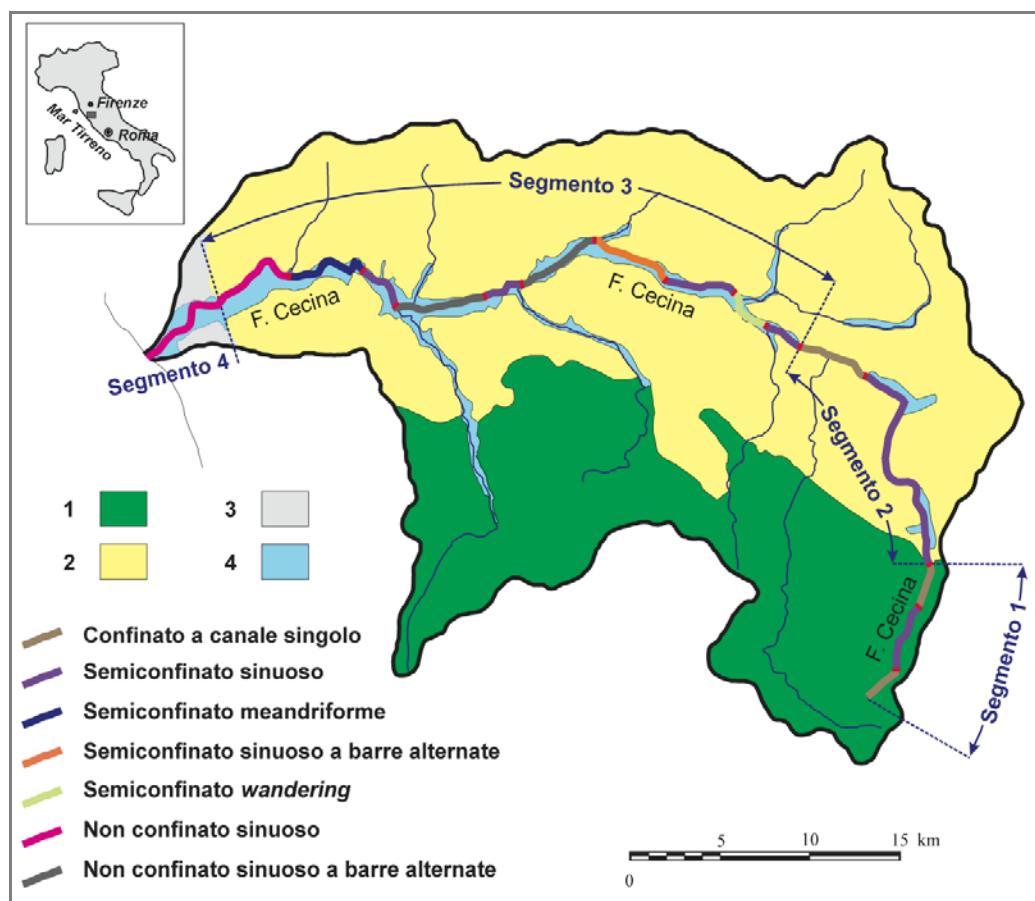


Figura 4.29 – Esempio di suddivisione dei segmenti del Fiume Cecina in tipologie sulla base di confinamento e morfologia.

A seguito degli STEP 2 e 3 sono stati individuati 15 tratti. 1: unità collinare-montuosa; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali.

4.5 Suddivisione finale in tratti (STEP 4)

Scopo: attraverso questo STEP viene ultimata la definizione di tratti omogenei dal punto di vista morfologico.

Informazioni / dati necessari: discontinuità idrologiche (affluenti, dighe), artificializzazione, dimensioni della pianura, larghezza dell'alveo, profilo longitudinale.

Metodi: telerilevamento / GIS e ricostruzione profilo longitudinale.

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

Descrizione: 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 invaso 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 e nel caso di alvei di pianura, l'artificializzazione non impedisce l'attribuzione di un alveo ad una categoria morfologica in quanto i parametri planimetrici possono essere ancora misurati (ad esempio, nella maggioranza dei casi alvei artificializzati sono a canale singolo e bassa sinuosità per cui rientrano nella categoria dei rettilinei o sinuosi). 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). Un esempio tipico è quello di un corso d’acqua che attraversa un centro urbano di dimensioni significative, ed al suo interno è arginato e

presenta le sponde completamente fissate: in tal caso, è conveniente considerarlo come un tratto a sé stante. Non è invece un elemento sufficiente per la definizione di un tratto artificializzato la sola presenza di argini, soprattutto se ad una certa distanza dal corso d'acqua.

- ***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 (ad es., passaggio da fondo ghiaioso a sabbioso).

Suddivisione finale in tratti

La suddivisione finale in tratti relativamente omogenei per caratteri morfologici ([Figura 4.30](#)) viene effettuata in primo luogo in base alle caratteristiche di confinamento ed alla morfologia (ovvero sia configurazione planimetrica che altimetrica), in secondo luogo in base agli altri criteri evidenziati in questo STEP. Operativamente, si suggerisce la seguente procedura:

Una prima suddivisione di massima può essere effettuata osservando le foto aeree più recenti disponibili o immagini satellitari ad alta risoluzione. Per la porzione più alta del bacino, si delimitano in prima approssimazione i tratti confinati e si individuano eventuali tratti non a canale singolo.

- In una seconda fase si procede a verificare che i tratti semiconfinati e non confinati preliminarmente individuati soddisfino ai requisiti di omogeneità di morfologia (attraverso ad esempio la misura degli indici caratterizzanti tale morfologia) e di confinamento.
- Si considerano più attentamente le eventuali discontinuità e variazioni di altre caratteristiche (**STEP 4**), soprattutto per quei tratti che in prima approssimazione presentano lunghezze rilevanti (es. sopra i 5 km).
- In particolar modo, per gli alvei confinati a canale singolo, si procede ad un'ulteriore suddivisione in tratti soprattutto in base a discontinuità della pendenza del fondo (**STEP 4**) misurata da carte topografiche (la **CLASSIFICAZIONE DI II** livello basata sulla configurazione del fondo e da condurre sul terreno viene effettuata invece durante le fasi successive).

Per quanto riguarda le lunghezze dei tratti, è opportuno tener presente quanto segue:

- Occorre evitare un'eccessiva frammentazione dei tratti. Essi di norma dovrebbero avere una lunghezza di almeno 1 km (comunque non inferiore ad almeno due volte la lunghezza del sito): in caso di non perfetta omogeneità di qualche parametro all'interno di tale lunghezza, vale un criterio di predominanza.
- Occorre evitare tratti troppo lunghi: di norma un tratto può raggiungere una lunghezza dell'ordine di 5 km, in quanto lunghezze maggiori risulterebbero poco funzionali alle analisi successive. È possibile tuttavia considerare lunghezze superiori nei casi in cui non si riconosce alcun elemento di disomogeneità, ma in questi casi, per le analisi successive, è possibile individuare un sottotratto (di lunghezza inferiore ai 5 km) che presenta caratteristiche di sufficiente rappresentatività rispetto a tutti i parametri da misurare. La lunghezza dei tratti dipende ovviamente anche dalle dimensioni del corso d'acqua: ad esempio, nel caso di un fiume meandriforme di pianura di grandi dimensioni, un tratto dovrebbe comprendere almeno un meandro, pertanto esso può risultare considerevolmente più lungo di 5 km.

Si noti infine che, durante la fase successiva di valutazione dello stato attuale, è possibile perfezionare la suddivisione in tratti qualora si osservassero sul terreno elementi di differenziazione non individuati in questa fase (ad es., morfologia a canali multipli non rilevata da immagini o anche sostanziali differenziazioni della configurazione del fondo durante la **CLASSIFICAZIONE DI II° LIVELLO**).

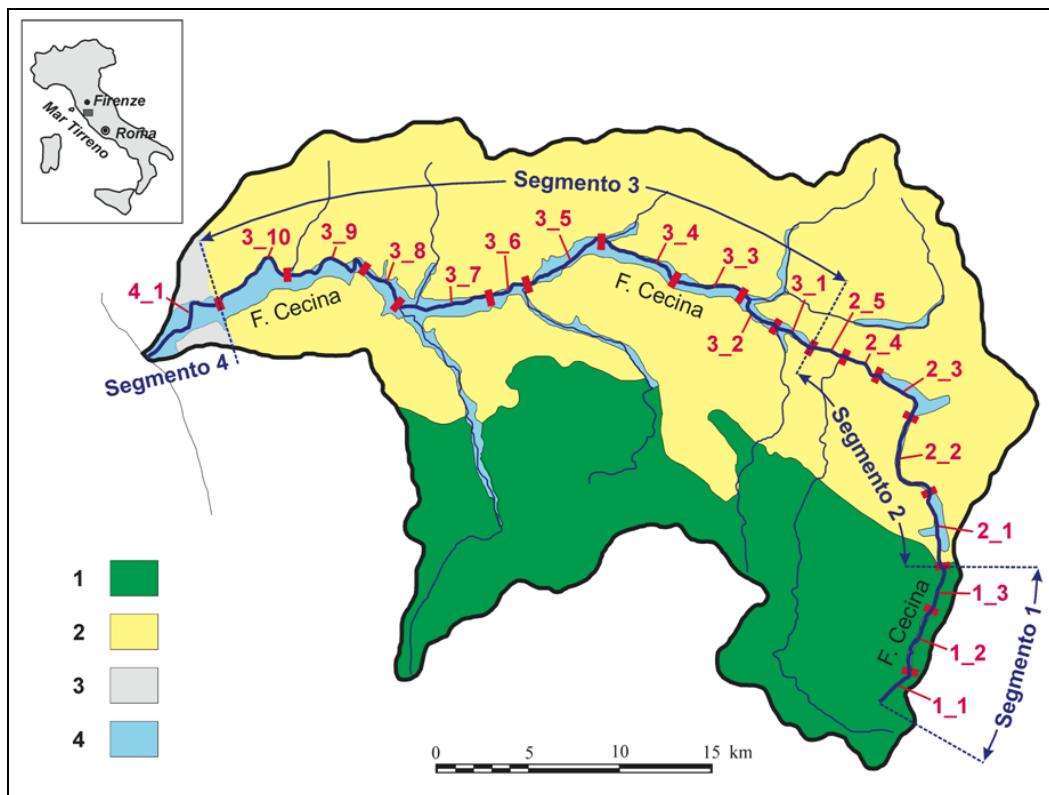


Figura 4.30 – Fase di suddivisione iniziale: esempio relativo al Fiume Cecina.

A conclusione della Fase 1, sono stati individuati 19 tratti. 1: unità collinare-montuosa; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali.

Altre informazioni / dati: 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. È noto in letteratura come le portate più significative per i processi morfologici siano quelle con tempi di ritorno relativamente bassi, compresi tra 1 e 3 anni circa. I valori più comunemente usati sono quelli con tempi di ritorno di 1.5 e 2 anni. Tali portate sono generalmente identificate con la *portata dominante* o *formativa* e con la *portata ad alveo pieno* del corso d'acqua (si veda il [CAPITOLO 2](#) per maggiori dettagli). Oltre a tali portate con frequenza intermedia, ai fini di una più completa caratterizzazione dei campi di variabilità, è importante conoscere le portate più frequenti, identificabili con la portata (giornaliera) media annua, e l'occorrenza di eventi estremi durante il periodo di registrazione. Tali portate possono essere utili per meglio definire il regime del corso d'acqua, ad esempio in base al rapporto tra portata massima e portata media. Inoltre, la

conoscenza degli eventi più significativi durante il periodo di registrazione può essere utile nell'interpretazione delle tendenze evolutive. Riepilogando, le informazioni richieste per una caratterizzazione di base delle portate significative per gli aspetti morfologici sono le seguenti:

- **portata media annua (q_{med})**: ricavata sulla base delle portate giornaliere nell'intervallo di tempo disponibile;
- **portata $Q_{1.5}$** : portata con tempo di ritorno pari a 1.5 anni, ricavata da analisi statistica delle portate al colmo massime annuali;
- **portate massime** verificatesi durante l'intervallo di tempo di registrazione: è utile conoscere il valore della portata di picco e la data (o almeno l'anno) in cui si è verificata. Si possono considerare in questa analisi le portate con tempi di ritorno superiori a 10 anni.
- **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. In alcuni casi, quando possibile, si può prendere in considerazione l'opportunità di effettuare una stima basata su modelli idraulici empirici o teorici, laddove esistano misure o valutazioni pregresse tali da validare e/o calibrare le equazioni. È inoltre importante considerare, almeno per i corsi d'acqua principali e a seconda della disponibilità di dati esistenti, la possibilità di realizzare bilanci di sedimenti con metodi geomorfologici. Questi ultimi sono basati sulla misura delle variazioni volumetriche dell'alveo (da fotogrammetria, sezioni, profili) e sull'applicazione dell'equazione di continuità dei sedimenti ([HAM & CHURCH, 2000](#); [MCLEAN & CHURCH, 1999](#)). Tali metodi stanno acquisendo infatti sempre maggiore diffusione durante gli ultimi anni e sono sempre più accreditati nel fornire stime attendibili delle portate solide responsabili delle variazioni morfologiche dell'alveo nel medio termine (decine di anni). Un esempio particolarmente significativo di applicazione di tale metodo è quello relativo al fiume Fraser (Canada) ([CHURCH et al., 2001](#)), mentre in campo nazionale si citano alcuni casi di applicazione per finalità scientifiche (ad es., [SURIAN & CISOTTO, 2007](#)) oppure, per quanto riguarda il F. Po, ai fini della definizione del piano di gestione dei sedimenti ([PAOLETTI et al., 2007](#); [COLOMBO & FILIPPI, 2009](#)).
- **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).

4.6 Considerazioni finali sull'applicazione della Fase 1 ai fini della WFD

La Fase 1 si inserisce nelle procedure di caratterizzazione e individuazione di tipi e corpi idrici superficiali, definite dalla WFD, e normate dal **D.M. 131 del 16 giugno 2008 – “Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici e analisi delle pressioni) per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante: “Norme in materia ambientale”, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 4 dello stesso decreto.”**

Scopo originale del percorso di tipizzazione e individuazione dei corpi idrici è la segmentazione del reticolo idrografico in unità fisiografiche omogenee per caratteristiche abiotiche (*Tipi*) e per pressioni di tipo antropico (*Corpi idrici*). In relazione ai Corpi idrici, unità di riferimento minima di pianificazione, il Piano di Gestione dovrà individuare misure atte a garantire il raggiungimento di un buono stato entro il 2015.

Poiché in alcuni contesti italiani, fortemente antropizzati, il Piano di gestione si dovrà dotare di strumenti analitici adeguati a descrivere, valutare e mitigare gli impatti idromorfologici, particolarmente significativi in questi contesti per il raggiungimento degli obiettivi di qualità fissati dalla Direttiva, si ritiene utile supportare la classificazione del **D.M. 131/2008** con approfondimenti disciplinari specifici.

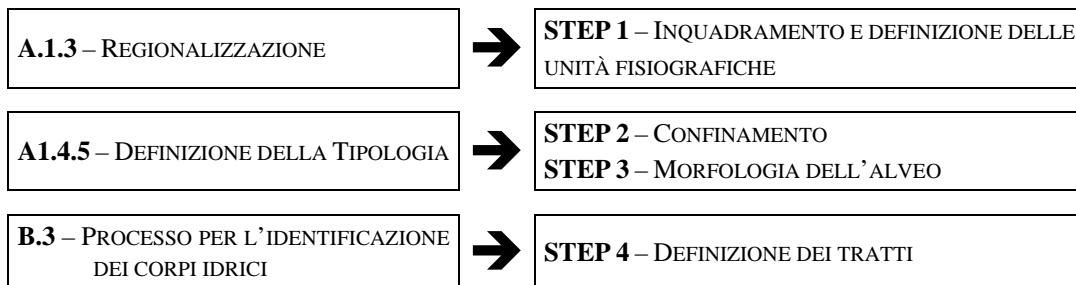
Buone condizioni idromorfologiche in un corso d'acqua assicurano lo svolgimento di processi quali l'espansione delle piene, il trasporto solido, la dissipazione dell'energia della corrente, il mantenimento e il rinnovamento delle forme e dei processi fluviali, gli scambi di acqua, materia ed energia con la piana inondabile e con la zona iporreica. Tali processi sono di importanza fondamentale per il mantenimento delle comunità biotiche e la conservazione di elevati livelli di biodiversità, nonché per la sicurezza idraulica. Per impedire un ulteriore deterioramento, proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquisitivi e degli ecosistemi terrestri, come disposto all'art 1 lettera a della Direttiva 2000/60 è necessario conoscere le alterazioni morfologiche in atto e i loro possibili effetti sul raggiungimento dello stato ecologico prescritto e sul buon potenziale ecologico per i corpi idrici fortemente modificati.

Gli STEP precedentemente riportati costituiscono quindi un approfondimento di quanto già normato a livello nazionale. Tale approfondimento considera principalmente gli aspetti geologici e geomorfologici del corso d'acqua, sistema complesso che la WFD invita a conoscere con approcci interdisciplinari.

Tali STEP possono essere quindi percorsi come prima descritti (in sequenza stretta) o all'interno del percorso previsto dal **D.M. 131/2008**, qualora si ritenga

necessario attribuire un elevato significato idromorfologico ai tipi e corpi idrici, utile nelle fasi di gestione dei corpi idrici stessi.

In questo senso si può definire la seguente corrispondenza tra i passaggi definiti dal **D.M. 131/2008** e gli STEP descritti in questo capitolo:



CAPITOLO 5

VALUTAZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI CORSI D'ACQUA

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. Tale analisi è quindi funzionale alla definizione di azioni e misure per il miglioramento e/o la preservazione dell'attuale stato idromorfologico nei vari tratti.

In questo manuale viene trattata la sola **valutazione di primo livello**, mentre per quella di secondo livello si rimanda a sviluppi successivi.

5.1 Classificazione dello stato morfologico attuale

La fase di classificazione dello stato attuale viene suddivisa nei seguenti *STEP* ([Figura 5.1](#)):

- (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).

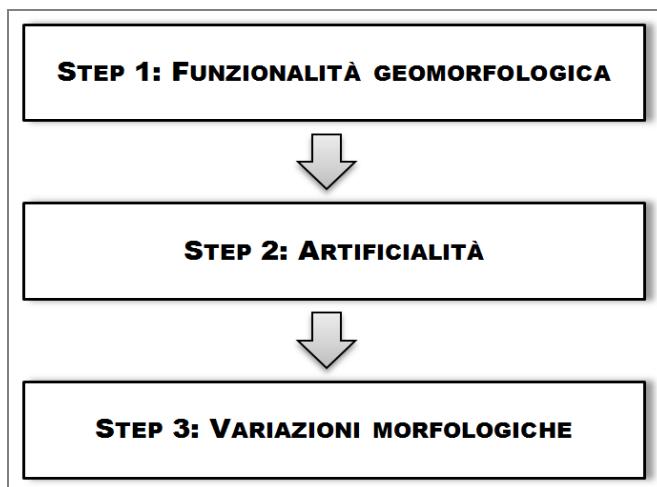


Figura 5.1 – Suddivisione in STEP della fase di classificazione dello stato morfologico attuale.

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. Si noti che l'analisi delle variazioni è applicabile anche nel caso in cui la larghezza attuale è < 30 m, ma la larghezza degli anni '50 era > 30 m, laddove si ritiene che le differenze di larghezza tra le due situazioni siano superiori al margine di errore nelle misure e laddove, pur non essendo possibile misurare con esattezza la larghezza attuale, è possibile l'attribuzione ad una data classe di variazione.

Nella [Tabella 5.1](#) è riportata una lista di indicatori relativi ai tre aspetti (funzionalità, artificialità, variazioni).

Tabella 5.1 – 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
Funzionalità		
Continuità		
<i>F1</i>	Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso	Tutti
<i>F2</i>	Presenza di piana inondabile	Solo SC/NC
<i>F3</i>	Connessione tra versanti e corso d'acqua	Solo C
<i>F4</i>	Processi di arretramento delle sponde	Solo SC/NC
<i>F5</i>	Presenza di una fascia potenzialmente erodibile	Solo SC/NC
Morfologia		
<i>Configurazione morfologica</i>		
<i>F6</i>	Morfologia del fondo e pendenza della valle	Solo C
<i>F7</i>	Forme e processi tipici della configurazione morfologica	SC/NC : tutti; C : solo CI/W
<i>F8</i>	Presenza di forme tipiche di pianura	Solo SC/NC meandriformi in ambito fisiografico di pianura
<i>Configurazione sezione</i>		

SIGLA	INDICATORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
<i>F9</i>	Variabilità della sezione	Tutti
<i>Struttura e substrato alveo</i>		
<i>F10</i>	Struttura del substrato	Tutti
<i>F11</i>	Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni	Tutti
<i>Vegetazione fascia perifluviale</i>		
<i>F12</i>	Aampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Tutti
<i>F13</i>	Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde	Tutti
Artificialità		
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte</i>		
<i>A1</i>	Opere di alterazione delle portate liquide	Tutti
<i>A2</i>	Opere di alterazione delle portate solide	Tutti
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto</i>		
<i>A3</i>	Opere di alterazione delle portate liquide	Tutti
<i>A4</i>	Opere di alterazione delle portate solide	Tutti
<i>A5</i>	Opere di attraversamento	Tutti
<i>Opere di alterazione della continuità laterale</i>		
<i>A6</i>	Difese di sponda	Tutti
<i>A7</i>	Arginature	Solo SC/NC
<i>Opere di alterazione della morfologia dell'alveo e/o del substrato</i>		
<i>A8</i>	Variazioni artificiali di tracciato	Solo SC/NC
<i>A9</i>	Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato	Tutti
<i>Interventi di manutenzione e prelievo</i>		
<i>A10</i>	Rimozione di sedimenti	Tutti
<i>A11</i>	Rimozione di materiale legnoso	Tutti
<i>A12</i>	Taglio della vegetazione in fascia perifluviale	Tutti
Variazioni morfologiche		
<i>V1</i>	Variazione della configurazione morfologica	Solo G
<i>V2</i>	Variazioni di larghezza	Solo G
<i>V3</i>	Variazioni altimetriche	Solo G

5.2 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 e la **Guida alle risposte**, strumento utile per una più facile e corretta applicazione delle schede stesse, vengono riportate in appendice. La versione delle **schede in formato elettronico** è disponibile sul sito ISPRA all'indirizzo web <http://www.sintai.sinanet.apat.it/view/index.faces>.

5.2.1 Competenze

Per l'applicazione della metodologia di valutazione morfologica è necessaria una buona conoscenza della geomorfologia fluviale. La figura professionale

tradizionalmente più indicata è quella dei geologi, ma vi sono oggi diverse figure professionali in campo ambientale con conoscenze in geomorfologia fluviale (ingegneri, dottori forestali, naturalisti). È possibile acquisire nel tempo le conoscenze necessarie anche da parte di operatori con altre competenze affini.

5.2.2 *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 ([CAPITOLO 4](#)):

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 perifluvale, 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* (riportata di seguito). 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 (si veda [CAPITOLO 4, STEP 2](#)). 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 nel [CAPITOLO 4 \(STEP 3\)](#). 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). Nel caso in cui si fosse verificato un evento di piena di forte intensità che ha prodotto forti variazioni morfologiche tra l'anno delle immagini disponibili ed il rilievo sul terreno, è necessario procedere allo stesso modo data l'impossibilità pratica di effettuare nuovi rilievi.

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).

5.2.3 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).

5.3 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 nelle tabelle seguenti i punteggi assegnati ai singoli indicatori.

Tabella 5.2 – Punteggi relativi agli indicatori di funzionalità.

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
	<i>F11</i>	Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni		0		3
<i>Vegetazione fascia perifluviale</i>	<i>F12</i>	Aampiezza 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

Tabella 5.3 – Punteggi relativi agli indicatori di artificialità.

	ARTIFICIALITÀ	A	B	C
<i>Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte</i>				
<i>A1</i>	Opere di alterazione delle portate liquide	0	3	6
<i>A2</i>	Opere di alterazione delle portate solide	0	3	6
<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
<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

Tabella 5.4 – Punteggi relativi agli indicatori di variazioni morfologiche.

CATEGORIE	VARIAZIONI MORFOLOGICHE			A	B	C
Morfologia <i>Configurazione morfologica</i>	V1	Variazione della configurazione morfologica		0	3	6
<i>Configurazione sezione</i>	V2	Variazioni di larghezza		0	3	6
	V3	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 precedenti tabelle).
- 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 5.5](#)).

Tabella 5.5 – 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>				
P	37	63		100
G			14	114
<i>Semi- non confinati</i>				
P	46	72		118
G			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 ([Tabella 5.5](#)), 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 5.6](#)).

Tabella 5.6 – Classi di qualità morfologica.

IQM	CLASSE DI QUALITÀ
$0.0 \leq \text{IQM} < 0.3$	<i>Pessimo o Cattivo</i>
$0.3 \leq \text{IQM} < 0.5$	<i>Scadente o Scarso</i>
$0.5 \leq \text{IQM} < 0.7$	<i>Moderato o Sufficiente</i>
$0.7 \leq \text{IQM} < 0.85$	<i>Buono</i>
$0.85 \leq \text{IQM} < 1.0$	<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 i dettagli si rimanda al [paragrafo 5.5](#)).

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 omesso, 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*. Per un'applicazione di tali regole, si rimanda per maggiore chiarezza all'esempio riportato nel paragrafo successivo.

Per la sua struttura in categorie, è possibile calcolare diversi **sub-indici** ovvero suddividere gli indici *IAM* ed *IQM* nelle varie componenti. Ciò può essere utile ad esempio per meglio identificare quali siano le criticità e/o i pregi di un tratto.

Si può pertanto procedere al calcolo dei sub-indici di funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche (o “**sub-indici verticali**”) come segue:

1. **FUNZIONALITÀ**

$$\text{IAM}_F = S_F \text{ tot} / S_{\text{max}}$$

$$\text{IQM}_F = (S_F \text{ max} / S_{\text{max}}) - \text{IAM}_F = (S_F \text{ max} - S_F \text{ tot}) / S_{\text{max}}$$

Dove:

$$S_F \text{ tot} = F1 + \dots + F13 \quad (\text{somma dei punteggi degli indicatori } F \text{ applicati});$$

$$\text{Max}(S_F \text{ tot}) = \text{Max}(F1) + \dots + \text{Max}(F13) \quad (\text{somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori } F);$$

$$\text{Max}(S_A \text{ tot}) = \text{Max}(A1) + \dots + \text{Max}(A12) \quad (\text{somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori } A);$$

$$\text{Max}(S_V \text{ tot}) = \text{Max}(V1) + \dots + \text{Max}(V3) \quad (\text{somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori } V);$$

Max(S_{tot}) = **Max(S_{F tot})** + **Max(S_{A tot})** + **Max(S_{V tot})** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori);

Sna_(F) = somma dei punteggi massimi degli indicatori F non applicati;

Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori F, A e V non applicati;

S_{F max} = **Max(S_{F tot})** - **Sna_(F)**;

Smax = **Max(S_{tot})** - **Sna**.

2. ARTIFICIALITÀ

IAM_A = **S_{A tot}**/**Smax**

IQM_A = (**S_{A max}**/**Smax**) - **IAM_A** = (**S_{A max}** - **S_{A tot}**) / **Smax**

Dove:

S_{Atot} = **A1** + ... + **A12** (somma dei punteggi degli indicatori A applicati);

Max(S_{F tot}) = **Max(F1)** + ... + **Max(F13)** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori F);

Max(S_{A tot}) = **Max(A1)** + ... + **Max(A12)** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori A);

Max(S_{V tot}) = **Max(V1)** + ... + **Max(V3)** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori V);

Max(S_{tot}) = **Max(S_{F tot})** + **Max(S_{A tot})** + **Max(S_{V tot})** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori);

Sna_(A) = somma dei punteggi massimi degli indicatori A non applicati;

Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori F, A e V non applicati;

S_{A max} = **Max(S_{A tot})** - **Sna_(A)**;

Smax = **Max(S_{tot})** - **Sna**.

3. VARIAZIONI MORFOLOGICHE

IAM_V = **S_{V tot}**/**Smax**

IQM_V = (**S_{V max}**/**Smax**) - **IAM_V** = (**S_{V max}** - **S_{V tot}**) / **Smax**

Dove:

S_{V tot} = **V1** + ... + **V3** (somma dei punteggi degli indicatori V applicati);

Max(S_{F tot}) = **Max(F1)** + ... + **Max(F13)** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori F);

Max(S_{A tot}) = **Max(A1)** + ... + **Max(A12)** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori A);

Max(S_{V tot}) = **Max(V1)** + ... + **Max(V3)** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori V);

Max(S_{tot}) = **Max(S_{F tot})** + **Max(S_{A tot})** + **Max(S_{V tot})** (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori);

Sna_(V) = somma dei punteggi massimi degli indicatori V non applicati;

Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori F, A e V non applicati;

S_{V max} = **Max(S_{V tot})** - **Sna_(V)**;

Smax = **Max(S_{tot})** - **Sna**.

Per rendere più immediata ed efficace l'analisi, i valori dei sub-indici possono essere rapportati al valore massimo ottenibile per la relativa categoria (funzionalità, artificialità, variazioni). A tal fine, si ripartisce il valore complessivo di *IAM* e *IQM* nelle aliquote relative alle tre categorie come segue:

1. FUNZIONALITÀ

$$IAM_F \max = IQM_F \max = S_F \max / S_{max}$$

2. ARTIFICIALITÀ

$$IAM_A \max = IQM_A \max = S_A \max / S_{max}$$

3. VARIAZIONI MORFOLOGICHE

$$IAM_V \max = IQM_V \max = S_V \max / S_{max}$$

Si noti che, nel caso siano state aggiunte penalità agli indicatori A4, A6, A7 e/o A9 tali che $S_{tot} > S_{max}$, la somma dei tre sub-indici $IAM_F + IAM_A + IAM_V$ risulta maggiore di 1.

Oltre alla ripartizione in *sub-indici verticali* sopra riportata, si può effettuare analoga ripartizione secondo le categorie: Continuità, Morfologia, Vegetazione (“**sub-indici orizzontali**”). A tal fine, va tenuto conto che alcuni elementi di artificialità hanno effetti su più categorie: in tali casi, per questioni di semplicità, si divide il punteggio attribuito ad un certo indicatore di artificialità per il numero di categorie su cui ha effetto. Ne derivano i sub-indici definiti di seguito:

1. CONTINUITÀ

$$IAM_C = IAM_{CL} + IAM_{CLA}$$

$$IQM_C = IQM_{CL} + IQM_{CLA}$$

Dove:

C indica la continuità, *CL* indica la continuità longitudinale e *CLA* quella laterale

1.1. *CONTINUITÀ LONGITUDINALE*

$$IAM_{CL} = (F1 + A1 + A2 + A3 + A4/2 + A5) / S_{max}$$

$$IQM_{CL} = (S_{CL} \max / S_{max}) - IAM_{CL}$$

Dove:

$$S_{CL} \max = \text{Max}(S_{CL} \text{ tot}) - S_{na(CL)};$$

$$\text{Max}(S_{CL} \text{ tot}) = \text{Max}(F1) + \text{Max}(A1) + \text{Max}(A2) + \text{Max}(A3) + \text{Max}(A4/2) + \text{Max}(A5)$$

(somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori di *CL*);

Sna(CL) = somma dei punteggi massimi degli indicatori di *CL* non applicati.

1.2. *CONTINUITÀ LATERALE*

$$IAM_{CLA} = (F2 + F3 + F4 + F5 + A6/2 + A7) / S_{max}$$

$$IQM_{CLA} = (S_{CLA} \max / S_{max}) - IAM_{CLA}$$

Dove:

$$S_{CLA} \max = \text{Max}(S_{CLA} \text{ tot}) - S_{na(CL)};$$

$Max(S_{CLA\ tot}) = Max(F2) + Max(F3) + Max(F4) + Max(F5) + Max(A6/2) + Max(A7)$

(somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori di CLA);

$Sna(CL\ A) = somma\ dei\ punteggi\ massimi\ degli\ indicatori\ di\ CLA\ non\ applicati.$

2. MORFOLOGIA

$$IAM_M = IAM_{CM} + IAM_{CS} + IAM_S$$

$$IQM_M = IQM_{CM} + IQM_{CS} + IQM_S$$

Dove:

M indica la morfologia, CM indica la configurazione morfologica, CS la configurazione della sezione e S la struttura e substrato alveo.

2.1. CONFIGURAZIONE MORFOLOGICA

$$IAM_{CM} = (F6 + F7 + F8 + A6/2 + A8 + V1) / Smax$$

$$IQM_{CM} = (S_{CM\ max} / Smax) - IAM_{CM}$$

Dove:

$$S_{CM\ max} = Max(S_{CM\ tot}) - Sna(CM);$$

$Max(S_{CM\ tot}) = Max(F6) + Max(F7) + Max(F8) + Max(A6/2) + Max(A8) + Max(V1)$

(somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori di CM);

$Sna(CM) = somma\ dei\ punteggi\ massimi\ degli\ indicatori\ di\ CM\ non\ applicati.$

2.2. CONFIGURAZIONE DELLA SEZIONE

$$IAM_{CS} = (F9 + A4/2 + A9/2 + A10/2 + V2 + V3) / Smax$$

$$IQM_{CS} = (S_{CS\ max} / Smax) - IAM_{CS}$$

Dove:

$$S_{CS\ max} = Max(S_{CS\ tot}) - Sna(CS);$$

$Max(S_{CS\ tot}) = Max(F9) + Max(A4/2) + Max(A9/2) + Max(A10/2) + Max(V2) + Max(V3)$

(somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori di CS);

$Sna(CS) = somma\ dei\ punteggi\ massimi\ degli\ indicatori\ di\ CS\ non\ applicati.$

2.3. SUBSTRATO

$$IAM_S = (F10 + F11 + A9/2 + A10/2 + A11) / Smax$$

$$IQM_S = (S_S\ max / Smax) - IAM_S$$

Dove:

$$S_S\ max = Max(S_S\ tot) - Sna(S);$$

$Max(S_S\ tot) = Max(F10) + Max(F11) + Max(A9/2) + Max(A10/2) + Max(A11)$

(somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori di S);

$Sna(S) = somma\ dei\ punteggi\ massimi\ degli\ indicatori\ di\ S\ non\ applicati.$

3. VEGETAZIONE

$$IAM_{VE} = (F12 + F13 + A12) / Smax$$

$$IQM_{VE} = (S_{VE}\ max / Smax) - IAM_{VE}$$

Dove:

VE indica la vegetazione;

$S_{VE\ max} = Max(S_{VE\ tot}) - Sna(VE);$

$Max(S_{VE\ tot}) = Max(F12) + Max(F13) + Max(A12)$ (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori di VE);

$Sna(VE) = \text{somma dei punteggi massimi degli indicatori di VE non applicati.}$

In maniera analoga ai **sub-indici verticali**, anche in questo caso è utile rapportare i valori dei **sub-indici orizzontali** rispetto al valore massimo ottenibile per la relativa categoria (Continuità, Morfologia, Vegetazione), ripartendo il valore complessivo di *IAM* e *IQM* nelle aliquote relative alle tre categorie come segue:

1. CONTINUITÀ

$IAM_C\ max = IQM_C\ max = S_C\ max/Smax$

Dove:

$S_C\ max = Max(S_C\ tot) - Sna(C) = S_{CL}\ max + S_{CLA}\ max;$

$Max(S_C\ tot) = Max(S_{CL}\ tot) + Max(S_{CLA}\ tot)$

(somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori di C ossia di CL e CLA);

$Sna(C) = Sna(CL) + Sna(CLA)$

(somma dei punteggi massimi degli indicatori di C ossia di CL e CLA non applicati).

2. MORFOLOGIA

$IAM_M\ max = IQM_M\ max = S_M\ max/Smax$

Dove:

$S_M\ max = Max(S_M\ tot) - Sna(M) = S_{CM}\ max + S_{CS}\ max + S_S\ max;$

$Max(S_M\ tot) = Max(S_{CM}\ tot) + Max(S_{CS}\ tot) + Max(S_S\ tot)$

(somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori di M ossia di CM, CS e S);

$Sna(M) = Sna(CM) + Sna(CS) + Sna(S)$

(somma dei punteggi massimi degli indicatori di M ossia di CM, CS e S non applicati).

3. VEGETAZIONE

$IAM_{VE}\ max = IQM_{VE}\ max = S_{VE}\ max/Smax$

5.4 Esempio di applicazione

Si riporta di seguito un esempio di applicazione delle schede di valutazione. Tale esempio non si riferisce ad un caso reale (per le applicazioni a casi reali si rimanda al paragrafo successivo), ma serve esclusivamente per esemplificare l'applicazione delle regole di compilazione delle schede e di calcolo degli indici.

IDRAIM: sistema di valutazione IDRROMORFOLOGICA, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

SCHEDA DI VALUTAZIONE PER ALVEI SEMI- NON CONFINATI			
Versione 1 - Gennaio 2011			
GENERALITA'			
Data	01 / 01 / 20 10	Operatori	M. Rossi
Bacino	Idraim	Corso d'acqua	Idraim
Estremità monte	confluenza T.Secco	Estremità valle	presso S.Anna
Codice Segmento	4	Codice Tratto	4-3
		Lunghezza tratto (m)	2.4 km
INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE INIZIALE			
1. Inquadramento fisiografico			
Ambito fisiografico	P	CM=Collinare-montano, P=Pianura	Unità fisiografica alta pianura
2. Confinamento			
Grado confinamento (%)	10- 90	>90, 10-90, <10	
Indice confinamento	>n	1-1.5, 1.5-n, >n (n=5 alvei canale singolo; n=2 alvei a canali multipli e wandering)	
Classe confinamento	SC	SC=Semiconfinato, NC=Non Confinato	
3. Morfologia alveo			
Immagine utilizzata	Volo Regione 2007	(nome, anno)	
Indice sinuosità	~ 1.2	1-1.05, 1.05-1.5, >1.5	
Indice intrecciamento	~ 1.3	1-1.5, >1.5	Indice anastomizzazione I 1-1.5, >1.5
Tipologia	W	R=Rettilineo, S=Sinuoso, M=Meandriforme, SBA= Transizionale sinuoso barre alternate, W= Transizionale wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anastomizzato	
Configurazione fondo	R= Roccia, G=Gradinata, LP=Letto piano, RP=Riffle Pool, D=Dune		
(solo per morfologie R, S, M, SBA)	A= Artificiale, NC= non classificabile (elevata profondità o forte alterazione)		
Pendenza media fondo	0.0035	Larghezza media alveo (m)	
Sedimenti (dominanti) alveo	A=Argilla, L=Limo, S=Sabbia, G=Ghiaia, C=Ciottoli, M=Massi		
4. Altri elementi per delimitazione tratto			
Monte	affluente	Valle	
discontinuità pendenza, affluente, diga, artificializzazione, dimensioni pianura e/o variazioni confinamento, variazioni larghezza alveo, granulometria sedimenti, altro (specificare)			
Altri dati / informazioni eventualmente disponibili			
Area drenaggio (sottesa alla chiusura del tratto) (km ²)	760		
Diametro sedimenti D ₅₀ (mm)	35	Unità B (SU) F=Fondo, B=Barra (SU=superficiale, SO=sottostrato)	
Portate liquide ND	M=misurate, S=stimate, ND=non disponibili		
Stazione idrometrica (se M)		Portata media annua (m ³ /s)	Q _{1.5} (m ³ /s)
Portate massime (indicare anno e Q quando noti) piena intensa nel 2004			

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA**Continuità**

parz. prog. conf.

F1 Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso	
A	Assenza di alterazioni della continuità di sedimenti e materiale legnoso
B	Lieve alterazione (ostacoli nel flusso ma non intercettazione)
C	Forte alterazione (forte discontinuità di forme per intercettazione)

E' presente una briglia di notevoli dimensioni che intercetta parte del trasporto al fondo e crea una discontinuità di forme (netta riduzione di barre a valle)

F2 Presenza di piana inondabile

A	Presenza di piana inondabile continua (>66% tratto) ed ampia	0	
B	Presenza di piana inondabile discontinua (10 - 66%) di qualunque ampiezza o >66% ma stretta	3	
C	Assenza o presenza trascurabile (<10% di qualunque ampiezza)	5	5

Non si valuta nel caso di alvei in ambito montano lungo conoidi a forte pendenza (>3%)

Esistono dei dubbi relativi ad una parte del tratto (se è realmente piana inondabile o terrazzo)

parz.: punteggi parziali (cerchiare) prog.: punteggi progressivi

conf: livello di confidenza nella risposta, con M=Medio, B=Basso (Alto si omette)

livello confidenza tra A e B

livello confidenza tra B e C

IDRAIM: sistema di valutazione IDRROMORFOLOGICA, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

F4 Processi di arretramento delle sponde	
A	Presenza di frequenti sponde in arretramento soprattutto sul lato esterno delle curve
B	Sponde in arretramento poco frequenti in quanto impedisce da opere e/o scarsa dinamica alveo
C	Completa assenza oppure presenza diffusa di sponde instabili per movimenti di massa

Non si valuta in caso di alvei rettilinei o sinuosi a bassa energia (bassa pianura, basse pendenze e/o basso ts al fondo)

F5 Presenza di una fascia potenzialmente erodibile	
A	Presenza fascia potenzialmente erodibile ampia e per >66% tratto
B	Presenza fascia erodibile ristretta o ampia ma per 33-66% tratto
C	Presenza fascia potenzialmente erodibile di qualunque ampiezza per ≤33% tratto

Morfologia

Configurazione morfologica

F7 Forme e processi tipici della configurazione morfologica	
A	Assenza (≤5%) di alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale
B	Alterazioni per porzione limitata del tratto (≤33%)
C	Consistenti alterazioni per porzione significativa del tratto (>33%)

La presenza di una briglia e l'incisione a valle provocano un'alterazione della morfologia per un tratto significativo (comunque < 33%)

F8 Presenza di forme tipiche di pianura	
A	Presenti forme di pianura attuali (laghi meandro abbandonato, canali secondari, ecc.)
B	Presenti tracce forme pianura non attuali (abbandonate dopo anni '50) ma riattivabili
C	Completa assenza di forme di pianura attuali o riattivabili

Si valuta solo per fiumi meandriformi (oggi e/o in passato) in ambito fisiografico di pianura

Configurazione sezione

F9 Variabilità della sezione	
A	Assenza o presenza localizzata (≤5% tratto) di alterazioni naturale eterogeneità della sezione
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione limitata del tratto (≤33%)
C	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione significativa del tratto (>33%)

Non si valuta in caso di alvei rettilinei, sinuosi, meandriformi per loro natura privi di barre (bassa pianura, basse pendenze e/o basso trasporto al fondo) (naturale omogeneità di sezione)

Struttura e substrato alveo

F10 Struttura del substrato	
A	Naturale eterogeneità sedimenti e <i>clogging</i> poco significativo
B	Corazzamento o <i>clogging</i> accentuato in varie porzioni del sito
C1	Corazzamento o <i>clogging</i> accentuato e diffuso (>90%) e/o affioramento occasionale substrato
C2	Affioramento diffuso del substrato per incisione o rivestimento fondo (>33% tratto)

Non si valuta nel caso di fondo sabbioso, nonché di corso d'acqua profondo per il quale non è possibile osservare il fondo

Sono stati notati alcuni affioramenti di substrato argilloso

F11 Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni	
A	Presenza significativa di materiale legnoso
C	Presenza molto limitata o assenza di materiale legnoso

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua**Vegetazione fascia perifluviale**

F12 Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale		
A	Aampiezza di formazioni funzionali elevata	0
B	Aampiezza di formazioni funzionali intermedia	(2)
C	Aampiezza di formazioni funzionali limitata	3 23

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

F13 Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti lungo le sponde		
A	Estensione lineare formazioni funzionali >90% lunghezza massima disponibile	0
B	Estensione lineare formazioni funzionali 33-90% lunghezza massima disponibile	(3)
C	Estensione lineare formazioni funzionali ≤33% lunghezza massima disponibile	5 26

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

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

			parz.	prog.	conf.
A1 Opere di alterazione delle portate liquide					
A	Alterazioni nulle o poco significative (≤10%) delle portate formative e con $TR > 10$ anni	0			
B	Alterazioni significative (>10%) delle portate con $TR > 10$ anni	(3)			
C	Alterazioni significative (>10%) delle portate formative	6 29			

Esiste una cassa di espansione nel bacino ma lamina le piene a partire da T circa 30 anni, mentre ha effetti trascurabili sulle portate formative

A2 Opere di alterazione delle portate solide		
A	Assenza di opere di alterazione del flusso di sedimenti o presenza trascurabile (dighe con area sottesa <5% e/o altre opere trasversali con area sottesa <33%)	0
B1	Presenza di dighe (area sottesa 5-33%) e/o opere con totale intercettazione (area 33-66%) e/o opere con intercettazione parziale/nulla (area >33% pianura/collina o >66% ambito montano)	3
B2	Presenza di dighe (area sottesa 33-66%) e/o opere con totale intercettazione (area sottesa >66% o all'estremità a monte del tratto)	(6)
C1	Presenza di dighe (area sottesa >66%)	9
C2	Presenza di diga all'estremità a monte del tratto	12 35

Esiste una traversa con totale intercettazione poco a monte del tratto (area di drenaggio sottesa >66% di quella sottesa dal tratto)

Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto

			parz.	prog.	conf.
A3 Opere di alterazione delle portate liquide					
A	Alterazioni nulle o poco significative (≤10%) delle portate formative e con $TR > 10$ anni	(0)			
B	Alterazioni significative (>10%) delle portate con $TR > 10$ anni	3			
C	Alterazioni significative (>10%) delle portate formative	6 35			

A4 Opere di alterazione delle portate solide		
A	Assenza di qualsiasi tipo di opera di alterazione del flusso di sedimento/legname	0
B	<i>Ambito pianura/collina: presenza briglie, traverse, casse in linea ≤1 ogni 1000 m</i> <i>Ambito montano: briglie di consolidamento ≤1 ogni 200 m e/o briglie aperte</i>	(4)
C	<i>Ambito pianura/collina: presenza briglie, traverse, casse in linea >1 ogni 1000 m</i> <i>Ambito montano: briglie di consolidamento >1 ogni 200 m e/o briglie di trattenuta a corpo pieno oppure presenza di diga e/o invaso artificiale all'estremità a valle del tratto (qualunque ambito)</i>	6 39

Nel caso la densità di opere trasversali, incluse soglie e rampe (vedi A9), è >1 ogni n, aggiungere 12
dove n=100 m in ambito montano, o n=500 m in ambito di pianura/collina

Come già detto, c'è un'unica briglia nel tratto

IDRAIM: sistema di valutazione IDRROMORFOLOGICA, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

A5 Opere di attraversamento	
A	Assenza di opere di attraversamento
B	Presenza di alcune opere di attraversamento (≤ 1 ogni 1000 m in media nel tratto)
C	Presenza diffusa di opere di attraversamento (> 1 ogni 1000 m in media nel tratto)

Sono presenti un ponte ed un guado

Opere di alterazione della continuità laterale

A6 Difese di sponda	
A	Assenza o solo difese localizzate ($\leq 5\%$ lunghezza totale delle sponde)
B	Presenza di difese per $\leq 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)
C	Presenza di difese per $> 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)

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

Esiste solo una difesa localizzata in corrispondenza del ponte

A7 Arginature	
A	Argini assenti o distanti oppure presenza argini vicini o a contatto $\leq 10\%$ lunghezza sponde
B	Presenza intermedia di argini vicini e/o a contatto (a contatto $\leq 50\%$ lunghezza sponde)
C	Presenza elevata di argini vicini e/o a contatto (a contatto $> 50\%$ lunghezza sponde)

Nel caso di argini a contatto per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere 12

Il tratto non è arginato

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

A8 Variazioni artificiali di tracciato	
A	Assenza di variazioni artificiali di tracciato note in passato (tagli meandri, spostamenti alveo, ecc.)
B	Presenza di variazioni di tracciato per $\leq 10\%$ lunghezza tratto
C	Presenza di variazioni di tracciato per $> 10\%$ lunghezza tratto

Non risultano variazioni artificiali nel passato

A9 Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato	
A	Assenza soglie o rampe e rivestimenti assenti o localizzati ($\leq 5\%$ tratto)
B	Presenza soglie o rampe (≤ 1 ogni m) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ imperm.
C1	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni m) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ imperm.
C2	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili

m=200 m in ambito montano; m= 1000 m in ambito di pianura/collina

Nel caso di rivestimenti del fondo (permeabili e/o impermeabili) per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere 12

È presente una soglia in corrispondenza del ponte

Interventi di manutenzione e prelievo

A10 Rimozione di sedimenti	
A	Assenza di significativa attività di rimozione recente (ultimi 20 anni) e in passato (da anni '50)
B	Moderata attività in passato ma assente di recente (ultimi 20 anni), oppure assente in passato ma presente di recente
C	Intensa attività in passato oppure moderata in passato e presente di recente

Non risultano interventi negli ultimi 20 anni.

L'incertezza deriva dal fatto se in passato è stata intensa (come probabile) o moderata.

A11 Rimozione di materiale legnoso	
A	Assenza di interventi di rimozione di materiale legnoso almeno negli ultimi 20 anni
B	Rimozione parziale negli ultimi 20 anni
C	Rimozione totale negli ultimi 20 anni

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

Non risultano interventi di rimozione totale. Vi sono varie evidenze che la rimozione parziale da parte di abitanti della zona sia praticata

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

A12 Taglio della vegetazione in fascia perifluviale		
A	Vegetazione arborea sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0
B	Taglio selettivo nel tratto e/o raso su ≤50% del tratto negli ultimi 20 anni	2
C	Taglio raso su >50% del tratto negli ultimi 20 anni	5 52

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

Non risultano tagli effettuati negli ultimi 20 anni

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

V1 Variazioni della configurazione morfologica			<i>(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)</i>	parz.	prog.	conf.
A	Assenza di variazioni rispetto ad anni '50		0			
B	Variazioni di morfologia tra tipologie contigue rispetto ad anni '50		3			
C	Variazioni tra tipologie non contigue rispetto ad anni '50		6 55			

L'alveo nel 1954 era a canali intrecciati

V2 Variazioni di larghezza			<i>(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)</i>	parz.	prog.	conf.
A	Variazioni nulle o limitate (≤15%) rispetto ad anni '50		0			
B	Variazioni moderate (15-35%) rispetto ad anni '50		3			
C	Variazioni intense (>35%) rispetto ad anni '50		6 61			

Il restringimento dell'alveo è stato dell'ordine del 45%

V3 Variazioni altimetriche			<i>(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)</i>	parz.	prog.	conf.
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (fino 0.5 m)		0			
B	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤ 3 m)		4			
C1	Variazioni della quota del fondo intense (> 3 m)		8			
C2	Variazioni della quota del fondo molto intense (> 6 m)		12 65			

Non si valuta nel caso di assoluta mancanza di dati, informazioni ed evidenze sul terreno

L'abbassamento del fondo è presente lungo tutto il tratto ma è sicuramente inferiore ai 3 m

$$\text{Scostamento totale: } S_{tot} = 65 \quad 62 \div 67$$

$$\text{Scostamento massimo: } S_{max} = 142 - S_{na} = 139$$

dove S_{na} = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

$$\text{Indice di Alterazione Morfologica: } IAM = S_{tot} / S_{max} = 0.47 \quad 0.45 \div 0.48$$

se $S_{tot} > S_{max}$ si assume $IAM=1$

$$\text{Indice di Qualità Morfologica: } IQM = 1 - IAM = 0.53 \quad 0.52 \div 0.55$$

$$\text{Classe di qualità del tratto: } \text{Moderato}$$

$0 \leq IQM < 0.3$: Pessimo o Cattivo; $0.3 \leq IQM < 0.5$: Scadente o Scarso; $0.5 \leq IQM < 0.7$: Moderato o Sufficiente;

$0.7 \leq IQM < 0.85$: Buono; $0.85 \leq IQM < 1.0$: Elevato

Come si può osservare, non è stato applicato l'indicatore $F8$ (presenza di forme tipiche di pianura), essendo quest'ultimo valutabile solo in fiumi meandriformi di pianura (mentre l'esempio, seppure di ambito di pianura, rientra nella tipologia *wandering*). Ne consegue che lo scostamento massimo che avrebbe potuto ottenere il caso in esame risulta essere di $Smax = Max(S_{tot}) - S_{na} = 142 - 3 = 139$ (essendo 3 il valore massimo attribuibile all'unico indicatore non applicabile, $F8$). Ne deriva un $IAM = S_{tot}/Smax = 65/139 = 0.47$, e di conseguenza un $IQM = 1 - IAM = 0.53$.

Le uniche due risposte che in questo esempio presentano un grado di incertezza non elevato sono $F2$ ed $A10$. Gli scostamenti associati a tali indicatori sono rispettivamente +2 (per $F2$) e -3 (per $A10$). Ne risulta che lo scostamento totale S_{tot} , a cui è stato attribuito un valore di 65, potrebbe variare tra 62 e 67, e di conseguenza il valore dell' IAM tra 0.45 (= 62/139) e 0.48 (67/139). Ne risulta un range dell' IQM tra 0.52 e 0.55. Pertanto il grado di confidenza nella risposta finale è elevato, e qualunque sia il punteggio finale la classe di qualità risulta sempre "moderato".

Di seguito si riporta, a titolo di esempio, il dettaglio dei calcoli relativi a tutti i sub-indici che è possibile calcolare (riepilogati in [Tabella 5.7](#))

Sub-indici verticali

SUB-INDICE DI FUNZIONALITÀ

$$IAM_F = S_{F\ tot}/Smax = 26/139 = 0.19 \text{ su } 0.31$$

$$IQM_F = (S_{F\ max}/Smax) - IAM_F = (S_{F\ max} - S_{F\ tot}) / Smax = (43 - 26)/139 = 0.12 \text{ su } 0.31$$

$$\text{essendo } IAM_{F\ max} = IQM_{F\ max} = S_{F\ max}/Smax = 43/139 = 0.31$$

SUB-INDICE DI ARTIFICIALITÀ

$$IAM_A = S_{A\ tot}/Smax = 26/139 = 0.19 \text{ su } 0.52$$

$$IQM_A = (S_{A\ max}/Smax) - IAM_A = (S_{A\ max} - S_{A\ tot}) / Smax = (72 - 26)/139 = 0.33 \text{ su } 0.52$$

$$\text{essendo } IAM_{A\ max} = IQM_{A\ max} = S_{A\ max}/Smax = 72/139 = 0.52$$

SUB-INDICE DI VARIAZIONI

$$IAM_V = S_{V\ tot}/Smax = 13/139 = 0.09 \text{ su } 0.17$$

$$IQM_V = (S_{V\ max}/Smax) - IAM_V = (S_{V\ max} - S_{V\ tot}) / Smax = (24 - 13)/139 = 0.08 \text{ su } 0.17$$

$$\text{essendo } IAM_{V\ max} = IQM_{V\ max} = S_{V\ max}/Smax = 24/139 = 0.17$$

Sub-indici orizzontali

SUB-INDICE DI CONTINUITÀ

$$IAM_C = IAM_{CL} + IAM_{CLA} = 0.13 + 0.04 = 0.17 \text{ su } 0.40$$

$$IQM_C = IQM_{CL} + IQM_{CLA} = 0.12 + 0.11 = 0.23 \text{ su } 0.40$$

$$\text{essendo } IAM_{C\ max} = IQM_{C\ max} = S_{C\ max}/Smax = (S_{CL\ max} + S_{CLA\ max})/Smax = (35+20)/139 = 0.40$$

CONTINUITÀ LONGITUDINALE

$$IAM_{CL} = (F1+A1+A2+A3+A4/2+A5)/Smax = 18/139 = 0.13$$

$$IQM_{CL} = (S_{CL\ max}/Smax) - IAM_{CL} = (35/139) - 0.13 = 0.12$$

CONTINUITÀ LATERALE

$$IAM_{CLA} = (F2+F3+F4+F5+A6/2+A7)/Smax = 5/139 = 0.04$$

$$IQM_{CLA} = (S_{CLA\ max}/Smax) - IAM_{CLA} = (20/139) - 0.04 = 0.11$$

SUB-INDICE DI MORFOLOGIA

$$IAM_M = IAM_{CM} + IAM_{CS} + IAM_S = 0.04 + 0.14 + 0.08 = 0.26 \text{ su } 0.51$$

$$IQM_M = IQM_{CM} + IQM_{CS} + IQM_S = 0.08 + 0.10 + 0.07 = 0.26 \text{ su } 0.51$$

essendo $IAM_M \max = IQM_M \max = S_M \max / Smax = (S_{CM} \max + S_{CS} \max + S_S \max) / Smax = (17 + 33 + 21) / 139 = 0.51$

CONFIGURAZIONE MORFOLOGICA

$$IAM_{CM} = (F6 + F7 + F8 + A6/2 + A8 + V1) / Smax = 6 / 139 = 0.04$$

$$IQM_{CM} = (S_{CM} \max / Smax) - IAM_{CM} = (17 / 139) - 0.04 = 0.08$$

CONFIGURAZIONE DELLA SEZIONE

$$IAM_{CS} = (F9 + A4/2 + A9/2 + A10/2 + V2 + V3) / Smax = 19.5 / 139 = 0.14$$

$$IQM_{CS} = (S_{CS} \max / Smax) - IAM_{CS} = (33 / 139) - 0.14 = 0.10$$

SUBSTRATO

$$IAM_S = (F10 + F11 + A9/2 + A10/2 + A11) / Smax = 11.5 / 139 = 0.08$$

$$IQM_S = (S_S \max / Smax) - IAM_S = (21 / 139) - 0.08 = 0.07$$

SUB-INDICE DI VEGETAZIONE

$$IAM_{VE} = (F12 + F13 + A12) / Smax = 5 / 139 = 0.04 \text{ su } 0.09$$

$$IQM_{VE} = (S_{VE} \max / Smax) - IAM_{VE} = (13 / 139) - 0.04 = 0.06 \text{ su } 0.09$$

essendo $IAM_{VE} \max = IQM_{VE} \max = S_{VE} \max / Smax = 13 / 139 = 0.09$

Tabella 5.7 – Riepilogo dei valori dei sub-indici.

Nell'ultima colonna a destra è riportato il massimo valore che può essere totalizzato dai sub-indici per una data categoria.

SUB-INDICI	IAM	IQM	TOTALE
<i>Verticali</i>			
FUNZIONALITÀ	0.19	0.12	0.31
ARTIFICIALITÀ	0.19	0.33	0.52
VARIAZIONI	0.09	0.08	0.17
<i>Orizzontali</i>			
CONTINUITÀ	0.17	0.23	0.40
<i>Longitudinale</i>	0.13	0.12	
<i>Laterale</i>	0.04	0.11	
MORFOLOGIA	0.26	0.25	0.51
<i>Configurazione morfologica</i>	0.04	0.08	
<i>Configurazione sezione</i>	0.14	0.10	
<i>Substrato</i>	0.08	0.07	
VEGETAZIONE	0.04	0.06	0.09

5.5 Fase di test

Durante il periodo compreso tra Ottobre 2009 e Gennaio 2010 è stato eseguito un elevato numero di test per collaudare le schede, verificare eventuali incongruenze, e soprattutto per verificare che i punteggi assegnati conducessero a risultati coerenti ed attendibili. A tal fine, sono stati presi in esame una serie di corsi d'acqua che fossero il più possibile rappresentativi di un'ampia varietà di contesti fisiografici, morfologie fluviali ed impatti antropici. Di seguito si riportano alcuni tra gli esempi più significativi di applicazione dell' IQM , ordinati per valori decrescenti dell'indice ed illustrandone le principali caratteristiche e motivi di criticità (per semplicità in questi esempi non si tiene conto del grado di confidenza delle risposte).

5.5.1 Torrente Sentino presso le gole di Frasassi (Marche).

(Compilatori: A. DIGNANI, O. NESCI, M. MICHELI, E. MORRI, R. SANTOLINI, V. TIBERI, S. TEODORI, F. TROIANI)

Il primo esempio mostrato è quello di un torrente montano in un tratto confinato. L'alveo si classifica infatti come confinato a canale singolo, le sponde sono spesso costituite da roccia affiorante ([Figura 5.2A](#)), il fondo alterna punti di affioramento del substrato con brevi sottotratti a fondo mobile e configurazione a *riffle-pool* ([Figura 5.2B](#)). Le pendenze del fondo non sono infatti molto elevate in quanto il corso d'acqua non è nel suo tratto iniziale ma in una zona di raccordo tra due tratti semiconfinati. Le variazioni morfologiche non sono prese in esame data la larghezza ridotta (< 30 m) del corso d'acqua. Non si riscontrano significative alterazioni rispetto alle condizioni attese, eccetto gli indicatori *F3* ed *F12* (connessione versanti-corso d'acqua ed ampiezza della fascia di vegetazione perifluviale) che si collocano in classe *B* a causa della presenza di una strada su un lato del corso d'acqua a ridosso dell'alveo lungo tutto il tratto. Non esistono opere a monte che possano produrre significative alterazioni delle portate formative e delle portate solide, eccetto alcune briglie (*A2* in classe *B1*). Pertanto risulta *IQM* = 0.92 ed il tratto si classifica come *elevato*.

Tabella 5.8 – Torrente Sentino presso Frasassi: tabella riepilogativa per il calcolo dell'*IQM*.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
<i>F1</i>	<i>A</i>	<i>A1</i>	<i>A</i>	<i>V1</i>	/
<i>F3</i>	<i>B</i>	<i>A2</i>	<i>B1</i>	<i>V2</i>	/
<i>F6</i>	<i>A</i>	<i>A3</i>	<i>A</i>	<i>V3</i>	/
<i>F7</i>	<i>A</i>	<i>A4</i>	<i>A</i>	Indici e classe	
<i>F9</i>	<i>A</i>	<i>A5</i>	<i>A</i>	<i>Stot</i>	8
<i>F10</i>	<i>A</i>	<i>A6</i>	<i>A</i>	<i>Smax</i>	100
<i>F11</i>	<i>A</i>	<i>A9</i>	<i>A</i>	<i>IAM</i>	0.08
<i>F12</i>	<i>B</i>	<i>A10</i>	<i>A</i>	<i>IQM</i>	0.92
<i>F13</i>	<i>A</i>	<i>A11</i>	<i>A</i>	<i>Classe</i>	<i>Elevato</i>
		<i>A12</i>	<i>A</i>		

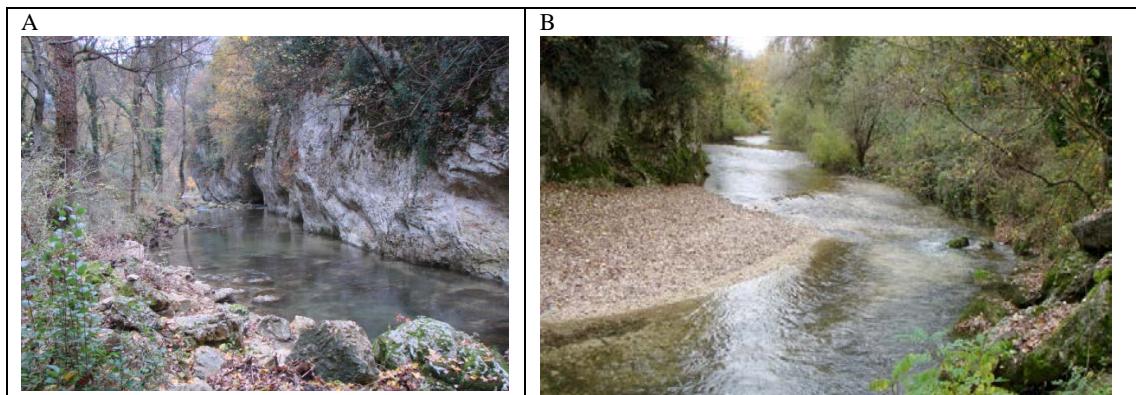


Figura 5.2 – Torrente Sentino presso le gole di Frasassi (*IQM* = 0.92; *Classe* = *Elevato*).

(A) sponda in roccia; (B) fondo in sedimenti e configurazione a *riffle-pool*.

5.5.2 Fiume Tagliamento presso Turrida (Friuli Venezia Giulia).

(Compilatore: N. SURIAN)

In questo tratto, situato nell'alta pianura friulana, il corso d'acqua è non confinato in quanto le scarpate dei terrazzi antichi presenti (un terrazzo è chiaramente visibile nel margine destro di [Figura 5.3A](#)) lasciano un ampio spazio di divagazione (superiore ai 3 km). L'alveo ghiaioso ha una morfologia a canali intrecciati, una larghezza variabile tra 800 e 1000 m ed una pendenza media di 0.003. Gli elementi di alterazione della qualità morfologica sono molto limitati, in relazione ad un'antropizzazione contenuta, se confrontata con altri fiumi italiani, sia nel bacino montano che nell'area di pianura. Questi elementi sono: (1) interventi di rimozione di sedimenti avvenuti soprattutto negli anni '70 – '80 e, molto probabilmente, di materiale legnoso; (2) variazioni morfologiche che hanno comportato una significativa riduzione della larghezza dell'alveo (circa del 50% rispetto agli anni '50) e un'incisione moderata (circa 1.5 m). Il tratto è risultato avere un $IQM = 0.87$, e viene pertanto classificato come *elevato*.

Tabella 5.9 – Fiume Tagliamento presso Turrida: tabella riepilogativa per il calcolo dell' IQM .

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	A	A1	A	V1	A
F2	B	A2	A	V2	C
F4	A	A3	A	V3	B
F5	A	A4	A	Indici e classe	
F7	A	A5	A	Stot	18
F8	/	A6	A	Smax	139
F9	A	A7	A	IAM	0.13
F10	A	A8	A	IQM	0.87
F11	A	A9	A	Classe	<i>Elevato</i>
F12	A	A10	B		
F13	A	A11	B		
		A12	A		



Figura 5.3 – Fiume Tagliamento presso Turrida ($IQM = 0.87$; *Classe = Elevato*).

(A) Foto aerea del tratto in esame che mostra una tipica morfologia a canali intrecciati e la presenza di una significativa fascia perifluviale con vegetazione arborea; (B) particolare dei canali e delle barre; (C) particolare del detrito legnoso in alveo e della vegetazione ripariale.

5.5.3 Fiume Trebbia presso S. Salvatore (Emilia-Romagna).

(Compilatori: L. PELLEGRINI, G. DUCI, F. FILIPPI, T. SIMONELLI, A. COLOMBO)

Si tratta di un corso d'acqua confinato (unità fisiografica: colline appenniniche) nella porzione alta del bacino (area sottesa di circa 630 km^2). L'alveo mantiene caratteri di omogeneità morfologica per un tratto di notevole lunghezza (circa 8.3 km) ([Figura 5.4A](#)), con un andamento a meandri incassati e barre alternate ([Figura 5.4B](#)), classificato come confinato a canale singolo (configurazione del fondo a *riffle-pool*), ed una larghezza media di circa 70 m.

Tabella 5.10 – Fiume Trebbia presso S. Salvatore: tabella riepilogativa per il calcolo dell' IQM .

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
<i>F1</i>	<i>B</i>	<i>A1</i>	<i>C</i>	<i>V1</i>	<i>A</i>
<i>F3</i>	<i>A</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>V2</i>	<i>A</i>
<i>F6</i>	<i>A</i>	<i>A3</i>	<i>A</i>	<i>V3</i>	/
<i>F7</i>	/	<i>A4</i>	<i>C</i>	<i>Indici e classe</i>	
<i>F9</i>	<i>A</i>	<i>A5</i>	<i>A</i>	<i>Stot</i>	24
<i>F10</i>	<i>A</i>	<i>A6</i>	<i>A</i>	<i>Smax</i>	106
<i>F11</i>	<i>C</i>	<i>A9</i>	<i>A</i>	<i>IAM</i>	0.23
<i>F12</i>	<i>A</i>	<i>A10</i>	<i>A</i>	<i>IQM</i>	<u>0.77</u>
<i>F13</i>	<i>A</i>	<i>A11</i>	<i>A</i>	<i>Classe</i>	<i>Buono</i>
		<i>A12</i>	<i>A</i>		

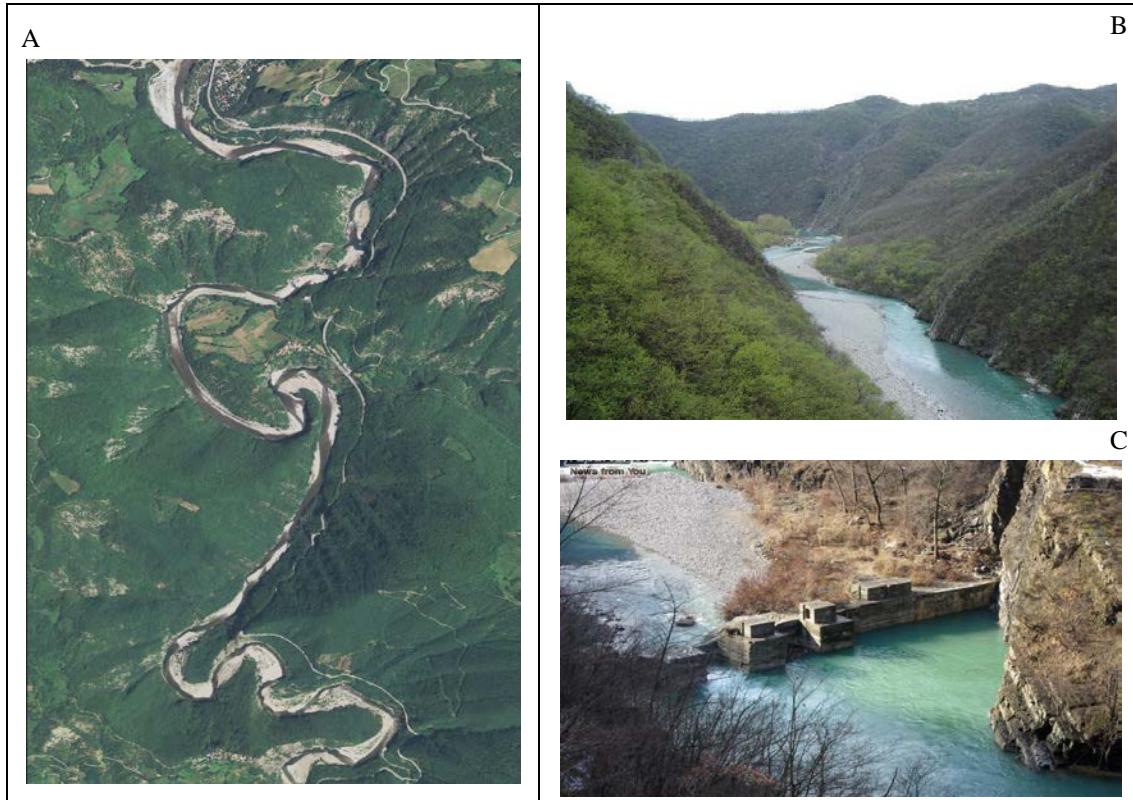


Figura 5.4 – Fiume Trebbia presso S.Salvatore ($IQM = 0.77$; Classe = Buono).

(A) Foto aerea del tratto in esame; (B) particolare de tratto che mostra la configurazione di alveo confinato a canale singolo; (C) resti dello sbarramento.

Le portate liquide formative e quelle solide provenienti da monte sono alterate (A1 in classe C e A2 in classe B2) a causa della presenza di dighe nel bacino sotteso, mentre la principale alterazione nel tratto è costituita da una briglia di trattenuta che tuttavia non è più funzionante e non intercetta completamente il trasporto solido al fondo (A4 in classe C ma F1 in classe B, [Figura 5.4C](#)). Non si sono invece riscontrate variazioni di larghezza e di configurazione planimetrica, mentre non è stato possibile classificare le variazioni altimetriche del fondo per mancanza di dati ed evidenze (V3 è stato quindi omesso). Il tratto è risultato avere un $IQM = 0.77$, e viene pertanto classificato come *buono*.

5.5.4 Fiume Cecina presso Casino di Terra (Toscana).

(Compilatori: M. RINALDI, C. ZURI)

Si tratta di un corso d'acqua non confinato che scorre in una pianura relativamente stretta in ambito collinare (tratto 3_7 in [Figura 4.30](#)), con area del bacino sotteso di circa 635 km^2 . L'alveo è classificato come sinuoso a barre alternate ([Figura 5.5A](#)), con fondo ghiaioso e configurazione a *riffle-pool*, pendenza media di 0.003, larghezza media di circa 50 m. I principali elementi di alterazione sono costituiti da: (1) presenza di alcune briglie a monte (A2 in classe B1); (2) moderata attività di escavazione in passato (A10 in classe B), che a sua volta è stata responsabile di alcune significative variazioni morfologiche (moderato restringimento ed incisione, con V2 e V3 entrambi in classe B); (3) altri elementi localizzati di artificialità nel tratto (ponte, soglie).

Tabella 5.11 – Fiume Cecina presso Casino di Terra: tabella riepilogativa per il calcolo dell'*IQM*.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
<i>F1</i>	<i>A</i>	<i>A1</i>	<i>A</i>	<i>V1</i>	<i>A</i>
<i>F2</i>	<i>B</i>	<i>A2</i>	<i>B1</i>	<i>V2</i>	<i>B</i>
<i>F4</i>	<i>A</i>	<i>A3</i>	<i>A</i>	<i>V3</i>	<i>B</i>
<i>F5</i>	<i>A</i>	<i>A4</i>	<i>A</i>	<i>Indici e classe</i>	
<i>F7</i>	<i>A</i>	<i>A5</i>	<i>B</i>	<i>Stot</i>	<i>30</i>
<i>F8</i>	/	<i>A6</i>	<i>A</i>	<i>Smax</i>	<i>139</i>
<i>F9</i>	<i>A</i>	<i>A7</i>	<i>A</i>	<i>IAM</i>	<i>0.22</i>
<i>F10</i>	<i>B</i>	<i>A8</i>	<i>A</i>	<i>IQM</i>	<u><i>0.78</i></u>
<i>F11</i>	<i>A</i>	<i>A9</i>	<i>B</i>	<i>Classe</i>	<i>Buono</i>
<i>F12</i>	<i>B</i>	<i>A10</i>	<i>B</i>		
<i>F13</i>	<i>B</i>	<i>A11</i>	<i>B</i>		
		<i>A12</i>	<i>A</i>		



Figura 5.5 – Fiume Cecina presso Casino di Terra ($IQM = 0.78$; *Classe = Buono*).
 (A) Foto aerea di una parte del tratto che evidenzia la tipica morfologia sinuosa a barre alternate; (B) particolare del tratto che evidenzia la variabilità morfologica associata alla diversificazione di forme e la presenza di sponde in erosione (sullo sfondo).

Nonostante tali alterazioni, l'alveo presenta alcuni pregi, essendo caratterizzato da una certa mobilità laterale, una buona diversificazione morfologica ([Figura 5.5B](#)), presenza di piana inondabile, seppure stretta e discontinua, e di una potenziale fascia erodibile, assenza di argini, presenza di una fascia di vegetazione spontanea perifluviale piuttosto continua anche se di larghezza intermedia, ecc. Il risultato finale è $IQM = 0.78$, pertanto il tratto si classifica come *buono*.

5.5.5 Fiume Volturno presso Piana della Chiesa (Molise).

(Compilatori: P. AUCELLI, C. ROSSKOPF, V. SCORPIO)

Il tratto considerato (lunghezza di circa 4.8 km) fa parte del segmento di attraversamento di una pianura intermontana nella porzione alta del bacino (area del bacino sotteso di circa 700.8 km^2) ([Figura 5.6](#)). L'alveo è non confinato e presenta una morfologia sinuosa, con larghezza media di 57 m. Il tratto risente di alcune alterazioni delle portate liquide (presenza di una cassa di espansione) e solide a monte (*A1* in classe *C* e *A2* in classe *B2*). All'interno del tratto esistono alcune alterazioni legate

alla funzionalità (*F5*, *F7* ed *F13* in classe *B*), alla presenza di difese di sponda, ponti, soglie, ecc. Le variazioni morfologiche sono state particolarmente intense, con il passaggio ad una morfologia non contigua (da canali intrecciati a sinuoso), un forte restringimento e una moderata incisione. Ne risulta un *IQM* = 0.60 che determina l'attribuzione alla classe *moderata*.

Tabella 5.12 – Fiume Volturno presso Piana della Chiesa: tabella riepilogativa per il calcolo dell'*IQM*.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
<i>F1</i>	<i>B</i>	<i>A1</i>	<i>C</i>	<i>V1</i>	<i>C</i>
<i>F2</i>	<i>B</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>V2</i>	<i>C</i>
<i>F4</i>	<i>A</i>	<i>A3</i>	<i>A</i>	<i>V3</i>	<i>B</i>
<i>F5</i>	<i>B</i>	<i>A4</i>	<i>A</i>	<i>Indici e classe</i>	
<i>F7</i>	<i>B</i>	<i>A5</i>	<i>B</i>	<i>Stot</i>	56
<i>F8</i>	/	<i>A6</i>	<i>B</i>	<i>Smax</i>	139
<i>F9</i>	<i>A</i>	<i>A7</i>	<i>B</i>	<i>IAM</i>	0.40
<i>F10</i>	<i>A</i>	<i>A8</i>	<i>A</i>	<i>IQM</i>	0.60
<i>F11</i>	<i>A</i>	<i>A9</i>	<i>B</i>	<i>Classe</i>	<i>Moderato</i>
<i>F12</i>	<i>A</i>	<i>A10</i>	<i>B</i>		
<i>F13</i>	<i>B</i>	<i>A11</i>	<i>A</i>		
		<i>A12</i>	<i>A</i>		



Figura 5.6 – Fiume Volturno presso Piana della Chiesa (*IQM* = 0.60; *Classe* = *Moderato*).
Foto aerea di una porzione del tratto.

5.5.6 Fiume Tevere a valle della confluenza del F. Paglia (Umbria).

(Compilatori: C. CENCETTI, P. DE ROSA, A. FREDDUZZI)

Il tratto in esame è situato nella porzione intermedia del bacino (area sottesa di circa 7510 km²) e presenta le caratteristiche di un alveo semiconfinato (unità fisiografica collinare dei rilievi interni appenninici), con morfologia sinuosa, larghezza media di 45 m e pendenza media del fondo di 0.0031 ([Figura 5.7](#)). Il tratto è posto poco a valle della diga di Corvara, pertanto le alterazioni delle portate liquide e

solide a monte sono molto forti ($A1 = C$ e $A2 = CI$). Le alterazioni di funzionalità ed artificialità nel tratto non sono eccessive (eccetto l'intensa attività di escavazione: $A10$ in classe C), mentre le variazioni morfologiche di larghezza e quota del fondo sono piuttosto elevate. Complessivamente risulta quindi un $IQM = 0.66$ ed il tratto si classifica quindi *moderato*.

Tabella 5.13 – Fiume Tevere presso la confluenza del F.Paglia: tabella riepilogativa per il calcolo dell' IQM .

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
<i>F1</i>	<i>A</i>	<i>A1</i>	<i>C</i>	<i>V1</i>	<i>A</i>
<i>F2</i>	<i>B</i>	<i>A2</i>	<i>CI</i>	<i>V2</i>	<i>B</i>
<i>F4</i>	<i>B</i>	<i>A3</i>	<i>A</i>	<i>V3</i>	<i>CI</i>
<i>F5</i>	<i>B</i>	<i>A4</i>	<i>A</i>	<i>Indici e classe</i>	
<i>F7</i>	<i>A</i>	<i>A5</i>	<i>B</i>	<i>Stot</i>	<i>45</i>
<i>F8</i>	/	<i>A6</i>	<i>A</i>	<i>Smax</i>	<i>133</i>
<i>F9</i>	<i>A</i>	<i>A7</i>	<i>A</i>	<i>IAM</i>	<i>0.34</i>
<i>F10</i>	/	<i>A8</i>	<i>A</i>	<i>IQM</i>	<i>0.66</i>
<i>F11</i>	<i>A</i>	<i>A9</i>	<i>A</i>	<i>Classe</i>	<i>Moderato</i>
<i>F12</i>	<i>B</i>	<i>A10</i>	<i>C</i>		
<i>F13</i>	<i>A</i>	<i>A11</i>	<i>B</i>		
		<i>A12</i>	<i>A</i>		



Figura 5.7 – Fiume Tevere presso la confluenza con il F.Paglia ($IQM = 0.66$; *Classe = Moderato*).
(A): Foto aerea di una porzione del tratto; (B): particolare del tratto.

5.5.7 Furkelbach (Rio di Furcia) in Val Pusteria (Trentino Alto Adige). (Compilatore: F. COMITI)

Il torrente Furkelbach (o Furcia) è un affluente in sinistra idrografica del Fiume Rienza (Val Pusteria, Provincia Autonoma di Bolzano), interamente appartenente ad un'unità fisiografica di “area montuosa alpina”. La sua area drenata è pari a 23.4 km². Il tratto analizzato (1.7 km di lunghezza, tra quota 1310 e 1148 m s.l.m., per una pendenza media del 9.5%) si presenta confinato a canale singolo con larghezza media di circa 8 m. Il Furkelbach rappresenta il tipico caso di torrente alpino fortemente

alterato dalle sistemazioni idrauliche, dalla presenza di una strada ad esso adiacente che altera la continuità tra versante e corso d'acqua e dagli interventi di manutenzione della vegetazione perifluviale. La funzionalità geomorfologica risulta comunque nel complesso di valore intermedio. Considerando l'artificialità, la maggiore criticità è certamente rappresentata dal fatto che nel tratto sono presenti 67 briglie di consolidamento ([Figura 5.8A](#)), per una frequenza pari quindi a 4 ogni 100 m (pertanto *A4* è in classe *C* con ulteriori 12 punti assegnati per l'elevatissima densità di opere). Inoltre, poco a monte (400 m) del tratto analizzato è presente una briglia di trattenuta filtrante di notevoli dimensioni che sottende un sottobacino di circa il 66% dell'area drenata del tratto ([Figura 5.8B](#)). Questo comporta che *A2* ricada in *B1*. Tra gli altri elementi di artificialità, sono da considerare alcune difese longitudinali (*A6* in classe *B*), e la rilevante attività di rimozione e prelievo della vegetazione perifluviale e del materiale legnoso (classe *C* per gli indicatori *A11* e *A12*). In definitiva, l'*IAM* è pari a 0.54 e l'*IQM* a 0.46, ovvero il tratto presenta una qualità morfologica *scadente*.

Tabella 5.14 – Rio di Furcia in Valpusteria: tabella riepilogativa per il calcolo dell'*IQM*.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
<i>F1</i>	<i>B</i>	<i>A1</i>	<i>A</i>	<i>V1</i>	/
<i>F3</i>	<i>B</i>	<i>A2</i>	<i>B1</i>	<i>V2</i>	/
<i>F6</i>	<i>B</i>	<i>A3</i>	<i>A</i>	<i>V3</i>	/
<i>F7</i>	/	<i>A4</i>	<i>C (+12)</i>	<i>Indici e classe</i>	
<i>F9</i>	<i>B</i>	<i>A5</i>	<i>A</i>	<i>Stot</i>	54
<i>F10</i>	<i>A</i>	<i>A6</i>	<i>B</i>	<i>Smax</i>	100
<i>F11</i>	<i>C</i>	<i>A9</i>	<i>A</i>	<i>IAM</i>	0.54
<i>F12</i>	<i>B</i>	<i>A10</i>	<i>A</i>	<i>IQM</i>	0.46
<i>F13</i>	<i>B</i>	<i>A11</i>	<i>C</i>	<i>Classe</i>	<i>Scadente</i>
		<i>A12</i>	<i>C</i>		



Figura 5.8 – Rio di Furcia in Val Pusteria (*IQM* = 0.46; *Classe* = *Scadente*).

(A) Il tratto analizzato visto da valle: è evidente l'influenza delle briglie di consolidamento sulla morfologia d'alveo, che non presenta strutture naturali a gradinata come invece prevedibile in base alla pendenza media (9.5%), l'artificialità della vegetazione perifluviale soggetta a taglio periodico, e l'assenza totale di materiale legnoso in alveo; (B) la briglia filtrante di trattenuta presente subito a monte del tratto indagato.

5.5.8 Fiume Panaro presso Vignola (Emilia Romagna).

Compilatori: M. RINALDI, C. ZURI.

È un tratto non confinato compreso tra la briglia a valle del ponte di Vignola e la briglia a valle del ponte Ferrovia di Savignano (lunghezza di circa 2 km), sull'apice del conoide (unità fisiografica di alta pianura appenninica), con pendenza media di 0.007 e larghezza media di 96 m. Rappresenta un caso con una forte degradazione fisica, benché l'artificialità non sia ai massimi livelli, testimoniata da marcate variazioni di configurazione e larghezza ([Figura 5.9A e B](#)) e del fondo (incisione > 6 m), e prevalentemente legata ad una forte attività estrattiva nel passato e alla riduzione degli apporti solidi da monte. Pertanto gli indicatori di variazioni morfologiche (VI, V2 e V3) risultano con punteggi massimi. Le altre principali criticità sono rappresentate dalla presenza di briglie nei tratti a monte e nel tratto stesso (A2 in classe B2 e A4 in classe B), assenza di piana inondabile ([Figura 5.9C](#)), alterazione del substrato per affioramenti diffusi di argilla (F10 in classe C2) ([Figura 5.9D](#)) e impoverimento della diversità di forme attesa, a loro volta legati alla forte incisione. Il valore di IQM risulta pari a 0.40, e pertanto il tratto è classificato come *scadente*.

Tabella 5.15 – Fiume Panaro presso Vignola: tabella riepilogativa per il calcolo dell'IQM.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	<i>C</i>	A1	<i>A</i>	VI	<i>C</i>
F2	<i>C</i>	A2	<i>B2</i>	V2	<i>C</i>
F4	<i>C</i>	A3	<i>A</i>	V3	<i>C2</i>
F5	<i>B</i>	A4	<i>B</i>	Indici e classe	
F7	<i>C</i>	A5	<i>B</i>	Stot	<i>83</i>
F8	/	A6	<i>B</i>	Smax	<i>139</i>
F9	<i>C</i>	A7	<i>A</i>	IAM	<i>0.60</i>
F10	<i>C2</i>	A8	<i>A</i>	IQM	<u>0.40</u>
F11	<i>A</i>	A9	<i>A</i>	Classe	<i>Scadente</i>
F12	<i>B</i>	A10	<i>C</i>		
F13	<i>B</i>	A11	<i>B</i>		
		A12	<i>A</i>		

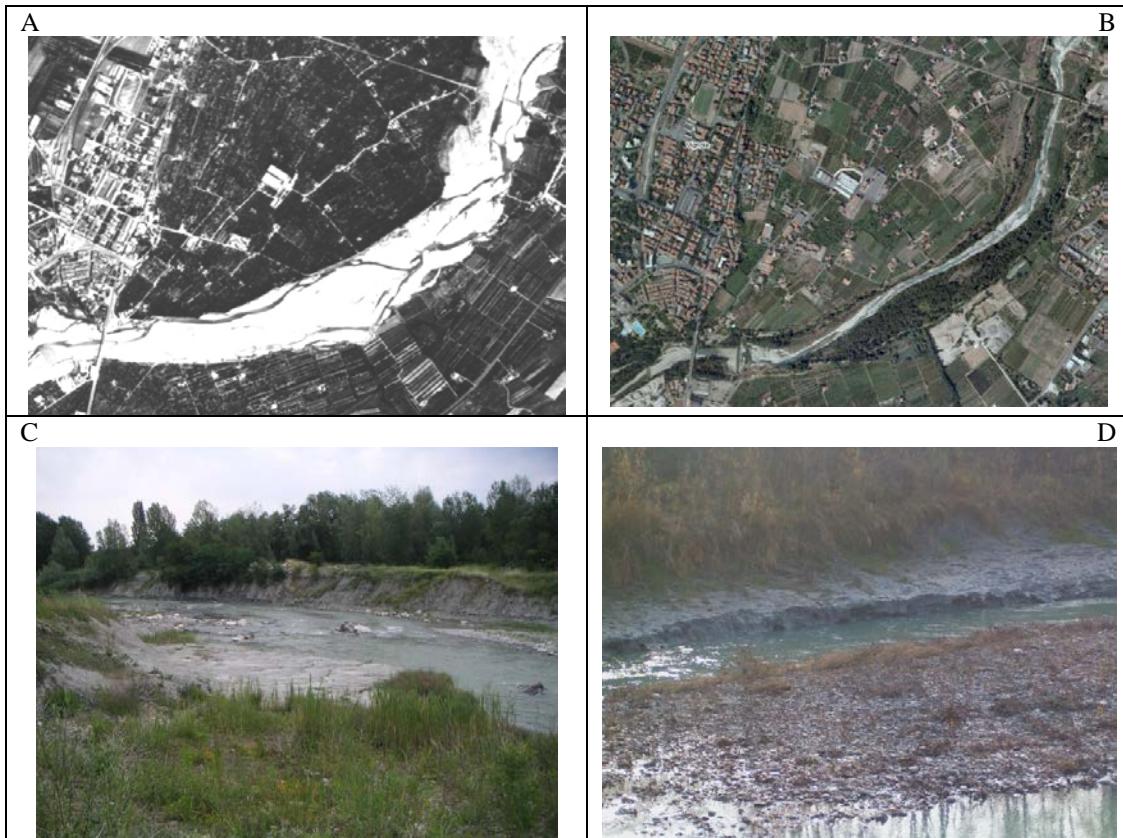


Figura 5.9 – Fiume Panaro presso Vignola ($IQM = 0.40$; Classe = Scadente).

(A) Foto aerea del 1954 che mostra un alveo largo a canali intrecciati; B) situazione attuale che mette in evidenza il drastico restringimento e la variazione della configurazione morfologica (canale singolo); C) particolare del tratto che mette in evidenza le sponde instabili e le superfici terrazzate derivanti dalla forte incisione; D) particolare che mette in evidenza l'affioramento di argilla sul fondo ed alla base delle sponde causato dall'incisione.

5.5.9 Fiume Arno a Firenze (Toscana).

(Compilatori: M. RINALDI, C. ZURI)

Si tratta di un tratto non confinato in ambito di pianura (unità fisiografica di pianura intermontana), ben rappresentativo di un fiume di grandi dimensioni di attraversamento di una zona densamente urbanizzata ([Figura 5.10A](#)). Attualmente l’alveo si classifica come rettilineo-sinuoso, con pendenza media di circa 0.0018 e larghezza media di 115 m. L’artificialità del tratto è molto forte, a causa della presenza continua di opere longitudinali, ed in parte trasversali, che ne impediscono ogni dinamica di tipo laterale e verticale ([Figura 5.10B](#)), compromettendone anche gran parte delle funzionalità morfologiche. La stessa continuità longitudinale del tratto a monte è alterata a causa della presenza di dighe e numerose briglie. La presenza continua di difese di sponda e argini causa l’attribuzione di punteggi aggiuntivi agli indicatori A6 e A7, pertanto l’artificialità raggiunge il massimo. Il risultato finale è $IQM = 0.11$, ricadendo pertanto nello stato *pessimo*.

Tabella 5.16 – Fiume Arno a Firenze: tabella riepilogativa per il calcolo dell'*IQM*.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
F1	<i>C</i>	A1	<i>C</i>	V1	<i>A</i>
F2	<i>C</i>	A2	<i>B2</i>	V2	<i>A</i>
F4	<i>C</i>	A3	<i>A</i>	V3	<i>B</i>
F5	<i>C</i>	A4	<i>B</i>	Indici e classe	
F7	<i>C</i>	A5	<i>C</i>	Stot	<i>118</i>
F8	<i>/</i>	A6	<i>C (+12)</i>	Smax	<i>133</i>
F9	<i>C</i>	A7	<i>C (+12)</i>	IAM	<i>0.89</i>
F10	<i>/</i>	A8	<i>C</i>	IQM	<u>0.11</u>
F11	<i>C</i>	A9	<i>B</i>	Classe	<i>Pessimo</i>
F12	<i>C</i>	A10	<i>C</i>		
F13	<i>C</i>	A11	<i>C</i>		
		A12	<i>C</i>		

**Figura 5.10** – Fiume Arno a Firenze (*IQM* = 0.11; *Classe* = *Pessimo*).

(A) Foto aerea che evidenzia come il tratto interessa un'area fortemente urbanizzata. (B) Particolare che mostra la presenza di difese di sponda continue (con funzione di argini) e l'omogeneità di sezione.

5.5.10 Torrente Gadria presso Lasa (Trentino Alto Adige).

(Compilatori: F. COMITI)

Il Torrente Gadria (Val Venosta, Provincia Autonoma di Bolzano), affluente in sinistra idrografica del F.Adige, è un colletto oggetto di fenomeni di colata detritica molto frequenti, in media 1÷2 per anno. Il bacino (area drenata di circa 14 km²) è molto ripido e dissestato per frane superficiali. Il tratto analizzato (2.2 km) è quello che scorre attraverso il conoide del Torrente Gadria, uno dei maggiori d'Europa, e di conseguenza presenta le caratteristiche di non confinato in ambito montano. Il conoide è a forte pendenza (> 5%) e quindi non si applica l'indicatore *F2*. L'alveo lungo il tratto in analisi è stato oggetto di sistemazione alla fine del XIX secolo, quando è stato costruito un cunettone selciato seguendo un tracciato rettilineo ([Figura 5.11](#)) al fine di convogliare la colata fino all'Adige. Successivamente poco a monte del tratto (area drenata > 80%) è stata costruita una briglia di trattenuta aperta, la quale tuttavia (a causa della geometria del filtro) arresta tutto il sedimento che viene periodicamente rimosso. Di conseguenza la briglia va a configurarsi come un'opera ad intercettazione totale e continuativa, e quindi all'indicatore *A2* va assegnato *B2*. La

funzionalità geomorfologica risulta al minimo per quasi tutti gli indicatori (tranne *F1*, in quanto la briglia non rappresenta il limite di monte del tratto). L'artificialità risulta elevata (classe *C*) solo per un numero relativamente ridotto di indicatori. Tuttavia, essendo l'alveo completamente artificiale sia per quanto riguarda le sponde che il fondo, vengono attribuiti i punteggi aggiuntivi agli indicatori *A6*, *A7* e *A9*, portando al massimo il punteggio dell'artificialità. Ne risulta un *IQM* pari a 0.04 (classe *pessima*).

Tabella 5.17 – Torrente Gadria presso Lasa: tabella riepilogativa per il calcolo dell'*IQM*.

FUNZIONALITÀ		ARTIFICIALITÀ		VARIAZIONI	
<i>F1</i>	<i>A</i>	<i>A1</i>	<i>A</i>	<i>V1</i>	/
<i>F4</i>	<i>C</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>V2</i>	/
<i>F5</i>	<i>C</i>	<i>A3</i>	<i>A</i>	<i>V3</i>	/
<i>F7</i>	<i>C</i>	<i>A4</i>	<i>A</i>	Indici e classe	
<i>F8</i>	/	<i>A5</i>	<i>C</i>	<i>Stot</i>	106
<i>F9</i>	<i>C</i>	<i>A6</i>	<i>C (+12)</i>	<i>Smax</i>	110
<i>F10</i>	<i>C2</i>	<i>A7</i>	<i>C (+12)</i>	<i>IAM</i>	0.96
<i>F11</i>	<i>C</i>	<i>A8</i>	<i>C</i>	<i>IQM</i>	0.04
<i>F12</i>	<i>C</i>	<i>A9</i>	<i>C2 (+12)</i>	<i>Classe</i>	<i>Pessimo</i>
<i>F13</i>	<i>C</i>	<i>A10</i>	<i>A</i>		
		<i>A11</i>	<i>A</i>		
		<i>A12</i>	<i>C</i>		

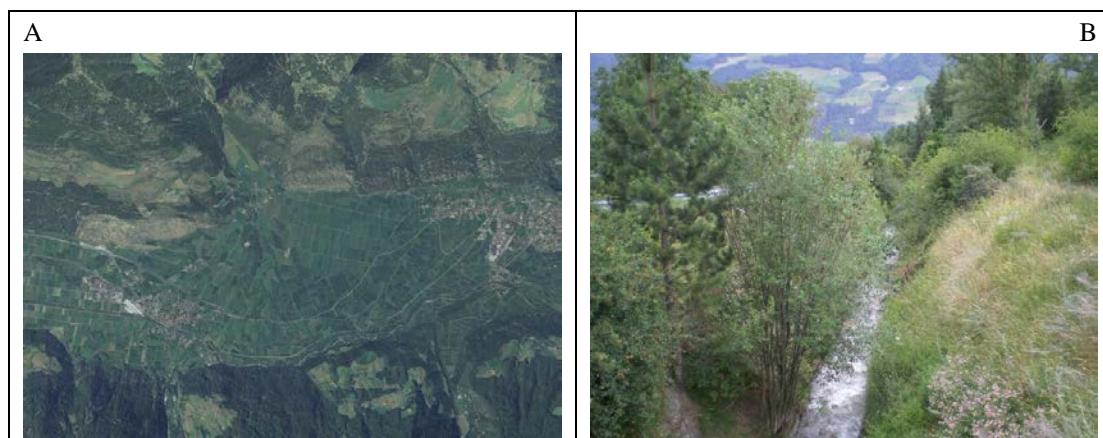


Figura 5.11 – Torrente Gadria presso Lasa ($IQM = 0.04$; *Classe = Pessimo*).
 (A) Foto aerea che evidenzia il conoide attraversato dal corso d'acqua nel tratto di studio. B) Particolare che mostra il “cunettone” del Torrente Gadria.

CAPITOLO 6

MONITORAGGIO MORFOLOGICO

6.1 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 presentata nel [precedente capitolo](#) (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.

Ai fini della **WFD**, come è noto, è necessario programmare **tre tipi di monitoraggio**:

- (1) **Monitoraggio di sorveglianza**: la WFD richiede che un numero sufficiente di corpi idrici venga monitorato nel programma di sorveglianza per avere una valutazione ripetuta nel tempo dello stato generale dei corsi d'acqua all'interno di ogni bacino idrografico. Tale monitoraggio è finalizzato prevalentemente all'accertamento delle variazioni di lungo termine delle condizioni naturali e/o di quelle variazioni indotte dall'attività antropica diffusa.
- (2) **Monitoraggio operativo**: è finalizzato a verificare le variazioni future di quei corsi d'acqua identificati come corpi idrici con rischio di non soddisfare gli obiettivi della WFD. Il programma di misure per il monitoraggio operativo deve quindi fare uso di quei parametri indicativi degli elementi di qualità, sia biologica che idromorfologica, più sensibili alle pressioni a cui il corso d'acqua è soggetto.
- (3) **Monitoraggio investigativo**: può essere richiesto in casi particolari, quali: (a) quando non si conoscono i motivi per cui non vengono raggiunti determinati obiettivi; (b) laddove il monitoraggio di sorveglianza indica che è probabile che non si possano raggiungere alcuni obiettivi e, dove il monitoraggio operativo non è già stato stabilito, per accettare le cause per le quali gli obiettivi non sono raggiunti; (c) per accettare gli impatti di inquinamenti accidentali.

Nella [Tabella 6.1](#) si riportano sinteticamente le metodologie di monitoraggio e le relative frequenze spaziali associabili ad ognuno dei tipi di monitoraggio previsti dalla WFD.

Tabella 6.1 – Tipi di monitoraggio ai fini della WFD e relative metodologie applicabili.

TIPO DI MONITORAGGIO PER WFD	METODOLOGIA DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO	FREQUENZA SPAZIALE
Sorveglianza	Non strumentale (ripetizione periodica procedura di valutazione)	Numero relativamente elevato di tratti nel bacino rappresentativi di contesti fisiografici e morfologie diverse
Operativo	Strumentale (misure sistematiche periodiche sul terreno e da GIS)	Numero più limitato di tratti a rischio
Investigativo		Casi particolari

L'impostazione del programma di **monitoraggio non strumentale** ricalca, come detto, la struttura di valutazione dello stato attuale, al fine di valutare per gli anni a seguire se un corso d'acqua, in un determinato tratto, mantenga il suo stato idromorfologico o se è soggetto a delle variazioni. Il monitoraggio strumentale si differenzia invece sostanzialmente e viene descritto in dettaglio nel seguente paragrafo.

6.2 Monitoraggio strumentale

6.2.1 Impostazione generale del programma di monitoraggio

Vanno rimarcati i seguenti punti:

- (1) Parte degli aspetti considerati in precedenza sono finalizzati alla sola valutazione dello stato attuale e non è necessario prenderli in considerazione per il monitoraggio strumentale successivo. Ciò vale in particolar modo per le osservazioni di tipo prevalentemente qualitativo relative alla descrizione della presenza o meno di forme e processi geomorfologici caratteristici per una determinata morfologia, e per le valutazioni interpretative delle variazioni morfologiche avvenute nel recente passato.
- (2) Mentre per la descrizione delle variazioni morfologiche passate, nella valutazione dello stato attuale, si utilizzano le informazioni disponibili integrate da evidenze sul terreno, per quanto riguarda le variazioni morfologiche future è necessario procedere ad una misura sistematica di alcuni parametri (p.e., variazioni di quota del fondo, dimensioni e forma della sezione, ecc.).
- (3) Per quanto riguarda gli elementi artificiali, quelli da monitorare si identificano con quelli necessari alla caratterizzazione attuale, ed il monitoraggio futuro dovrà includere la tipologia, localizzazione e dimensione di ogni nuova opera o intervento.

Sulla base di queste considerazioni, in [Tabella 6.2](#) si riporta una sintesi degli aspetti fondamentali da includere nel monitoraggio strumentale. Di seguito si descrivono con maggior dettaglio le metodologie necessarie per la misura dei parametri o l'ottenimento delle informazioni richieste.

Per quanto riguarda gli elementi artificiali, le informazioni necessarie relative alla realizzazione di nuove opere o nuove attività (ad esempio prelievo di sedimenti o taglio della vegetazione, ecc.) dovrebbero essere fornite dagli enti competenti che ne rilasciano l'autorizzazione. In assenza di tali informazioni, sarà invece necessario provvedere attraverso rilievi topografici sul terreno atti a ricavare le informazioni richieste (che generalmente si limitano alla localizzazione dell'opera/intervento ed alle sue dimensioni). Per quanto riguarda il rilievo degli aspetti morfologici naturali, le metodologie di rilievo o misura sono più articolate e sono riepilogate in [Tabella 6.3.](#)

Tabella 6.2 – Aspetti morfologici ed elementi artificiali da monitorare.

CATEGORIE	ASPETTI MORFOLOGICI	ELEMENTI ARTIFICIALI
1. Continuità (longitudinale e laterale)	<ul style="list-style-type: none"> - Portate formative - Estensione laterale e continuità longitudinale di piana inondabile - Lunghezza sponde in arretramento e tassi di arretramento 	<ul style="list-style-type: none"> - Nuove opere trasversali (dighe, briglie, traverse) che interrompono la continuità del trasporto al fondo o opere (scolmatori, casse) che modificano le portate di picco nel tratto a monte (ubicazione, dimensioni) - Nuovi argini (ubicazione, lunghezza e distanza dalle sponde) - Nuove difese di sponda (ubicazione e lunghezza) - Riduzioni di spazio nella fascia potenzialmente erodibile a seguito di variazioni di uso del suolo e/o realizzazione di nuovi insediamenti o infrastrutture
2. Configurazione morfologica	<ul style="list-style-type: none"> - Indici di sinuosità, di intrecciamento e di anastomizzazione - Morfometria di barre ed isole - Configurazione morfologica complessiva - Pendenza del fondo 	Nuove opere o interventi che possono aver modificato l'assetto planimetrico (pennelli, difese di sponda, tagli di meandro o altre variazioni di tracciato) (ubicazione, lunghezza tratto interessato) o altimetrico (briglie, dighe, traverse, rampe in massi) (ubicazione)
3. Configurazione sezione	<ul style="list-style-type: none"> - Larghezza alveo - Profondità alveo - Rapporto larghezza/profondità - Variazione di quota del fondo 	Nuove opere longitudinali e trasversali che possono modificare la larghezza e/o profondità (si vedano casi precedenti) o nuovi interventi (escavazioni)
4. Struttura e substrato alveo	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria del letto - Corazzamento e <i>clogging</i> - Abbondanza materiale legnoso di grandi dimensioni 	Nuove opere con effetti su struttura e substrato del fondo (soglie o altre modificazioni di substrato) o interventi (escavazioni e/o rimodellamento, rimozione legname)
5. Vegetazione nella fascia perifluviale	Caratteristiche della vegetazione (ampiezza ed estensione lineare delle formazioni funzionali presenti nella fascia perifluviale)	Alterazione delle caratteristiche della vegetazione presente nella fascia perifluviale (riduzione dell'ampiezza e dell'estensione lineare delle formazioni riparie e delle formazioni funzionali) derivanti da estensione dei coltivi, taglio della vegetazione, alterazione del regime idrologico

Tabella 6.3 – Metodologie e scansione spaziale per il monitoraggio strumentale degli aspetti morfologici. **G**: di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).

ELEMENTO MORFOLOGICO	METODO DI RILEVAMENTO / MISURA E RELATIVA SCALA SPAZIALE	TIPOLOGIA CORSO D'ACQUA
1.1 Portate liquide	Misure idrometriche in corrispondenza di stazioni di misura esistenti (in continuo)	Tutti
1.2 Estensione laterale e continuità piana inondabile	Telerilevamento (tratto)	Solo corsi d'acqua non confinati o semiconfinati
1.3 Lunghezza sponde in arretramento e tassi di arretramento	Telerilevamento (tratto)	Solo corsi d'acqua non confinati o semiconfinati
2.1 Indice di sinuosità	Telerilevamento o misura terreno (corsi d'acqua piccole dimensioni) (tratto)	Tutti esclusi a canali intrecciati
2.2 Indice di intrecciamento	- Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)	Tutti esclusi a canale singolo
2.3 Indice di anastomizzazione	- Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)	Tutti esclusi a canale singolo
2.4 Morfometria di barre e isole	Telerilevamento (tratto)	Solo corsi d'acqua G
2.5 Configurazione morfologica	- Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (sito e/o tratto)	- Solo corsi d'acqua G - Tutti
2.6 Pendenza del fondo	Rilievo profilo fondo, possibilmente esteso dal sito al tratto	Tutti
3.1 Larghezza alveo	- Telerilevamento (tratto) - Rilievo sezioni (sito)	- Solo corsi d'acqua G - Tutti
3.2 Profondità alveo	Rilievo sezioni: 2 o 3 sezioni nel sito (preferibilmente estremità monte, centro, estremità valle)	Tutti
3.3 Rapporto larghezza / profondità	Da valori misurati in base a rilievo sezioni (sito)	Tutti
3.4 Variazione di quota del fondo	Rilievo profilo fondo esteso dal sito all'intero tratto	Tutti
4.1 Dimensioni granulometriche sedimenti del fondo	- Misura granulometrica (metodo <i>pebble counts</i>) (unità sedimentaria) - Misura granulometrica (metodo volumetrico) (unità sedimentaria)	- Alvei ghiaiosi-ciottolosi guadabili - Alvei sabbiosi e/o di elevata profondità
4.2 Struttura del fondo: grado di corazzamento e <i>clogging</i>	- Valutazione qualitativa (sito) - Misure granulometriche (unità sedimentaria) solo nei casi di corazzamento molto accentuato	Solo alvei ghiaiosi e/o ciottolosi
4.3 Abbondanza materiale legnoso di grandi dimensioni	- Conteggio sul terreno (sito) - Telerilevamento (sito)	- Alvei a canale singolo - Corsi d'acqua G transizionali-canali intrecciati
5.1 Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Telerilevamento (tratto)	Tutti
5.3 Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Telerilevamento (tratto)	Tutti

Riguardo alla **scansione spaziale** dei siti da includere nel monitoraggio strumentale, si possono in generale distinguere due strategie di rilevamento: (1) rilievo in continuo lungo un intero tratto; (2) campionamento all'interno del tratto.

Per gli aspetti morfologici, viene adottato un criterio misto. Per gli elementi naturali, vengono adottate le due strategie di rilievo differenziandole a seconda della metodologia adottata, e quindi a seconda dei parametri misurati (si veda la [Tabella 6.3](#) per i dettagli): (1) le misure da immagini telerilevate con strumenti GIS vengono effettuate in continuo alla scala del **tratto**; (2) le misure e osservazioni sul terreno vengono effettuate su un **sito** di campionamento scelto come rappresentativo del tratto (eccetto che per le caratteristiche vegetazionali della fascia perifluviale che vanno possibilmente estese alla scala del tratto); (3) le misure granulometriche vengono effettuate su un'**unità sedimentaria**, scelta come rappresentativa del sito. Pertanto, una volta selezionato un sito da includere nel programma di monitoraggio, le misure sul terreno verranno effettuate sempre nello stesso sito, mentre le misure da telerilevamento verranno estese alla lunghezza del tratto di cui il sito rappresenta un campione. Nei casi in cui i tratti siano piuttosto estesi (ad esempio oltre i 5 km), per motivi pratici si può definire una porzione del tratto (indicato anche come sub-tratto), i cui limiti rimangano gli stessi per tutte le successive misure, di lunghezza ritenuta significativa per rappresentare sufficientemente la variabilità morfologica e vegetazionale all'interno del tratto.

Per quanto riguarda gli elementi artificiali, per la maggior parte di essi si fa riferimento a quanto presente nell'intero tratto (il rilievo sul terreno serve in tal caso per chiarire o verificare alcuni aspetti, ma il rilievo delle opere non si limita al sito), mentre per quelli significativi ai fini della continuità longitudinale (briglie, dighe, traverse) occorre fare riferimento alle opere presenti anche nei tratti a monte.

Il **numero di siti** da includere nel monitoraggio strumentale dovrebbe essere scelto anche in funzione degli altri aspetti da monitorare. Idealmente, all'interno di un bacino idrografico, dovrebbe essere scelto un numero di siti di monitoraggio che possa essere sufficientemente rappresentativo delle varie tipologie d'alveo riscontrate, ed allo stesso tempo dovrebbe tener conto della classificazione iniziale dello stato idromorfologico, avendo cioè cura di selezionare almeno un sito per ogni classe di qualità idromorfologica riscontrata nel bacino.

Per quanto riguarda invece la **frequenza temporale**, essa può variare a seconda degli scopi del monitoraggio morfologico: ai fini della WFD si ritiene sufficiente, per il monitoraggio operativo, una scansione temporale di almeno una volta ogni 6 anni, coincidente cioè con un ciclo dei piani di gestione. Per il monitoraggio investigativo la frequenza può invece aumentare ad una volta ogni 3 anni o anche meno a seconda dei casi e dei problemi specifici da investigare, almeno per quanto riguarda le misure sul terreno, mentre per le misure da telerilevamento esse dipendono dalla possibilità di ripetere i voli a scala adeguata da poter permettere la misura dei parametri di interesse. C'è da considerare a tal proposito che, con il progressivo sviluppo tecnologico, la disponibilità di immagini da satellite e dati LiDAR che possano essere impiegate per queste analisi è destinata ad aumentare. Questo vale almeno per i fiumi di una certa dimensione, per i quali la risoluzione delle immagini da satellite potrà considerarsi sufficientemente adeguata per i parametri di interesse.

Nella parte seguente vengono descritte in dettaglio tutte le procedure ed i metodi per il monitoraggio degli aspetti morfologici secondo l'ordine schematizzato nelle precedenti [Tabella 6.2](#) e [Tabella 6.3](#). Un riferimento bibliografico utile, per alcune delle procedure qui descritte, è rappresentato dalle ‘Linee guida per l'analisi

geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive" recentemente pubblicate ([SURIAN et al., 2009d](#)).

6.2.2 Monitoraggio degli elementi morfologici naturali

(1) CONTINUITÀ

In questa categoria sono comprese: (a) continuità longitudinale; (b) continuità laterale.

Per **continuità longitudinale** si intende la capacità del corso d'acqua di garantire la continuità (da monte verso valle) di trasporto solido (senza che vi siano sbarramenti) anche attraverso il mantenimento della naturale successione di portate formative (in termini di frequenza ovvero senza modificare gli idrogrammi di piena). Il monitoraggio idrologico delle portate liquide ([punto \(1.1\)](#)) può permettere, nel caso esistano sbarramenti o altri fattori che possono determinarne delle variazioni (diversivi, casse di espansione), di misurare gli impatti di questi ultimi sul regime idrologico. Per quanto riguarda le portate solide, il monitoraggio morfologico non prevede la misura di tale grandezza a causa delle difficoltà tecniche e dei costi elevati che richiederebbero per un numero significativo di siti. Tuttavia, l'opportunità di misurare il trasporto solido è da considerare e da incoraggiare, laddove vi siano condizioni di abbinare il programma di monitoraggio morfologico con altri progetti finalizzati in maniera specifica allo studio delle portate solide.

Per **continuità laterale** va intesa la capacità del corso d'acqua di sviluppare, all'interno di una fascia di pertinenza fluviale, i processi di: (a) esondazione, garantendo la connessione idraulica dell'alveo con la pianura circostante e con le varie forme e corpi idrici in essa presenti (seppure con tempi di ritorno variabili) quali rami secondari, aree occupate da acque stagnanti o di falda, ecc., favorendo anche la continuità verticale (scambi tra acque superficiali e di falda); (b) mobilità laterale, attraverso i fenomeni di erosione e deposito di sedimenti che interessano le sponde o anche eventuali rami laterali. Per tener conto di questi aspetti, ai fini del monitoraggio vengono considerati l'estensione laterale e continuità di piana inondabile ([punto \(1.2\)](#)) e le sponde in arretramento ([punto \(1.3\)](#)).

(1.1) Portate liquide

Dalla registrazione in continuo delle portate liquide in corrispondenza di stazioni di misura idrometriche selezionate come rappresentative di corsi d'acqua per i quali si realizza il monitoraggio idromorfologico, si ricavano le seguenti portate di interesse per gli aspetti morfologici:

portata media annua (q_{med}) (in m^3/s): ricavata sulla base delle portate giornaliere registrate nell'arco dell'anno;

portata al colmo massima annuale (Q_c) (in m^3/s): è necessaria per: (a) aggiornare le serie storiche e permettere il calcolo della portata biennale; (b) registrare l'occorrenza di eventi di piena di forte intensità (tempi di ritorno maggiori di 10 anni).

(1.2) Estensione e continuità piana inondabile

Definizione

Questa grandezza è associabile a due aspetti: (1) alla continuità idraulica laterale, in quanto esprime la possibilità che ha il corso d'acqua di inondare frequentemente aree adiacenti all'alveo; (2) alla funzionalità morfologica, in quanto un alveo altimetricamente stabile o con recupero morfologico successivo ad incisione tende ad avere una pianura inondabile attiva. Quest'ultima a rigore comprenderebbe solo una superficie di neoformazione post-incisione (si veda la terminologia nel box

successivo). Per semplicità, con il termine piana inondabile possono essere incluse anche le superfici leggermente terrazzate facenti parte dell'alveo pre-incisione, comprese quindi all'interno di scarpate che delimitano con chiarezza l'alveo precedente all'abbassamento, nel caso di incisione del fondo limitata (ovvero di norma dell'ordine di 1÷2 m al massimo). Queste situazioni sono ad esempio frequenti in alvei a canali intrecciati o di tipo *wandering* che hanno subito modeste incisioni del fondo. Si definiscono due grandezze che servono a caratterizzare l'estensione areale di tali superfici:

- **Estensione laterale di piana inondabile (El):** rappresenta la larghezza media (in m) nel tratto di studio della piana inondabile (incluse eventuali superfici frequentemente inondabili facenti parte dell'alveo pre-incisione).
- **Continuità longitudinale di piana inondabile (Cl):** è la lunghezza di alveo (in percentuale) nel tratto interessata dalla presenza di piana inondabile (incluse eventuali superfici frequentemente inondabili facenti parte dell'alveo pre-incisione).

TERMINOLOGIA: pianura alluvionale, piana inondabile, terrazzo

I termini relativi alle superfici pianeggianti adiacenti al corso d'acqua non sono sempre definiti in letteratura in maniera univoca e possono talora generare qualche ambiguità, pertanto è opportuno fare alcune precisazioni relative alla terminologia qui adottata.

Con il termine *pianura alluvionale* (*alluvial plain*) viene abitualmente indicata una superficie pianeggiante adiacente al corso d'acqua costituita da sedimenti alluvionali (*alluvions*) depositati dal corso d'acqua stesso (enfatizzandone quindi le caratteristiche sedimentologiche).

Il termine *piana inondabile* (*floodplain*) è spesso utilizzato come sinonimo del precedente, per indicare una superficie relativamente pianeggiante ai bordi del corso d'acqua e che viene inondata durante periodi di piena ([LEOPOLD et al., 1964](#)). Il termine *terrazzo* (*terrace*) è invece utilizzato per indicare superfici topografiche sub-orizzontali che rappresentano antichi livelli della piana alluvionale (o inondabile) di un corso d'acqua, derivante dal fatto che il fiume ha inciso la pianura ed essa non è più soggetta ad eventi alluvionali ([COTTON, 1940](#); [LEOPOLD et al., 1964](#); [FAIRBRIDGE, 1969](#)).

La frequenza con cui una piana inondabile comincia ad essere soggetta ad inondazione è un aspetto cruciale in queste definizioni: i primi studi basati su precise osservazioni quantitative ([LEOPOLD et al., 1964](#)) dimostrano che una piana inondabile comincia ad essere inondata per tempi di ritorno dell'ordine di 1÷3 anni, cioè non appena viene superato il cosiddetto livello ad alveo pieno (*bankfull stage*). In tali studi viene inoltre enfatizzato come tale superficie sia geneticamente legata alle variazioni laterali del corso d'acqua (accrescimento delle barre di meandro) e viene quindi costruita nelle attuali condizioni di regime.

Si noti che tali studi si riferiscono principalmente a corsi d'acqua naturali a canale singolo (sinuosi o meandriformi) ed in condizioni di equilibrio dinamico. È noto (si veda [CAPITOLO 2](#) e [CAPITOLO 3](#)) che molti corsi d'acqua in varie regioni antropizzate sono stati soggetti durante gli ultimi decenni a significativi processi di incisione, che hanno portato ad un parziale abbandono delle pianure inondabili precedentemente costruite. In questi casi è opportuno pertanto riservare il termine di *piana inondabile in s.s.* (o *attiva* o *moderna* o *attuale*) ad una superficie che è generata a quella quota topografica dai processi di mobilità laterale attivi nelle attuali condizioni di regime (indicata anche come *modern floodplain*: [HUPP, 1999](#)). La piana inondabile pre-incisione, a seguito dell'abbassamento del fondo del corso d'acqua, è da indicare, coerentemente con le precedenti definizioni, come *piana inondabile inattiva* o *terrazzo* ([SIMON & DARBY, 1999](#); [HUPP, 1999](#); [SIMON & CASTRO, 2003](#); [SIMON & RINALDI, 2006](#); [HUPP & RINALDI, 2007](#)). Normalmente una piana inondabile attiva è soggetta ad inondazioni per $TR = 1 \div 3$ anni, mentre un terrazzo viene ancora inondato, ma con

$TR > 3$ anni (crescenti all'aumentare dell'incisione avvenuta) ([HUPP & OSTERKAMP, 1996](#); [HUPP, 1999](#)). Ne consegue che il termine terrazzo, secondo questa accezione, non implica che si tratti di una superficie non più inondabile, così come il termine piana inondabile non vuole indicare tutte le superfici che siano potenzialmente inondabili.

È possibile anche definire una superficie generica come *piana inondabile per $TR = n$ anni*. Ad esempio, nei PAI messi a punto dalle Autorità di Bacino, sono normalmente definite le piane inondabili per $TR = 30, 100$ e 200 anni.

Riepilogando, di seguito si fa riferimento alla seguente terminologia:

- **Pianura alluvionale:** indica la pianura costituita dai depositi alluvionali (“alluvioni”) più recenti (così come riportati su Carta Geologica);
- **Terrazzo antico:** indica una superficie già terrazzata (riportata come terrazzo anche sulla Carta Geologica) prima delle fasi recenti di incisione (ultimi $100 \div 150$ anni), con dislivelli significativi rispetto alla pianura alluvionale e non più soggetta ad inondazione (se non, talora, in casi eccezionali);
- **Piana inondabile:** se non diversamente specificato, si intende la piana inondabile in s.s. o attiva o piana inondabile per $TR = 1 \div 3$ anni, cioè solo quella superficie formatasi recentemente (post-incisione degli ultimi $100 \div 150$ anni), nelle attuali condizioni di regime, ad una quota più bassa rispetto a quella pre-incisione.
- **Terrazzo recente:** indica la piana inondabile pre-incisione, ora inattiva (non più formata a quella quota nelle attuali condizioni di regime), seppure ancora soggetta ad inondazioni per $TR > 3$ anni.
- **Piana inondabile con $TR = n$ anni:** indica una superficie per la quale si voglia esplicitamente specificare la frequenza di inondazione, senza riferimento al fatto che sia attiva o meno dal punto di vista morfologico (vale a dire quando $n > 3$ coincide normalmente con un terrazzo recente).

Come si misura

La determinazione dell'estensione laterale e della continuità longitudinale delle superfici in oggetto ([Figura 6.1](#)) viene effettuata, per alvei non confinati o semiconfinati, attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate, integrate da controlli sul terreno. Si procede attraverso i seguenti passaggi:

1. Identificazione e delimitazione preliminare delle superfici di piana inondabile, incluse le superfici leggermente terrazzate facenti parte dell'alveo pre-incisione. Tali superfici presentano evidenze di essere inondate con una frequenza relativamente elevata e caratteristiche vegetazionali simili a quelle della piana inondabile. Quando disponibili, possono essere utilizzate zonazioni della frequenza di inondazione ricavate da analisi idrauliche: la pianura inondabile attiva normalmente è soggetta ad inondazioni per tempi di ritorno dell'ordine di 1÷3 anni, mentre tali superfici possono essere interessate da inondazioni con tempi di ritorno leggermente più elevati, di norma non superiori ai 5 anni. Inoltre, l'uso delle sezioni trasversali rilevate presso il sito ([punto \(3.2\)](#)) sarà di supporto alla definizione delle superfici, in base ai dislivelli altimetrici presenti.
2. Sopralluoghi sul terreno. Per verificare la delimitazione preliminare delle superfici di interesse è necessaria una ricognizione sul terreno con controlli mirati in punti dubbi e rappresentativi individuati nella fase precedente. Generalmente tali superfici presentano dislivelli relativamente ridotti rispetto all'alveo (non è possibile fornire regole generali in quanto tali dislivelli possono variare di caso in caso in funzione delle dimensioni e delle caratteristiche idrologico-idrauliche del corso d'acqua). Le evidenze morfologiche sono rappresentate soprattutto da tracce di inondazioni delle superfici relativamente recenti, quali tracce di flussi idrici, presenza di materiale legnoso o altri tipi di detriti fluitati (in particolare quando sono intercettati da vegetazione viva presente), evidenze di sedimentazione sulla vegetazione presente (radici sepolte da sedimenti fini). Ovviamente, tali indicatori non sono validi se si effettua il rilievo subito dopo un evento di piena particolarmente significativo (tempo di ritorno indicativamente > 10 anni), nel quale anche superfici a quote relativamente elevate possono essere state inondate. Per quanto riguarda le caratteristiche vegetazionali, la presenza di specie arboree riparie sono indicative di queste superfici, mentre la presenza di specie normalmente estranee all'ambiente ripario possono essere indicatori di terrazzi inondabili meno frequentemente. Tale riconoscimento verrà effettuato grazie ai rilievi sul terreno di cui al punto ([5.1](#)).
3. Misura dell'estensione laterale. Vengono utilizzate le stesse sezioni di misura impiegate per le misure di larghezza dell'alveo, effettuando quindi la misura della larghezza totale (sommando quelle ai due lati del corso d'acqua) delle superfici di piana inondabile per ogni punto dell'asse dell'alveo corrispondente al passo definito perpendicolarmente allo stesso. Al termine delle misure, si ricava un valore di estensione laterale medio del tratto di studio.
4. Misura della continuità longitudinale. Viene misurata lungo l'asse dell'alveo la lunghezza di corso d'acqua con presenza laterale delle superfici in oggetto per ognuno dei due lati. Successivamente si calcola il rapporto tra la somma delle lunghezze così misurate sui due lati ed il doppio della lunghezza del tratto misurata lungo l'asse dell'alveo, espresso in percentuale.

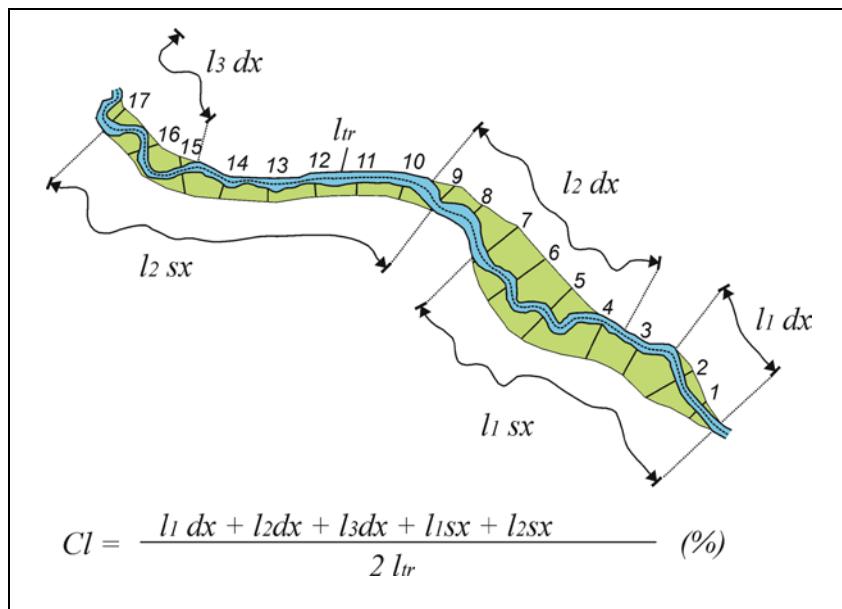


Figura 6.1 – Misura dell'estensione e continuità longitudinale (Cl) della piana inondabile. L'area in verde rappresenta la piana inondabile. L'estensione si ricava dalla media delle misure effettuate per le sezioni dalla 1 alla 17.

Scala spaziale

Le misure vanno effettuate alla scala del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

Questa misura viene effettuata solo per corsi d'acqua non confinati o semiconfinati.

(1.3) Sponde in arretramento

Definizione

La presenza ed estensione di sponde in arretramento per erosione rappresentano grandezze che esprimono l'intensità della dinamica laterale del corso d'acqua. Variazioni di tale parametro sono, entro certi limiti (dipendenti anche dalla tipologia di corso d'acqua), da considerarsi normali nella dinamica morfologica naturale di alvei in equilibrio dinamico. È ormai sempre più riconosciuto il fatto che un certo arretramento delle sponde fluviali sia da considerare un attributo positivo anche per i numerosi risvolti benefici per gli ecosistemi acquatici e ripariali (si veda ad esempio [FLORSHEIM et al., 2008](#)). Variazioni eccessive possono invece essere sintomo di instabilità del tratto o dell'intero sistema fluviale, così come variazioni eccessivamente ridotte in alcune morfologie possono indicare una scarsa dinamica legata a qualche alterazione.

È possibile definire due grandezze che descrivono l'entità dei processi di erosione laterale:

- **Lunghezza di sponde in arretramento (lsa):** è la lunghezza di sponde nel tratto (in percentuale) in arretramento per erosione.
- **Tasso di arretramento delle sponde (Tas):** è il tasso medio annuo nel tratto di arretramento delle sponde (in m/a).

Come si misura

La determinazione della lunghezza di sponde in arretramento viene effettuata, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate previa georeferenziazione. Si procede come segue:

1. Identificazione da foto aeree dei tratti di sponde in arretramento per erosione. Nell'analisi dello stato attuale (primo volo aereo analizzato quando inizia il monitoraggio), si identificano come tratti in arretramento per erosione quelli con chiare evidenze di instabilità (scarpate con vegetazione scarsa o assente e con inclinazioni elevate, spesso sub-verticali). In casi dubbi, può essere necessario un sopralluogo sul terreno. Nelle analisi successive (a partire dal secondo volo aereo disponibile), è possibile identificare i tratti che hanno subito arretramento con più immediatezza sovrapponendo le linee di sponda relative alle due situazioni successive.
2. Misura della lunghezza di sponde in arretramento. Viene misurata lungo l'asse dell'alveo la lunghezza di corso d'acqua con presenza laterale di sponde in arretramento per erosione per ognuno dei due lati. Successivamente si calcola il rapporto tra la somma delle lunghezze così misurate sui due lati ed il doppio della lunghezza del tratto misurata lungo l'asse dell'alveo, espresso in percentuale ([Figura 6.2](#)).
3. Misura del tasso di arretramento delle sponde. È possibile effettuare questa misura avendo a disposizione almeno due voli aerei. Durante il primo monitoraggio è possibile utilizzare per il confronto un volo aereo precedente, qualora disponibile, che sia stato eseguito negli ultimi 10 anni (rilievi precedenti possono non essere adatti ad interpretare l'attuale tendenza). In caso contrario, è possibile determinare tale parametro solo a partire dal secondo monitoraggio. Si sovrappongono le linee di sponda relative alle due situazioni successive e, nei casi di arretramento, si misurano le distanze tra le due linee (generalmente si adotta la stessa spaziatura utilizzata per la larghezza dell'alveo) ([Figura 6.3](#)). Nelle sezioni non in arretramento (variazione assente o avanzamento della linea di sponda), il valore di arretramento viene posto pari a 0. Al termine delle misure, si ricava un valore di tasso di arretramento (in m/a) medio del tratto di studio. Tenere presente, per una valutazione corretta delle misure ottenute, gli errori associati alla procedura (georeferenziazione delle immagini e digitalizzazione delle sponde).

Si noti che il tasso di arretramento rappresenta un indice di mobilità dell'alveo: assumendo pari a 0 i casi di sponde in avanzamento (piuttosto che assumerli come arretramenti negativi), tale parametro si differenzia dalla variazione di larghezza dell'alveo. Ad esempio, un corso d'acqua può mantenere invariata la larghezza pur migrando lateralmente, presentando così un valore di tasso di arretramento positivo che fornisce una misura dello spostamento laterale medio avvenuto.

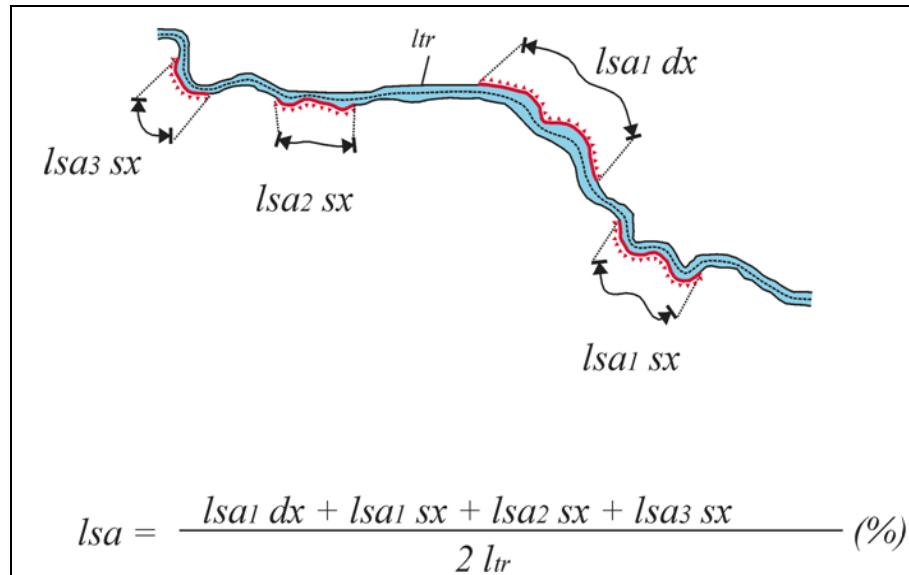


Figura 6.2 – Misura della Lunghezza di sponde in arretramento (*lsa*).

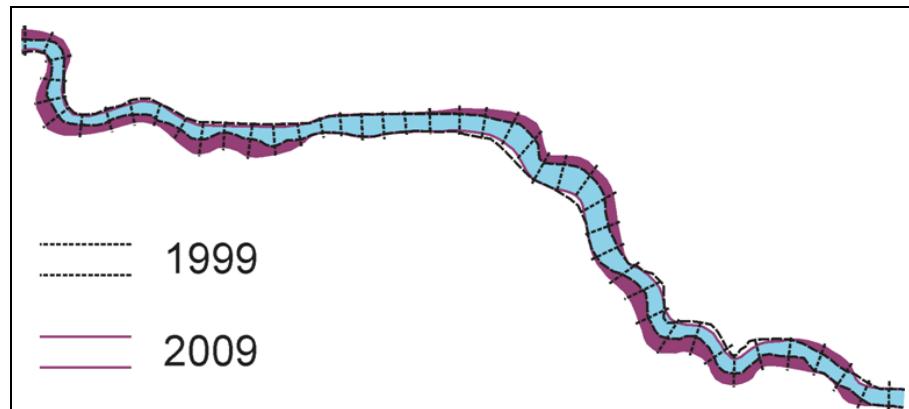


Figura 6.3 – Misura del Tasso di arretramento delle sponde (*Tas*).

I segmenti tratteggiati rappresentano le sezioni di misura; le aree in viola rappresentano i tratti di sponde in arretramento. Il valore di arretramento medio nel tratto va diviso per l'intervallo di tempo tra i due rilievi successivi (10 anni).

Scala spaziale

Le misure vanno effettuate alla scala del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

Questa misura viene effettuata solo per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m) non confinati o semiconfinati.

(2) CONFIGURAZIONE MORFOLOGICA

(2.1) Indice di sinuosità

Definizione

L'*indice di sinuosità* (*Is*) è definito come il rapporto tra lunghezza misurata lungo il corso d'acqua e lunghezza misurata lungo la valle (adimensionale).

Come si misura

Si veda [CAPITOLO 4](#).

Scala spaziale

La scala spaziale di misura è quella del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

L'indice di sinuosità è un parametro necessario per la definizione della morfologia degli alvei non confinati o semiconfinati. La sua misura pertanto non è significativa per gli alvei confinati. Per gli alvei a canali intrecciati l'indice di sinuosità è molto basso (riferendosi all'alveo complessivo) ma può essere significativo misurarlo per analizzarne eventuali variazioni nel tempo (mentre ai fini della classificazione della morfologia il parametro non è significativo). Per gli alvei anastomizzati si calcola la media dei valori relativi ai singoli canali.

(2.2) Indice di intrecciamento

Definizione

L'**indice di intrecciamento (Ii)** è definito come il numero di canali attivi.

Come si misura

Si veda [CAPITOLO 4](#). Si noti che, rispetto alla fase di inquadramento e suddivisione iniziale, l'interdistanza per la misura dell'indice deve essere ridotta, utilizzando la stessa impiegata per la misura della larghezza.

Scala spaziale

Per le misure da telerilevamento, la scala spaziale è quella del tratto: si ricava quindi un valore medio relativo al tratto.

Per le misure sul terreno, la scala spaziale è quella del sito.

Si noti che le misure sul terreno non si limitano solo agli alvei di piccole-medie dimensioni (larghezze inferiori a 30 m) ma anche a quelli di dimensioni maggiori. In questi casi le misure vengono ristrette al sito di rilevamento utilizzando un minimo di 3 misure in corrispondenza delle sezioni di rilievo topografico ([punto \(3.2\)](#)). Nel caso di alvei normalmente asciutti durante i periodi di magra (regioni mediterranee) si considerano i canali riconoscibili (seppure asciutti).

Tipologia di corso d'acqua

Per gli alvei a canale singolo l'indice di intrecciamento è pari (o prossimo) ad 1, quindi non è significativo misurarlo; può diventare necessario effettuarne la misura nei casi in cui esistano situazioni locali di intrecciamento.

(2.3) Indice di anastomizzazione

Definizione

L'**indice di anastomizzazione (Ia)** si definisce come il numero di canali separati da isole fluviali.

Come si misura

Si veda [CAPITOLO 4](#). Si noti che, rispetto alla fase di inquadramento e suddivisione iniziale, l'interdistanza per la misura dell'indice deve essere ridotta, utilizzando la stessa impiegata per la misura della larghezza.

Scala spaziale

Per le misure da telerilevamento, la scala spaziale è quella del tratto: si ricava quindi un valore medio relativo al tratto.

Per le misure sul terreno, la scala spaziale è quella del sito.

Tipologia di corso d'acqua

Per gli alvei a canale singolo l'indice di anastomizzazione è pari ad 1, quindi non è significativo misurarlo; può diventare necessario effettuarne la misura nei casi in cui ci siano situazioni locali di anastomizzazione.

(2.4) Morfometria di barre e isole

Definizione

Le variazioni di alcune superfici fluviali possono essere precursori di una variazione della tipologia complessiva dell'alveo e possono essere associate ad alterazioni nei regimi delle portate liquide e/o solide. Le superfici considerate sono le barre e le isole fluviali. Per le barre si ritiene più opportuno misurare la lunghezza, essendo le aree di meno agevole determinazione e maggiormente condizionate dai livelli idrometrici rispetto alle lunghezze, mentre per le isole è preferibile misurare le aree, essendo superfici più stabili e meno influenzate dai livelli idrometrici. Si distinguono pertanto i seguenti parametri ([Figura 6.4](#)):

- **Lunghezza delle barre laterali (Ibl):** è la lunghezza di alveo nel tratto (in percentuale) interessata dalla presenza di barre laterali (comprese le barre di meandro).
- **Lunghezza delle barre longitudinali (Iblo):** è la lunghezza di alveo nel tratto (in percentuale) interessata dalla presenza di barre longitudinali.
- **Area delle isole (Ai)** (in m^2).

Risulta inoltre utile integrare i precedenti parametri con i seguenti:

- **Densità delle barre laterali (DbI):** è il numero di barre laterali diviso per la lunghezza del tratto ($n \text{ km}^{-1}$).
- **Densità delle barre longitudinali (Dblo):** è il numero di barre longitudinali diviso per la lunghezza del tratto ($n \text{ km}^{-1}$).
- **Densità delle isole (Di):** è il numero di isole diviso per la lunghezza del tratto ($n \text{ km}^{-1}$).

Come si misura

La morfometria delle barre e delle isole viene misurata, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi GIS di immagini telerilevate. Si procede come segue:

1. Lunghezza delle barre laterali. Viene misurata lungo l'asse dell'alveo la lunghezza di corso d'acqua con presenza di barre laterali da uno o entrambi i lati, e viene calcolato il rapporto, espresso in percentuale, rispetto alla lunghezza del tratto misurata lungo l'asse dell'alveo.

2. Lunghezza delle barre longitudinali. In maniera analoga, viene misurata lungo l'asse dell'alveo la lunghezza di corso d'acqua con presenza di barre longitudinali e viene calcolato il rapporto, espresso in percentuale, rispetto alla lunghezza del tratto misurata lungo l'asse dell'alveo.
3. Area delle isole. Viene misurata l'area una volta delimitata l'isola.
4. Contemporaneamente alle precedenti misure, viene annotato il numero di barre e isole e se ne determina la densità, per ognuna delle tre categorie, dividendo il numero per la lunghezza del tratto.

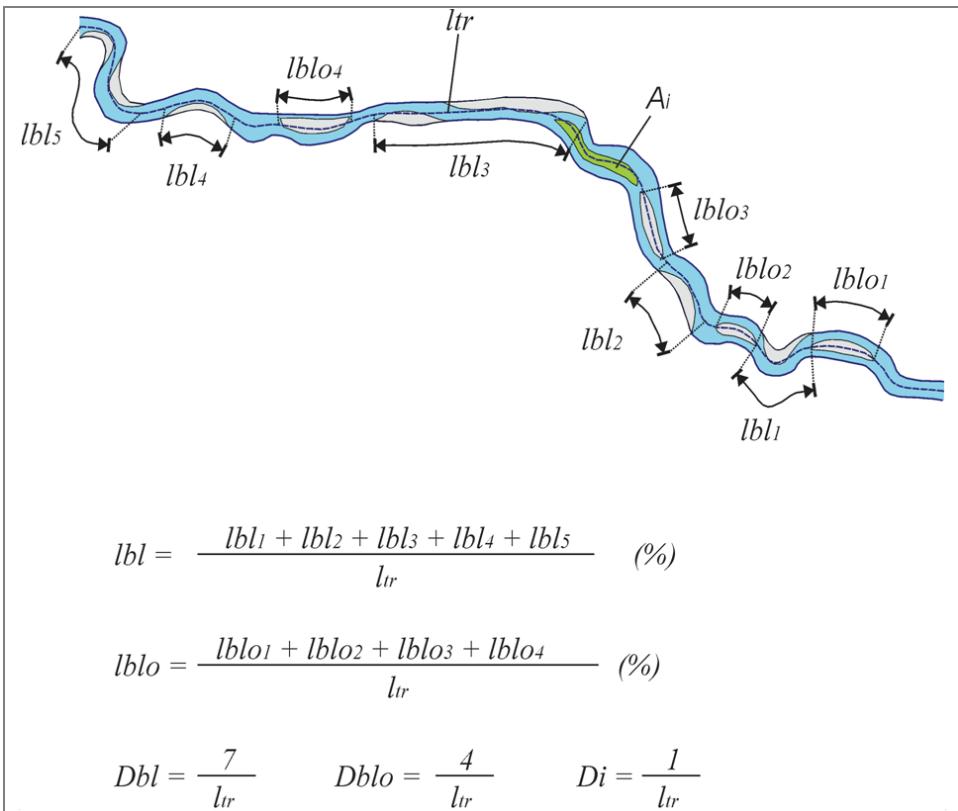


Figura 6.4 – Morfometria di barre ed isole.

Misura della Lunghezza delle barre laterali (lbl), Lunghezza delle barre longitudinali (lbl_o), Area delle isole (A_i) e rispettive densità (Dbl , $Dblo$, Di), queste ultime ottenute dividendo il numero per la lunghezza ltr del tratto.

Si noti che, così come definita, la lunghezza di barre laterali assume il massimo valore di 100% quando sono presenti, su almeno uno dei due lati, barre laterali senza soluzione di continuità. Nei casi in cui, per uno stesso sottotratto, esiste una barra laterale su entrambi i lati, la lunghezza non cambia, mentre varierà la densità. Lo stesso vale per le barre longitudinali: in tal caso, se per un sottotratto sono presenti due o più barre longitudinali, oltre alla densità, aumenterà l'indice di intrecciamento.

Scala spaziale

Le misure vanno effettuate alla scala del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

Questa misura viene effettuata solo per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).

(2.5) Configurazione morfologica

Definizione

Per variazione della configurazione morfologica è inteso il passaggio da una tipologia morfologica ad un'altra.

Come si misura

Nel caso di alvei non confinati o semiconfinati e di alvei confinati transizionali o a canali multipli, il passaggio ad una tipologia diversa è determinato da variazioni di uno o più degli indici di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione, per la cui misura si rimanda ai punti precedenti.

Nel caso di alvei confinati a canale singolo, l'accertamento si basa sull'osservazione sul terreno di una variazione della configurazione del fondo.

Scala spaziale

Nel caso di alvei non confinati e semiconfinati, la scala spaziale è la stessa adottata per gli indici di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione. Per le misure da telerilevamento, la scala spaziale è quella del tratto. Nel caso in cui non tutto il tratto subisca una variazione di tipologia ma solo una parte di esso, si procede alla ridefinizione di due tratti diversi. Per le misure sul terreno, la scala spaziale è quella del sito (solo per indici di intrecciamento ed anastomizzazione): nel caso si denoti una variazione di un indice tale da determinare un passaggio ad una morfologia diversa, le misure vanno estese dal sito al tratto per verificare se la variazione riguarda tutto il tratto o quali parti di esso.

Per gli alvei confinati, la scala spaziale rimane sempre quella dell'intero tratto (infatti, nel caso di variazioni di tipologia alla scala del sito esse vanno verificate sull'intero tratto).

Tipologia di corso d'acqua

Si applica con modalità differenti a tutti i corsi d'acqua.

(2.6) Pendenza del fondo

Definizione

Si definisce **pendenza del fondo** (*S*) il rapporto tra il dislivello di quota del fondo e la distanza misurata lungo l'alveo (adimensionale).

Come si misura

La misura della pendenza va effettuata attraverso il rilievo del profilo del fondo ([punto \(3.4\)](#)), al quale si rimanda per i dettagli.

Scala spaziale

È opportuno estendere il profilo del fondo in modo da interessare il più possibile l'intera lunghezza del tratto. In tutti i casi, per ottenere una stima significativa della pendenza media del fondo è necessario che il profilo venga eseguito per una distanza di almeno 10÷20 volte la larghezza dell'alveo, differenziata come segue a seconda del tipo di corso d'acqua: (a) per alvei a canale singolo si utilizza una distanza di circa 20 volte la larghezza; (b) per alvei di grandi dimensioni (p.e., a canali intrecciati) tale distanza può ridursi fino ad un minimo di 10 volte la larghezza.

Tipologia di corso d'acqua

La pendenza del fondo si misura per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

(3) CONFIGURAZIONE DELLA SEZIONE

(3.1) Larghezza alveo

Definizione

L'alveo (identificabile anche con il termine alveo pieno 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 attiva o, in sua assenza, del terrazzo più basso che è a contatto con l'alveo. Per gli alvei confinati, la delimitazione dell'alveo è più problematica, essendo quasi sempre assente la piana inondabile (per le evidenze utilizzate in questi casi si veda il [punto \(3.2\)](#)). La **larghezza dell'alveo (L)** (in m) è quindi definibile una volta delimitato l'alveo.

Come si misura

Si veda [CAPITOLO 4](#).

Scala spaziale

Per gli alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), la scala spaziale delle misure da immagini è quella del tratto, mentre le misure sul terreno vengono effettuate alla scala del sito.

Per gli alvei di piccole-medie dimensioni (larghezza < 30 m), la scala spaziale è quella del sito.

Tipologia di corso d'acqua

La larghezza dell'alveo si misura per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

(3.2) Profondità alveo

Definizione

Si tratta della **profondità (P)** (in m) della sezione riferita alle condizioni idrometriche associate alla portata di alveo pieno (*bankfull discharge*) (non si riferisce quindi alla profondità della corrente durante le operazioni di rilievo sul terreno). Per la misura della profondità è necessaria la definizione del livello ad alveo pieno (*bankfull stage*): esso si identifica con il livello della pianura inondabile attiva oppure, in sua assenza, con il livello del terrazzo più basso che delimita l'alveo.

Le variazioni temporali di profondità della sezione di alveo pieno sono attribuibili a processi di incisione o sedimentazione e possono comportare variazioni delle condizioni idrauliche e della capacità di trasporto.

Come si misura

La misura della profondità avviene esclusivamente sul terreno, attraverso il rilievo topografico di sezioni trasversali e l'identificazione su di esse del livello ad alveo pieno. Come descritto nel precedente punto [\(3.1\)](#), è opportuno identificare nel sito di monitoraggio 3 sezioni rappresentative, poste a distanza compresa tra 0.5 e 2 volte la larghezza dell'alveo e disposte all'incirca ortogonalmente rispetto all'asse dell'alveo (il valore finale della

profondità verrà ricavato dalla media sulle 3 sezioni). Nel caso di alvei ghiaioso-ciottolosi la cui configurazione del fondo non sia omogenea (es. a *riffle-pool*, a gradinata, ecc.), è opportuno selezionare le 3 sezioni in modo da rappresentare situazioni morfologiche relativamente diverse (in un alveo a canale singolo a *riffle-pool*, è preferibile che le sezioni alle estremità siano rilevate in corrispondenza di *riffle* e quella intermedia in condizione di *pool*).

Il rilievo topografico delle sezioni (unitamente a quello del profilo del fondo e quindi della pendenza) può essere eseguito tramite i metodi topografici convenzionali, distanziometro-teodolite o stazione totale, oppure tramite GPS differenziale. Nel primo caso è indispensabile materializzare dei capisaldi alle estremità o in prossimità delle sezioni di misura, su cui orientare il rilievo, mentre nel secondo caso tale operazione non è strettamente necessaria, ma è consigliata per aumentare l'accuratezza del rilievo.

Nel caso di corsi d'acqua non guadabili, il rilievo topografico della sezione è di maggiore impegno (uso di imbarcazioni) e può richiedere rilievi batimetrici con altri tipi di strumentazione quali ecoscandagli. In tali casi, si può limitare il rilievo ad un'unica sezione rappresentativa.

Identificazione del livello di bankfull

Nel caso di *alvei non confinati*, l'identificazione del livello di *bankfull* coincide con quella della piana inondabile e si basa sulla combinazione di tre tipi di evidenze: (1) evidenza topografica, consistente nel passaggio ad una superficie pianeggiante (nel caso di presenza di bare di meandro o laterali, in genere corrisponde alla loro sommità); (2) evidenza tessiturale, consistente in una variazione della granulometria da sedimenti relativamente più grossolani (che denotano trasporto solido al fondo) a sedimenti fini (tipici di decantazione associata a correnti di esondazione); (3) evidenze vegetazionali, consistenti nella presenza di vegetazione diffusa e più matura.

Si noti che, nel caso di alvei incisi che non hanno ricostruito una nuova piana inondabile, il livello di *bankfull* si identifica con la quota del terrazzo più basso. In questi casi, la portata ad alveo pieno può essere associata a tempi di ritorno superiori a quelli che normalmente interessano una piana inondabile in un corso d'acqua in equilibrio e non è correlabile con la portata formativa.

Nel caso di *alvei confinati*, l'identificazione del livello di *bankfull* è più problematica, dato che quasi sempre non è presente una piana inondabile. In questi casi, le evidenze che vengono usate sono: (1) quota massima delle barre presenti; (2) limiti inferiori della vegetazione arborea e arbustiva; (3) limite inferiore dei licheni (evidenza tuttavia ritenuta di minore attendibilità). Tutti questi indicatori forniscono un limite inferiore per il livello di *bankfull*.

Calcolo della profondità

Una volta effettuato il rilievo, si procede all'elaborazione e visualizzazione dei dati, in formato di distanze progressive dall'estremità posta in sinistra idrografica-quote. Si effettua quindi il calcolo della profondità, sulla base del livello ad alveo pieno identificato sul terreno. A tal proposito, si possono distinguere i seguenti casi: (1) è presente piana inondabile da entrambi i lati ma a quote differenti: si fa riferimento alla quota inferiore; (2) è presente piana inondabile da un solo lato: essa identifica il livello ad alveo pieno; (3) non è presente piana inondabile da nessuno dei due lati: si fa riferimento alla quota inferiore tra quelle delle superfici pianeggianti adiacenti all'alveo sui due lati. In tutti i casi, la regola quindi è di identificare il livello ad alveo pieno come quel livello idrometrico a partire dal quale l'acqua comincia ad esondare sulla superficie pianeggiante più bassa presente ai lati del corso d'acqua.

Si possono distinguere:

- **profondità massima (Pmax)** (in m): è data dalla differenza tra livello ad alveo pieno e

quota minima del fondo;

- **profondità media (P_{med})** (in m): si può determinare nei seguenti modi: (1) differenza tra la quota del livello di *bankfull* e la quota media del fondo; (2) rapporto tra area della sezione e larghezza (corrisponde cioè all'altezza del rettangolo avente la stessa area e larghezza della sezione, ed è una sufficiente approssimazione della profondità media nel caso di sezioni con larghezza molto maggiore della profondità).

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del sito.

Tipologia di corso d'acqua

La profondità dell'alveo si misura per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

(3.3) Rapporto larghezza / profondità

Definizione

Il **rapporto larghezza / profondità (L/P)** è un parametro utile per caratterizzare la forma della sezione e si definisce come rapporto tra larghezza dell'alveo e profondità media (adimensionale). Bassi valori di tale rapporto indicano sezioni relativamente strette e profonde, tipiche di alvei a canale singolo, mentre alti rapporti indicano sezioni relativamente larghe e poco profonde, tipiche di alvei a canali intrecciati.

Come si misura

Il rapporto larghezza / profondità deriva direttamente dal rapporto delle misure della larghezza e della profondità media, ricavate dai rilievi sul terreno delle sezioni, alle quali si rimanda.

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del sito.

Tipologia di corso d'acqua

Il rapporto larghezza / profondità si misura per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

(3.4) Variazione di quota del fondo

Definizione

La variazione di quota del fondo rappresenta la grandezza più direttamente associata alla stabilità altimetrica del corso d'acqua oppure ai fenomeni di incisione o sedimentazione. La quota del fondo può essere determinata alla scala delle singole sezioni oppure alla scala di profilo longitudinale. Il primo caso si riconduce alla misura della profondità (punto [\(3.2\)](#)), mentre in questo punto vengono trattate le variazioni alla scala del profilo longitudinale. Ai fini del monitoraggio di tali processi è infatti opportuno considerare i processi di incisione o sedimentazione quanto più possibile alla scala del tratto, in quanto la scala del sito può risentire di situazioni localizzate. La **variazione di quota del fondo (ΔQ_f)** (in m) è intesa come la variazione media nel tratto di misura. Dividendola per l'intervallo temporale relativo al confronto, si esprime inoltre il **tasso di variazione di quota del fondo (Δq_f)** (in m/a) (tale parametro è utile per confronti relativi ad intervalli temporali differenti).

Come si misura

È necessario effettuare un rilievo topografico quanto più possibile esteso alla scala del tratto. Attraverso il rilievo topografico, si misura la quota del fondo in corrispondenza della linea di *thalweg*, ossia la linea di massima profondità (o equivalentemente di minima quota del fondo). Analogamente a quanto descritto al punto [\(3.2\)](#), le misure possono essere effettuate con distanziometro-teodolite, stazione totale, o preferibilmente con GPS differenziale. In ogni caso è necessario materializzare attraverso capisaldi almeno le sezioni alle estremità di monte e di valle del tratto. Quando possibile, è preferibile la determinazione del profilo del fondo medio attraverso il rilievo di un certo numero di sezioni trasversali estese all'intero tratto o gran parte di esso (in tal caso per la profondità del fondo medio delle singole sezioni si rimanda al punto [\(3.2\)](#)). Il profilo di fondo medio è infatti ritenuto più significativo per la determinazione delle tendenze evolutive altimetriche rispetto al profilo del massimo fondo. Nel caso di corsi d'acqua non guadabili di una certa profondità, sono necessarie misure tramite mezzi natanti ed ecoscandaglio: in tal caso, dato il maggiore impegno, la misura può limitarsi a non meno di 10 volte la larghezza dell'alveo, in maniera tale che la sezione definita per la misura della larghezza e della profondità sia all'incirca nel punto intermedio del tratto rilevato.

Una volta effettuato il rilievo, si procede all'elaborazione e visualizzazione dei dati, in formato di distanze progressive (dall'estremità di monte del profilo) – quote. L'analisi delle variazioni avviene attraverso il confronto tra profili rilevati in anni diversi. È possibile quindi effettuare un confronto avendo a disposizione almeno due rilievi. Durante l'esecuzione del primo monitoraggio, è possibile confrontare il profilo del fondo con un rilievo precedente, se disponibile, che sia stato eseguito negli ultimi 10 anni (rilievi precedenti possono non essere adatti ad interpretare l'attuale tendenza). In caso contrario, si determina la variazione di quota del fondo solo a partire dal secondo monitoraggio. Attraverso tale confronto si individua la tendenza (o le tendenze in sottotratti diversi) e se ne determina il campo di variazione. Più in dettaglio, nel caso di un tratto caratterizzato da un'unica tendenza ([Figura 6.5](#)), si determinano il campo di variazione (valori massimi e minimi per quella tendenza) e la variazione di quota media del tratto (valori negativi corrispondono ad incisione, valori positivi a sedimentazione, mentre valori nulli o molto prossimi a 0 corrispondono ad equilibrio). Nel caso di un tratto caratterizzato da sottotratti con tendenze diverse ([Figura 6.6](#)), si definisce il campo di variazione complessivo (massima incisione e massima sedimentazione) ed è poi necessario definire le lunghezze di ogni sottotratto e la relativa variazione media. Successivamente si determina la media pesata delle variazioni registrate nei sottotratti (o equivalentemente si effettua dai profili longitudinali la differenza tra aree in sedimentazione ed in incisione). Tale valore rappresenta indicativamente la tendenza complessiva del tratto.

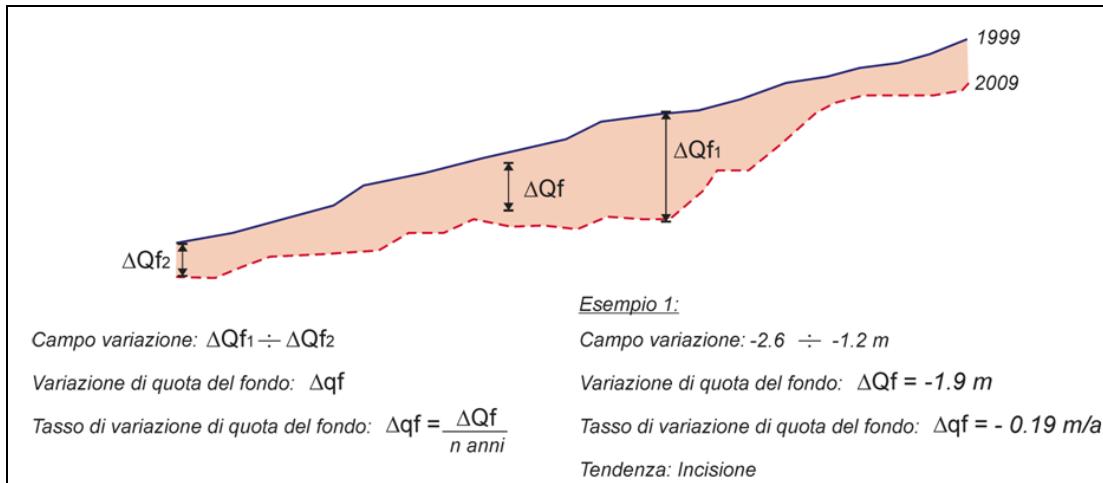


Figura 6.5 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQf) e del relativo Tasso di variazione (Δqf) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto con tendenza unica all'incisione.

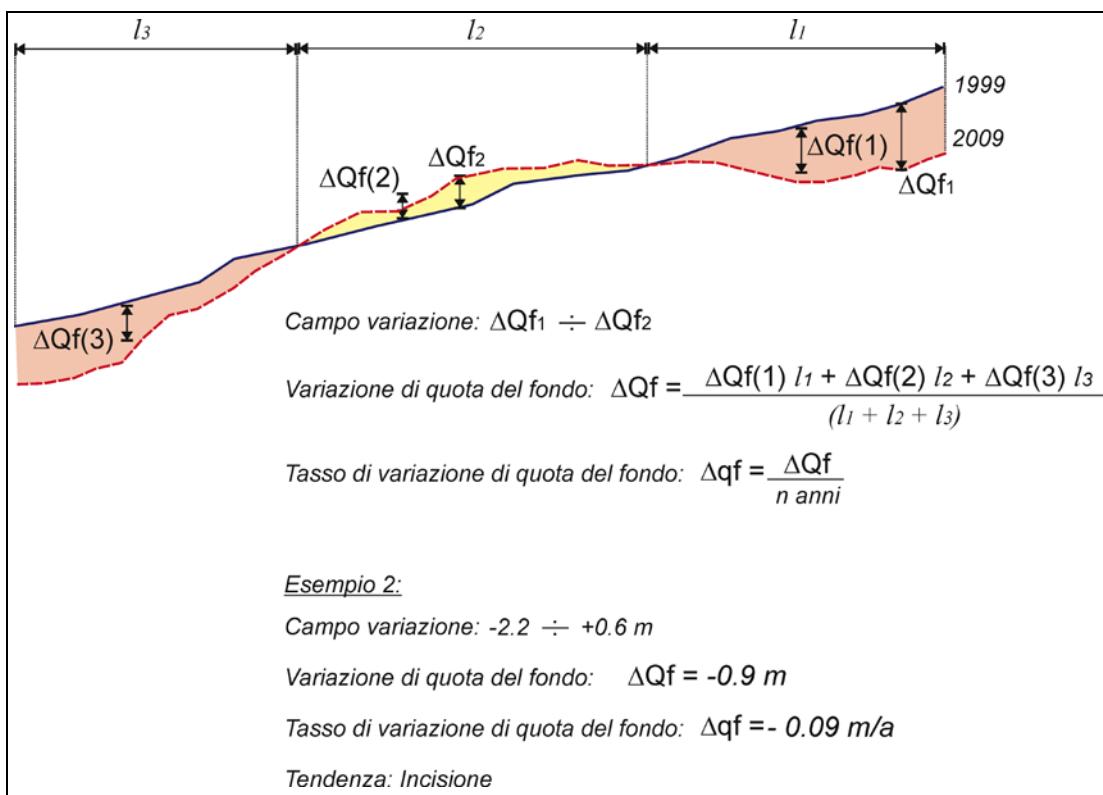


Figura 6.6 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQf) e del relativo Tasso di variazione (Δqf) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto caratterizzato da 3 sottotratti a tendenze diverse.

$\Delta Qf(1)$, $\Delta Qf(2)$ e $\Delta Qf(3)$ rappresentano i valori medi di variazione nei tratti l_1 , l_2 ed l_3 rispettivamente. La tendenza complessiva è l'incisione, essendo la variazione di quota del fondo media negativa.

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto, eccetto i casi di alvei non guadabili per i quali il profilo del fondo può limitarsi ad una lunghezza comunque non inferiore a 10 volte la larghezza dell'alveo.

Tipologia di corso d'acqua

La quota del fondo si misura per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

(4) STRUTTURA E SUBSTRATO DELL'ALVEO

(4.1) Dimensioni granulometriche del fondo

Definizione

Viene analizzata la curva granulometrica dei sedimenti del fondo e le sue variazioni nel tempo, con particolare riferimento al **diametro mediano** (D_{50}) della distribuzione (in mm).

Come si misura

La misura delle granulometrie del fondo richiede metodologie differenziate a seconda delle dimensioni dei sedimenti e delle caratteristiche del corso d'acqua.

Alvei in ghiaia – ciottoli guadabili

Nel caso di alvei guadabili con fondo prevalentemente costituito da sedimenti ghiaiosociottolosi, si esegue un campionamento areale superficiale con metodo numerale (o statistico) (*pebble counts grid-by-number*) ([BUNTE & ABT, 2001](#)), eseguito sia su superfici emerse (barre) che, dove possibile, sulle porzioni sommerse (canali).

La procedura è la seguente:

1. Si individua nel sito una barra le cui caratteristiche siano ritenute sufficientemente rappresentative. Bisogna evitare barre altimetricamente distanti dal canale (barre alte), le quali sono spesso caratterizzate da un forte assortimento granulometrico, determinato dalla presenza di sedimenti più grossolani (trasportati durante piene maggiori) e sedimenti fini (depositati durante le fasi calanti delle piene). È necessario invece selezionare una barra con caratteristiche granulometriche simili a quelle della parte sommersa del canale.
2. Si misura la classe granulometrica di appartenenza di un certo numero di clasti/elementi statisticamente significativo lungo tale superficie. Il numero di particelle, in caso di sedimenti eterogenei (come di norma), deve variare da un minimo di 200 (alvei ghiaiosociottolosi) fino a 400 (torrenti montani), mentre solo nel caso di alvei ghiaiosi relativamente omogenei può ridursi ad un minimo di 100.
3. Si parte con l'ipotesi di effettuare tre stendimenti lungo la barra, trasversali rispetto alla direzione della corrente, e posizionati in testa, corpo e coda della barra in modo da rappresentare sufficientemente l'eterogeneità granulometrica lungo la superficie. Gli stendimenti vengono effettuati con cordelle metriche, lungo le quali si definisce un passo spaziale che deve essere superiore alla dimensione granulometrica massima presente. Gli stendimenti devono essere estesi fino al limite della barra ed interrompersi dove si nota il passaggio ad un'altra superficie o a granulometrie e caratteristiche significativamente differenti (ad esempio nel caso si noti prevalenza di materiale fine nel passaggio alla porzione alta della barra). Nel caso in cui, date le lunghezze degli stendimenti (funzione delle dimensioni della barra) ed il passo selezionato, il numero di particelle non è sufficiente a raggiungere il numero prefissato, si procede con altri stendimenti intermedi, fino al raggiungimento del numero totale del campione.
4. L'esecuzione del campionamento viene generalmente realizzata da due operatori: una persona individua e preleva le particelle da campionare e poi ne misura l'asse intermedio, la seconda invece registra le misure in un'apposita scheda di campo. Le particelle devono essere prelevate con criterio oggettivo ed omogeneo, sempre dallo stesso lato della rotella metrica, all'intersezione della linea corrispondente al passo spaziale prescelto sulla

rotella (p.e., ogni 50 cm) ed i sedimenti del letto. L'asse intermedio viene individuato mediante un'apposita piastra forata (con fori secondo una scala di $\frac{1}{2} \phi$) per tutti i sedimenti con $4 \text{ mm} < D < 256 \text{ mm}$, mentre per quelli con diametro inferiore ($0.062 \text{ mm} < D < 4 \text{ mm}$) si preferisce l'uso di un comparatore visivo (anch'esso arrangiato secondo una scala di $\frac{1}{2} \phi$). Invece, per i massi con $D > 256 \text{ mm}$, si utilizza un metro, un calibro o un cavalletto forestale.

5. Ripetizione delle misure. Le misure vanno ripetute periodicamente (si veda frequenza temporale) sempre sulla stessa barra, anche se la posizione e la morfologia di quest'ultima può variare nel tempo. Nel caso in cui la barra venga completamente erosa, si farà riferimento alla barra più vicina all'interno del sito di rilievi o, in assenza, all'interno del tratto di studio.

Alvei in sabbia e/o di elevata profondità

Nel caso di corsi d'acqua con fondo sabbioso e/o profondità elevata, è necessario utilizzare altre tecniche di campionamento per il prelievo di un campione volumetrico (quindi non più superficiale). Queste possono comprendere: (a) impiego di un sommozzatore; (b) impiego di strumenti meccanici tipo benna o *box corer* o altri dispositivi da natante.

Il criterio più rigoroso per determinare il peso del campione da analizzare è quello derivato da [CHURCH et al. \(1987\)](#), basato su un diagramma che lega il diametro massimo delle particelle presenti al minimo peso del materiale da prelevare. Dal diagramma si ricava che, se la dimensione delle particelle non è superiore a 32 mm, allora tale dimensione non deve superare lo 0.1% del peso totale del campione. In altri termini, per $D_{max} < 32 \text{ mm}$, deve risultare un peso minimo del campione $m=1000 \text{ m} (D_{max})$, dove $m (D_{max})$ è il peso della particella con diametro massimo, in kg. Nel caso di $D_{max} > 32 \text{ mm}$, il peso da prelevare risulta invece pari a $m=2.47 D_{max} - 44.8$, con m in kg e D_{max} in mm. Il campione viene successivamente sottoposto ad analisi granulometrica in laboratorio tramite setacciatura.

Analisi dei dati raccolti

Una volta che l'analisi del campione è completata, i dati ottenuti si riferiscono a quantità di materiale raggruppate per ciascuna classe. La rappresentazione di tali dati è ottenuta mediante tracciamento di un istogramma e della curva di frequenza cumulata.

Successivamente possono essere calcolati i principali parametri caratteristici della distribuzione granulometrica, quali il diametro mediano ed altri percentili significativi, il diametro medio, la deviazione standard, il coefficiente di asimmetria (*skewness*) e di curtosi (*kurtosis*).

Per gli scopi del monitoraggio, il parametro considerato come più significativo è il diametro mediano D_{50} (in mm), vale a dire il diametro per il quale il 50% del campione in peso è più fine. È utile tuttavia analizzare anche i percentili D_{16} e D_{84} (in mm) e l'eterogeneità granulometrica indicata dalla deviazione standard Sd (in mm).

Scala spaziale

La scala spaziale delle misure granulometriche è quella dell'unità sedimentaria scelta come rappresentativa all'interno del sito.

Tipologia di corso d'acqua

Tale analisi va effettuata per tutti i corsi d'acqua, con modalità differenti come prima descritto.

(4.2) Strutture del fondo: corazzamento e clogging

Definizione

Le variazioni di tessitura superficiale dei sedimenti in relazione a fenomeni di corazzamento e *clogging* possono avere significativi effetti su vari aspetti ecologici.

Il corazzamento consiste nella presenza di uno strato superficiale di dimensioni significativamente maggiori rispetto a quelle del sottostrato. Nei corsi d'acqua a fondo ghiaioso-ciottoloso, un corazzamento debole è comune: vari autori (p.e., [CHURCH et al., 1987](#); [HASSAN, 2005](#)) sono concordi nel considerare un valore di circa 2 del grado di corazzamento (rapporto tra diametro mediano dello strato superficiale e del sottostrato) come associabile ad un normale debole corazzamento. Nel caso in cui il grado di corazzamento sia significativamente maggiore (corazzamento accentuato o statico), si può ritenere che il fenomeno sia associabile ad alterazioni locali dovute ad un eccesso di capacità di trasporto rispetto all'alimentazione solida.

Il *clogging* (indicato anche come *embeddedness*: si veda ad esempio [SENNATT et al., 2008](#)) consiste invece nell'occlusione degli interstizi dei sedimenti grossolani del fondo da parte di materiale fine (sabbia, limo, argilla).

Come si valutano

Il **grado di corazzamento (Gcor)** è quantificato attraverso il rapporto tra D_{50} dello strato superficiale e D_{50} del sottostrato (detto anche *armour ratio* o rapporto di corazzamento, adimensionale). Maggiore è tale rapporto, più marcato è il corazzamento. Si distingue tra: (a) debole (o mobile), quando c'è una certa differenziazione, ma presumibilmente lo strato superficiale è mobilizzato per eventi di piena annuali o prossimi alle condizioni di *bankfull*; (b) accentuato (o statico), quando c'è una netta differenza tra dimensioni dello strato superficiale e del sottostrato e presumibilmente lo strato superficiale viene mobilizzato solo per eventi di piena di una certa intensità (superiori al *bankfull*). La condizione di corazzamento accentuato (o statico) viene in genere associata ad un grado di corazzamento almeno superiore a 3.

Le procedure di campionamento per l'analisi del corazzamento sono lunghe e dispendiose e spesso non sufficienti in un singolo punto, in quanto le variazioni nel tempo del grado di corazzamento misurato in un singolo campione potrebbero risentire di situazioni locali. Pertanto si suggerisce di effettuare tali analisi solo nei casi in cui, da osservazioni visive, il **corazzamento** appare **molto accentuato** e piuttosto generalizzato sulle superfici sedimentarie sulle quali sono condotte le osservazioni. In tali casi, è opportuno procedere ad un campionamento volumetrico del sottostrato in un punto scelto come rappresentativo. Per lo strato superficiale, si procede prelevando tutti i clasti del livello superficiale rimosso ed effettuandone un'analisi granulometrica in laboratorio. Sulla base delle analisi granulometriche dei due campioni si procede quindi al calcolo del grado di corazzamento. Si tenga comunque presente che i torrenti montani ad elevata pendenza (*sediment supply-limited*, con morfologia a gradinata e letto piano) sono naturalmente corazzati e possono quindi presentare elevati gradi di corazzamento che non segnalano alcuna alterazione di origine antropica.

Per quanto riguarda il **clogging** (o *embeddedness*) (**Clo**), la valutazione si basa su una stima della percentuale di superficie di alveo con interstizi riempiti da materiale fine. Tale stima viene fatta sul terreno, alla scala del sito di rilevamento, percorrendo il corso d'acqua e stimando la percentuale del sito interessata da evidente occlusione degli interstizi, escludendo le unità di pozza (*pools*). Si distinguono le seguenti classi:

- 1) *clogging* poco significativo (< 33%);
- 2) *clogging* intermedio (33-66%);
- 3) *clogging* diffuso (> 66%).

A tale valutazione si può abbinare la misura granulometrica dei sedimenti dello strato superficiale ([punto \(4.2\)](#)) che è in grado di evidenziare un eventuale incremento nel tempo delle frazioni fini della distribuzione granulometrica.

Scala spaziale

La scala spaziale del corazzamento e del *clogging* è quella del sito.

Tipologia di corso d'acqua

Tale analisi va effettuata solo per corsi d'acqua con fondo ghiaioso-ciottoloso.

(4.3) Abbondanza di materiale legnoso di grandi dimensioni

Definizione

Il materiale legnoso di grandi dimensioni (denominato anche come LW: *Large Wood*), come è noto, ha numerosi effetti sui processi fluviali, sia di tipo fisico che dal

punto di vista ecologico. Per LW sono intesi gli elementi (tronchi, rami e ceppaie) con diametro > 10 cm e lunghezza > 1 m. Gli aspetti che vengono rilevati e misurati durante studi specifici riguardo il legname nei corsi d'acqua sono numerosi: oltre alla loro presenza e dimensioni, possono essere classificati i tipi di accumuli, la posizione, i meccanismi di arresto, le interazioni con le condizioni idrodinamiche e con i sedimenti, ecc. Ai fini di questa metodologia, la **densità di LW** (D_{LW}) ($n \text{ km}^{-2}$) rappresenta il parametro più significativo, le cui variazioni nel tempo possano indicare possibili alterazioni nel corso d'acqua.

Come si misura

Le misure vengono effettuate preferibilmente sul terreno, percorrendo il sito di rilievo e conteggiando i tronchi presenti con diametro > 10 cm e lunghezza > 1 m. In particolare, è necessario effettuare i seguenti tipi di conteggi ([Figura 6.7](#)):

- **Numero singoli LW**: si contano i singoli tronchi con dimensioni al di sopra di quelle minime;
- **Numero accumuli LW**: si contano gli accumuli (agglomerati di più elementi legnosi) che presentano almeno un tronco con dimensioni al di sopra di quelle minime.
- **Numero totale LW**: quando possibile si stima il numero di tronchi all'interno degli accumuli e si somma al numero dei singoli tronchi.

Le misure possono essere limitate ai LW presenti all'interno dell'alveo. Successivamente è necessario stimare l'area dell'alveo indagata (tale misura viene effettuata normalmente in GIS o, nel caso di corsi d'acqua di piccole dimensioni, viene ricavata una stima in base al prodotto tra larghezza media dell'alveo e lunghezza del sito). I limiti di monte e di valle del sito all'interno del quale vengono effettuate le misure vanno georeferenziati e devono rimanere esattamente gli stessi anche durante le misure successive. Nei casi di alvei larghi con morfologie di tipo transizionale-a canali intrecciati, il conteggio sul terreno può essere particolarmente impegnativo, pertanto se si dispone di foto aeree a scala e risoluzione adeguate, il conteggio può essere fatto su di esse ([PECORARI et al., 2007](#)).

Attraverso la stima dell'area del sito si ricavano i seguenti parametri ([Figura 6.7](#)):

- **Densità singoli LW** (D_{SLW}) ($n \text{ km}^{-2}$): numero di singoli tronchi con dimensioni al di sopra di quelle minime diviso l'area del sito di indagine;
- **Densità accumuli LW** (D_{ALW}) ($n \text{ km}^{-2}$): numero di accumuli (agglomerati di più elementi legnosi) che presentano almeno un tronco con dimensioni al di sopra di quelle minime diviso l'area del sito di indagine.
- **Densità totale LW** (D_{LWTOT}) ($n \text{ km}^{-2}$): numero totale di tronchi (quando disponibile) diviso l'area del sito di indagine.

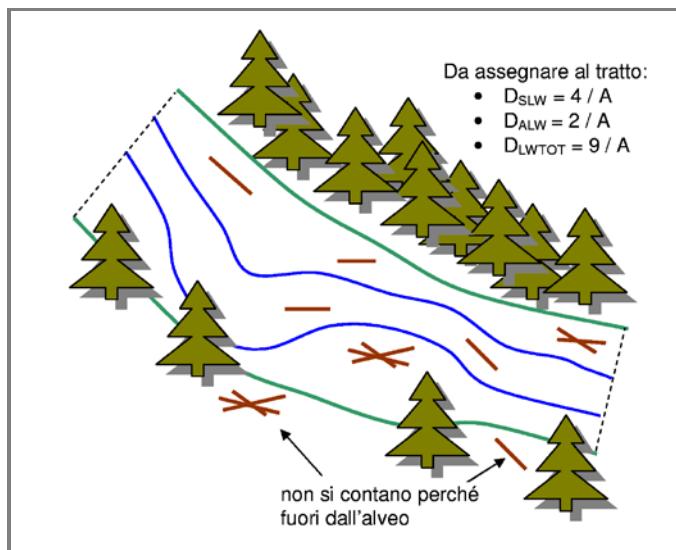


Figura 6.7 – Esempio di conteggio di LW nel sito di monitoraggio, delimitato a monte e a valle dalle linee nere tratteggiate.

La linea verde continua simboleggia il limite dell'alveo (sponde), mentre quella blu l'alveo di magra. I segmenti marroni rappresentano tronchi con dimensioni > 1 m in lunghezza e > 0.1 m in diametro (LW). Si evidenzia come gli elementi presenti nella piana inondabile non vengano considerati, mentre non si fa differenza tra quelli giacenti su barre o nel canale di magra. La superficie di alveo (A) da misurare ed utilizzare per il calcolo della densità areale di LW è quella compresa tra le linee verdi.

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del sito.

Tipologia di corso d'acqua

Tale misura va effettuata per tutti i corsi d'acqua, con modalità eventualmente differenti per alcune tipologie (transizionali e canali intrecciati).

(5) VEGETAZIONE NELLA FASCIA PERIFLUVIALE

Questa categoria comprende le caratteristiche di ampiezza ed estensione lineare della vegetazione nella fascia perifluviale, coerentemente a quanto previsto nel monitoraggio non strumentale (schede di valutazione dello stato attuale).

Per **fascia perifluviale** si intende la fascia di territorio localizzata topograficamente a lato del corso d'acqua. Essa comprende al suo interno l'ecotonio tra alveo e territorio circostante, si estende anche oltre la zona occupata dalle formazioni riparie e dove si rinvengono formazioni tipiche del territorio circostante ([SILIGARDI et al., 2007](#)).

(5.1) Aampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale

Definizione

Si valuta l'ampiezza (o in maniera equivalente l'estensione areale) della fascia di vegetazione arborea ed arbustiva, ovvero delle formazioni funzionali, includendo anche formazioni di idrofite quali cannello, in analogia al metodo IFF. Si considera quindi la seguente grandezza:

Aampiezza delle formazioni (Af): si valuta l'ampiezza complessiva media (in m) nel tratto di tutte le formazioni funzionali.

Come si misura

La valutazione dell'ampiezza viene effettuata da **immagini** telerilevate ed eseguita in ambiente **GIS** tramite la delimitazione della vegetazione arborea/arbustiva presente. L'ampiezza delle formazioni viene valutata a partire dal limite dell'alveo, quindi all'interno della piana inondabile e dei terrazzi eventualmente presenti: tale misura infatti è strettamente associata all'estensione laterale di piana inondabile (*El*), così come la continuità delle formazioni è valutata contemporaneamente alla continuità longitudinale di piana inondabile (*Cl*) ([punto \(1.2\)](#)).

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

Tali misure vengono effettuate per ogni tipologia di corso d'acqua.

(5.2) Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde

Definizione

Abbinata all'ampiezza, si considera la seguente grandezza:

Estensione lineare delle formazioni (Ef): si valuta la lunghezza (in percentuale rispetto alla lunghezza complessiva delle due sponde) della fascia di vegetazione funzionale (arborea, arbustiva ed a idrofite) lungo le due sponde all'interno del tratto.

Come si misura

La valutazione dell'estensione lineare viene effettuata da **immagini** telerilevate ed utilizzerà la stessa delimitazione in ambiente **GIS** della vegetazione arborea/arbustiva eseguita per l'ampiezza, dalla quale si determinerà la sua lunghezza a contatto con l'alveo, ovvero sulle sponde.

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

Tali misure vengono effettuate per ogni tipologia di corso d'acqua.

6.2.3 Monitoraggio degli elementi artificiali

Per quanto riguarda gli elementi artificiali, le informazioni (potenzialmente organizzate come catasto delle opere in formato digitale georeferenziato) dovrebbero essere fornite dagli enti competenti che ne rilasciano l'autorizzazione. In assenza di tali informazioni, sarà invece necessario individuare e caratterizzare le nuove opere sul terreno o, quando possibile, da immagini. La scala temporale dei rilievi è quindi variabile. In assenza di informazioni fornite dagli enti competenti, il rilievo delle nuove opere deve essere effettuato in occasione degli altri rilievi sul terreno e/o in occasione dei rilievi da telerilevamento. Per quanto riguarda la scala spaziale, essa corrisponde sempre a quella dell'intero tratto di monitoraggio. L'ubicazione e l'estensione lineare e/o areale di tutte le nuove opere ed interventi, e tutte le altre informazioni, devono essere poi riportate in ambiente **GIS** opportunamente georeferenziate e codificate.

Tabella 6.4 – Elementi artificiali da monitorare divisi per categorie.

CATEGORIE	ELEMENTI ARTIFICIALI
Continuità	<ul style="list-style-type: none"> - Dighe - Altre opere di alterazione delle portate liquide e/o solide (derivazioni, scolmatori, casse) - Opere trasversali di trattenuta o derivazione - Opere trasversali di consolidamento - Opere di attraversamento - Difese di sponda - Arginature - Variazioni di tracciato o modifica di forme fluviali nella pianura - Variazioni areali della fascia erodibile
Morfologia	<ul style="list-style-type: none"> - Difese di sponda - Variazioni di tracciato e modifica di forme fluviali nella piana alluvionale - Dighe - Opere trasversali di trattenuta o derivazione - Opere trasversali di consolidamento - Rivestimenti del fondo - Rimozione di sedimenti - Rimozione di materiale legnoso in alveo
Vegetazione nella fascia perifluviale	<ul style="list-style-type: none"> - Taglio di vegetazione nella fascia perifluviale

Gli elementi artificiali sono definiti in funzione dei cinque aspetti trattati per gli elementi naturali, secondo l'elenco riportato in [Tabella 6.4](#). Di seguito si descrivono le informazioni necessarie per ogni tipo di elemento artificiale, secondo l'ordine progressivo riportato nella tabella stessa.

- DIGHE

Si tratta delle opere di maggiore impatto sulla continuità delle portate liquide e solide. È necessario conoscerne: (1) ubicazione; (2) altezza; (3) tipologia (a gravità, ad arco, a contrafforti, in terra, ecc.); (4) anno di entrata in funzione; (5) presenza o meno di eventuali misure di passaggio dei sedimenti trasportati al fondo (sghiaiatori, ecc.); (6) presenza o meno di eventuali misure di passaggio per pesci; (7) entità delle laminazioni previste sulle portate di picco, con particolare riferimento alle $Q_{1.5}$ e Q_{10} ; (8) entità delle variazioni indotte complessive sul regime idrologico annuale, dove esistano studi in merito. Per quanto riguarda le dighe e le altre opere che possono influire sulla continuità longitudinale, è necessario estenderne il rilievo anche al tratto a monte dello stesso corso d'acqua, nonché degli affluenti inclusi nella fase di valutazione e compresi nel sottobacino sotteso dal tratto di monitoraggio.

- ALTRE OPERE DI ALTERAZIONE DELLE PORTATE LIQUIDE E/O SOLIDE (DIVERSIVI O SCOLMATORI, DERIVAZIONI, CASSE DI ESPANSIONE)

Sono opere che hanno effetti notevoli sulla continuità delle portate liquide e, in parte o indirettamente, anche su quelle solide. Rientrano in questa categoria sia i canali di diversione in uscita che in ingresso (canali che cioè convogliano portate

liquide da altri corsi d'acqua), e sia diversivi (diversione in tutte le condizioni di portata) che scolmatori (diversione solo in occasione di eventi di piena).

È necessario conoscere: (1) ubicazione; (2) anno di inizio del funzionamento; (3) presenza o meno di eventuali misure di manutenzione che prevedano interventi di rimozione o spostamento di sedimenti; (4) entità delle variazioni previste sulle portate di picco, con particolare riferimento alle $Q_{1.5}$ e Q_{10} .

Sono incluse in questo gruppo inoltre le casse di espansione. Le casse in derivazione laterale sono opere che, seppure non interrompendo la continuità dei flussi e non sottraendo volumi liquidi e solidi, vanno ad incidere sulla forma dell'idrogramma di piena inducendo effetti significativi sulle portate di picco (motivo per cui sono progettate) ed in alcuni casi sul trasporto solido. Le casse in linea hanno inoltre effetti più significativi come intercettazione del trasporto solido al fondo. È necessario conoscere per queste opere: (1) ubicazione; (2) tipologia (in derivazione laterale, in linea); (3) anno di inizio del funzionamento; (4) volumetria complessiva di invaso; (5) presenza o meno di eventuali misure di manutenzione che prevedano interventi di rimozione o spostamento di sedimenti; (6) entità delle variazioni previste sulle portate di picco, con particolare riferimento alle Q_2 e Q_{10} .

Le casse di espansione in derivazione laterale, essendo collocate nelle adiacenze dell'alveo, hanno inoltre l'effetto di sottrarre uno spazio di fascia potenzialmente erodibile, aspetto per il quale si rimanda al successivo *punto “VARIAZIONI AREALI DELLA FASCIA ERODIBILE”*.

- OPERE TRASVERSALI DI TRATTENUTA O DERIVAZIONE

Gli effetti delle briglie e delle traverse sono in genere transitori, essendo concentrati nel periodo compreso tra la loro realizzazione ed il riempimento da parte di sedimenti. Tuttavia, la loro presenza può arrecare un'alterazione permanente delle condizioni di trasporto solido a causa delle variazioni indotte sul profilo longitudinale (riduzione della pendenza a monte dell'opera). Inoltre, in alcuni casi gli interventi di manutenzione prevedono una rimozione periodica dei sedimenti accumulati a monte dell'opera.

Sono incluse le traverse di derivazione, comuni soprattutto nei corsi d'acqua di pianura, realizzate con scopi di derivazione ma che per loro dimensioni, struttura ed effetti sul trasporto al fondo sono assimilabili a briglie di trattenuta. Andrebbero inoltre incluse in questa categoria anche le casse di espansione in linea, le quali esercitano spesso un'azione di trattenuta parziale del sedimento similmente alle opere filtranti, tuttavia esse sono già trattate nella categoria precedente.

È necessario conoscere per ciascuna opera: (1) ubicazione; (2) altezza; (3) tipologia, ovvero traversa per derivazione, briglie di trattenuta a corpo pieno, briglie di trattenuta filtranti (a fessura, a finestra, a pettine, a graticcio), briglie frangicolate (vedasi [BENINI, 1990](#); [FERRO, 2006](#)); (4) materiale costruttivo (massi, muratura, calcestruzzo, cemento armato, legname); (5) anno di realizzazione; (6) eventuali misure di manutenzione che prevedano interventi di rimozione o spostamento di sedimenti; (7) volumetria della vasca di deposito eventualmente posta a monte dell'opera (8) presenza o meno di eventuali misure di passaggio per pesci.

- OPERE TRASVERSALI DI CONSOLIDAMENTO

A differenza delle opere di trattenuta, le opere trasversali di consolidamento sono eseguite non per intercettare il trasporto solido bensì per ridurne l'intensità e mitigare la capacità erosiva della corrente attraverso una diminuzione della pendenza dell'alveo. In tal caso più opere (briglie, soglie, rampe) vengono poste a gradinata.

Inoltre, per opere di consolidamento si intendono anche singole soglie, ovvero le opere trasversali di consolidamento di altezza contenuta (< 1÷2 m, [BENINI 1990](#)), comprese le rampe in massi.

È necessario conoscere per ciascuna opera: (1) ubicazione; (2) altezza; (3) tipologia, ovvero briglia, soglia, rampa in massi; (4) materiale costruttivo (massi, muratura, calcestruzzo, cemento armato, legname, mista); (5) anno di realizzazione; (6) eventuali misure di manutenzione che prevedano interventi di rimozione o spostamento di sedimenti; (7) presenza o meno di eventuali misure di passaggio per pesci.

- OPERE DI ATTRAVERSAMENTO

Comprendono i ponti, i guadi e le tombinature. Per quanto riguarda i guadi, vengono qui considerati solo quelli con strutture di attraversamento (non si considerano cioè strade sterrate che attraversano il corso d'acqua). È necessario conoscere per ciascuna opera: (1) ubicazione; (2) tipologia (ponte, guado, tombino); (3) materiale costruttivo (massi, muratura, calcestruzzo, cemento armato, legname, mista); (4) numero di pile (nel caso di ponte); (5) anno di realizzazione. Nel caso in cui al ponte sia abbinata un'opera di consolidamento al fondo, quest'ultima va trattata separatamente nella categoria precedente.

- DIFESA DI SPONDA

Comprendono sia le opere di tipo longitudinale che i pennelli. È necessario conoscerne: (1) ubicazione; (2) tipologia (muri in calcestruzzo o pietrame, scogliera in massi, gabbioni, pennelli, Ingegneria Naturalistica, ecc., specificando l'eventuale presenza di rinverdimento); (3) dimensioni (lunghezza lineare, altezza); (4) anno di realizzazione. Nel caso dei pennelli, è utile aggiungere le seguenti informazioni: (5) disposizione planimetrica (normali alla corrente, verso monte/valle); (6) tipologia forma (asta semplice, a hockey, a baionetta) (si veda [DA DEPPO et al., 2004](#)).

- ARGINATURE

È necessario determinare: (1) ubicazione (inclusa distanza dall'alveo); (2) tipologia (rilevati in terra, mura arginali, ecc.); (3) dimensioni (lunghezza e altezza); (4) anno di realizzazione. Sono da includere in questa categoria anche le eventuali modifiche di altezza (sovralzi) di argini già esistenti.

- VARIAZIONI DI TRACCIATO O MODIFICA DI FORME FLUVIALI NELLA PIANURA

Per quanto riguarda le variazioni di tracciato, esse comprendono i tagli di meandro o altre modifiche artificiali dell'andamento planimetrico del corso d'acqua. È necessario conoscerne: (1) ubicazione; (2) descrizione del tipo di variazione; (3) variazioni di lunghezza del corso d'acqua (lunghezza del tratto precedente e successivo all'intervento); (4) anno di realizzazione.

Va inoltre rilevata la presenza di forme fluviali relitte, precedentemente (o anche attualmente) connesse dal punto di vista idraulico e/o geomorfologico all'alveo (con particolare riferimento a laghi in corrispondenza di rami abbandonati, o anche canali secondari inattivi non occupati da acqua, aree stagnanti, ecc.) e che potenzialmente potrebbero essere riconnesse. È necessario conoscere l'eventuale realizzazione di interventi atti ad eliminare, ridurre o modificare morfologicamente tali forme compromettendone la connettività, attuale o potenziale, con il corso d'acqua. Pertanto è richiesta la conoscenza di: (1) ubicazione; (2) tipologia di intervento; (3) riduzione areale della forma fluviale; (4) anno di intervento.

- VARIAZIONI AREALI DELLA FASCIA ERODIBILE

Vengono considerati gli elementi antropici realizzati all'interno della fascia di mobilità funzionale o fascia erodibile, definibile come lo spazio disponibile per le migrazioni laterali dell'alveo che il corso d'acqua può potenzialmente rioccupare, riconosciuto sulla base della dinamica passata e futura (potenziale) ([MALAVOI et al., 1998](#); [PIÉGAY et al., 2005](#)) (si veda [CAPITOLO 4](#)). Qualora non precedentemente determinata sulla base di analisi GIS delle variazioni di tracciato passate, tale fascia può essere preliminarmente identificata almeno con: (1) la larghezza dell'alveo del 1954 – '55 (rilevabile in base al volo IGM GAI) nel caso (come spesso accade) in cui l'alveo attuale è contenuto all'interno di quello del 1954 – '55; oppure (2) l'inviluppo esterno tra limiti dell'alveo del 1954 – '55 e limiti dell'alveo attuale, nel caso in cui quest'ultimo abbia subito degli spostamenti laterali e non è contenuto nell'alveo del 1954 – '55. Per tale aspetto è necessario conoscere l'ubicazione e l'estensione areale dei nuovi elementi insediativi, infrastrutturali (nuove vie di comunicazione) o altre opere idrauliche (es. casse in derivazione laterale), le quali necessitano di essere riportate e/o delimitate in ambiente GIS. Sono da includere in questa categoria anche le aree e gli impianti di coltivazione di inerti (cave) nella fascia erodibile. Sulla base di questi elementi, viene calcolata la variazione (in %) dell'area della fascia erodibile. Si noti che, in particolare nel caso di elementi lineari (p.e., vie di comunicazione), per il calcolo della variazione di area va considerata non solo la superficie del nuovo elemento artificiale, ma tutta la superficie retrostante (lato opposto a quello verso il fiume) che eventualmente perde possibilità di connessione morfologica con il corso d'acqua (ad esempio perché tagliata da una via di comunicazione).

- RIVESTIMENTI DEL FONDO

Comprendono tutti quegli interventi che inducono una modificazione del substrato e della struttura del fondo, determinando effetti significativi, oltre che sui processi naturali di trasporto solido al fondo, anche sulla continuità verticale (scambi tra acque superficiali e zona iporreica). Sono inclusi in questa categoria i cunettoni (in massi legati o in cemento armato), i rivestimenti d'alveo con materiale sciolto di pezzatura grossolana.

È necessario determinare: (1) ubicazione; (2) tipologia (cunettone, rivestimento con massi, ecc.); (3) lunghezza del tratto interessato; (4) anno dell'intervento.

- INTERVENTI DI RIMOZIONE DI SEDIMENTI E/O RICALIBRATURA DELL'ALVEO

Si tratta di interventi che possono modificare la geometria della sezione e/o le quote del fondo, determinare una riduzione di volumi di sedimenti per il trasporto solido, e possono inoltre provocare significative modifiche e rimaneggiamenti della tessitura e della struttura dei sedimenti del fondo (rimozione dello strato superficiale, dilavamento del materiale fine, ecc.). È necessario determinare: (1) ubicazione; (2) tipologia (rimozione di sedimenti, modellamento del fondo, riprofilatura delle sponde, ecc.); (3) dimensioni: lunghezza del tratto interessato e variazioni di quota del fondo (a tal fine si rimanda al rilievo delle sezioni e della quota del fondo, [punti \(3.1\)](#) e [\(3.4\)](#) del [paragrafo 6.2.2](#)); (4) volume di sedimenti rimossi; (5) anno dell'intervento.

- INTERVENTI DI RIMOZIONE DEL MATERIALE LEGNOSO IN ALVEO

È necessario conoscere l'eventuale realizzazione di interventi di rimozione del materiale legnoso di grandi dimensioni che può avvenire periodicamente o a seguito di piene significative. In questi casi è sufficiente conoscere: (1) ubicazione e lunghezza del tratto interessato da rimozione; (2) eventuale stima del volume o massa

asportata; (3) anno dell'intervento. Tali informazioni sono importanti in sede di interpretazione delle modifiche dell'abbondanza di legname nel tratto, per le quali si rimanda al [punto \(4.3\)](#) del paragrafo precedente.

- TAGLIO DI VEGETAZIONE NELLA FASCIA PERIFLUVIALE

Le alterazioni si configurano come: (1) semplificazione delle formazioni presenti con riduzione o scomparsa delle formazioni riparie; (2) riduzione della presenza di specie riparie presenti e comunque delle specie a maggiore coerenza ecologica; (3) riduzione dell'estensione delle formazioni riparie e delle formazioni funzionali; (4) riduzione della continuità delle formazioni riparie e delle formazioni funzionali. Tali alterazioni possono derivare da: estensione dei coltivi, taglio della vegetazione, incremento dell'impatto da antropizzazione delle fasce perifluiviali (ad esempio ingresso o incremento della presenza di specie esotiche).

Il complesso delle alterazioni viene comunque rilevato ai [punti \(5.1\)](#) e [\(5.2\)](#) (si veda precedente [paragrafo 6.2.2](#)), mentre qui si fa riferimento specificamente agli interventi antropici all'origine dell'alterazione. Gli interventi di artificializzazione hanno maggiore impatto quanto più sono posti in vicinanza del corso d'acqua. In particolare, nel caso di rimozione della vegetazione presente in fascia perifluivale, i dati da reperire sono: (1) ubicazione; (2) estensione; (3) data dell'intervento.

6.2.4 Schede di monitoraggio e valutazione post-monitoraggio

Si riportano di seguito le **schede** utili per la raccolta dei dati richiesti dal monitoraggio strumentale.

Una volta effettuato il monitoraggio è possibile definire una **valutazione post-monitoraggio** (per la quale si rimanda a sviluppi successivi). La scala spaziale di tale valutazione è quella del tratto, mentre la scala temporale è dell'ordine degli anni (distanza temporale rispetto al precedente rilievo), ed è quindi in grado di fornire indicazioni riguardo alle tendenze evolutive attuali ed all'eventuale grado di recupero (o peggioramento) morfologico.

6.3 Ulteriori elementi per l'analisi ed il monitoraggio

6.3.1 Portate solide

Nell'elenco dei parametri da monitorare precedente ([paragrafo 6.2](#)) non rientra il trasporto solido (con particolare riferimento a quello al fondo), nonostante sia ampiamente riconosciuta la sua importanza per una piena comprensione dei processi di dinamica fluviale, in quanto la misura del trasporto al fondo è molto onerosa e richiede tempi sufficientemente lunghi. Tuttavia, va incoraggiata ogni possibilità di includere la misura del trasporto solido nel programma di monitoraggio, anche cercando sinergie con altri programmi di ricerca condotti parallelamente per altri scopi.

La misura del trasporto solido potrebbe essere realizzata non tanto nell'ottica di valutare uno scostamento rispetto ad uno stato di riferimento, problema non risolvibile per l'impossibilità pratica di definire quest'ultimo, quanto piuttosto in un'ottica di monitoraggio strumentale (operativo o investigativo) in corrispondenza di tratti a rischio o per investigare particolari problemi e monitorare gli effetti di particolari impatti.

Il numero di siti di possibile monitoraggio va ovviamente limitato, ma potrebbe essere sufficiente un punto di monitoraggio all'interno di un bacino (esclusi bacini di

grandi dimensioni nei quali ne sarebbe necessario un numero più elevato) in corrispondenza o in prossimità di una stazione idrometrica delle portate.

6.3.2 *Uso del suolo*

Un secondo elemento apparentemente trascurato tra gli elementi da monitorare è l'uso del suolo. Anche in questo caso il motivo è principalmente legato al notevole impegno richiesto per misurare eventuali variazioni di uso del suolo soprattutto quando si opera a scala di bacino. È ovvio che le variazioni di uso del suolo possono avere effetti importanti sia sulle portate solide che su quelle liquide, seppure la scala temporale nell'arco della quale si manifestano impatti significativi può essere piuttosto ampia.

La considerazione precedente si può estendere anche a questo aspetto: sono da prevedere, quando possibile, nuovi rilievi (idealmente, almeno una volta ogni 10 anni circa) tali da poter aggiornare l'uso del suolo e monitorare le variazioni in corso.

APPENDICE 1

GUIDA ALLE RISPOSTE

GUIDA ALLE RISPOSTE

Le **schede di valutazione**, utilizzate a supporto della classificazione dello stato morfologico attuale, sono articolate in 3 sezioni corrispondenti alle 3 fasi di analisi della funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche, più una sezione “introduttiva”. Le schede contengono una serie di indicatori, alcuni dei quali, nell’ambito di funzionalità e artificialità, sono differenziati in base alle due diverse tipologie fluviali: confinati (C) e semiconfinati/non confinati (SC/NC). A ciascuna delle due tipologie fluviali corrisponde, quindi, una differente scheda di valutazione.

Si riporta di seguito una descrizione dettagliata di ogni indicatore ed una versione estesa delle risposte (rispetto a quanto riportato in forma sintetica sulle schede). Per ogni indicatore si forniscono inoltre indicazioni su:

- scala spaziale (longitudinale e laterale);
- tipo di misura (terreno o immagini telerilevate);
- tipologia (confinato o semi- non confinato);
- campi di applicazione (nel caso l’indicatore debba essere applicato solo in determinati casi).

Per quanto riguarda la **scala spaziale**, si possono fornire le seguenti indicazioni generali. Nel caso di indicatori osservati o misurati da immagini telerilevate, la scala spaziale longitudinale è di norma l’intero tratto (indicato di seguito come *Tratto*). Nel caso di indicatori morfologici osservati/misurati sul terreno, il sito (scelto con criteri di rappresentatività del tratto relativamente a più aspetti possibili) è l’unità spaziale di riferimento (indicato di seguito come *Sito*). Tuttavia per alcuni indicatori per i quali è richiesta la definizione dell’estensione/continuità nel tratto (ad esempio la piana inondabile o la vegetazione della fascia perifluviale) è necessario estendere il più possibile le informazioni del *Sito* al *Tratto* con l’ausilio, quando possibile, di immagini telerilevate ed attraverso ricognizioni sul terreno più speditive in altri punti del *Tratto* (indicato di seguito come *Sito/Tratto*). Per quanto riguarda gli elementi di artificialità, è necessario conoscere le opere/interventi relativamente a tutto il *Tratto*. In caso di mancata disponibilità di tali informazioni da parte degli enti preposti, sono necessari controlli sul terreno: se il censimento delle opere esistenti si limita ad una parte del *Tratto*, la valutazione finale è valida a rigore solo per quella porzione del *Tratto*. Infine, la scala spaziale laterale indica l’estensione laterale entro la quale vanno condotte le osservazioni (alveo, piana inondabile, ecc.).

GENERALITÀ E SUDDIVISIONE INIZIALE

La scheda è caratterizzata da una prima sezione “introduttiva” a sua volta suddivisa in due parti: “GENERALITÀ” e “INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE INIZIALE”. Nella prima parte (GENERALITÀ) deve essere inserita una serie di informazioni generali quali:

- la **data** del rilevamento sul terreno (seppure la compilazione dell’intera scheda richieda una fase preparatoria ed una fase successiva di perfezionamento e/o completamento delle misure);
- i nomi degli **operatori** partecipanti al rilievo;
- il nome del **bacino** idrografico, di cui il corso d’acqua oggetto del rilievo fa parte, ed il nome del **corso d’acqua** stesso;
- le due **estremità** che delimitano il tratto (ad es., nome affluente, opera o località e/o le coordinate planimetriche
- i codici utilizzati per definire il **segmento** di appartenenza ed il **tratto** nonché la **lunghezza** di quest’ultimo (definiti durante la fase di inquadramento e suddivisione in tratti).

La seconda parte della sezione introduttiva contiene tutte le informazioni e le misure effettuate nella fase di inquadramento e suddivisione iniziale, finalizzate alla definizione del tratto. Come è noto (si veda Manuale [CAPITOLO 4](#)), la definizione dei tratti si basa su 4 STEP. Il [primo STEP](#) è rappresentato dall’**inquadramento fisiografico**, attraverso il quale si definisce l’ambito fisiografico (solo per i semi-non confinati, in quanto nel caso dei confinati l’ambito è necessariamente collinare-montano) e l’unità fisiografica (es. area montuosa alpina, bassa pianura, ecc.). Il [secondo STEP](#) è rappresentato dalla definizione del **confinamento**. Si riportano quindi i valori del grado e dell’indice di confinamento che sono serviti per l’attribuzione alla classe di confinamento. Da notare che si lascia all’operatore la scelta di riportare solo la classe di appartenenza del grado e dell’indice di confinamento (es. > 90%, 10÷90% o < 10% per il grado di confinamento) oppure (quando possibile) di specificare il valore dei due indici. Questo vale anche per gli indici utilizzati successivamente per la definizione della morfologia (indici di

sinuosità, intrecciamiento, anastomizzazione). Ciò in quanto in molti casi la misura precisa di questi indici non è determinante ma è sufficiente il campo di variazione che, molto spesso, è deducibile con facilità o per esclusione (ad esempio nel caso di un fiume a canale singolo con situazioni localizzate di intrecciamiento non è necessario misurarne l'indice in maniera sistematica in quanto è evidente che l'alveo non appartiene alla classe a canali intrecciati).

Il terzo STEP è rappresentato dalla definizione della **morfologia dell'alveo**. Si specifica innanzitutto l'immagine utilizzata per la classificazione morfologica e per tutte le osservazioni e misure successive (es. Ortofoto Regione Liguria 2007). La procedura di classificazione morfologica si diversifica a seconda che si tratti di un alveo confinato o semi- non confinato. In molti casi (escluso per alvei a canali multipli) è richiesta anche la configurazione del fondo, osservabile sul terreno (sono possibili in uno stesso tratto più configurazioni del fondo). Successivamente sono richiesti due parametri aggiuntivi, la pendenza media del fondo e la larghezza, non strettamente richiesti per la classificazione morfologica ma importanti per una caratterizzazione di base del tratto e richiamati successivamente nella scheda. In particolare, la larghezza media nel tratto dell'alveo è importante per la distinzione tra piccoli e grandi (anche se per quest'ultima, come spiegato a proposito delle variazioni, è necessario esaminare anche le foto aeree degli anni '50). Inoltre vari indicatori sono espressi in funzione della larghezza per la definizione di valori di soglia tra varie classi (es. larghezza piana inondabile, ampiezza vegetazione perifluviale, distanza argini, ecc.). Infine si indica il tipo di sedimenti dominanti presenti nella porzione più attiva dell'alveo (canale e barre) ai fini di una più completa caratterizzazione della tipologia d'alveo (Argilla: < 0.002 mm; Limo: $0.002 \div 0.0625$ mm; Sabbia: $0.0625 \div 2$ mm; Ghiaia: $2 \div 64$ mm; Ciottoli: $64 \div 256$ mm; Massi: > 256 mm). Nel caso di sedimenti eterogenei, è possibile indicare più di una classe: in tal caso la prima sigla si riferisce alla dimensione dominante (ad esempio si riporta GS per indicare la presenza di ghiaia sabbiosa).

Per quanto riguarda il quarto STEP, si richiede in questo caso di indicare eventuali **elementi aggiuntivi utilizzati per la delimitazione del tratto** (ad es., presenza di una diga o discontinuità di pendenza, ecc.). Si possono specificare anche diversi elementi per la delimitazione rispetto al tratto di monte ed a quello di valle. Infine, nell'ultima parte è possibile riportare alcuni **dati o informazioni eventualmente disponibili** che possono essere utili per la caratterizzazione del tratto e l'interpretazione dei risultati. Viene richiesto il diametro mediano dei sedimenti, nel caso in cui fossero state eseguite misure granulometriche nel tratto o qualora si ritenesse opportuno effettuarla nell'ambito di tale rilievo (si ricorda che tale misura, seppure utile, non è indispensabile per la valutazione, mentre è richiesta nella fase di monitoraggio strumentale, per la quale si rimanda al CAPITOLO 6). Se esiste una stazione idrometrica nel tratto si richiedono la portata media annua e la portata con tempo di ritorno di 1.5 anni. In caso non esista una stazione di misura si possono eventualmente riportare delle stime, qualora disponibili. È possibile infine riportare (quando note) le portate massime più significative durante il periodo di registrazione. In particolar modo, è opportuno sapere se recentemente (ultimi 10 anni circa) si sia verificato lungo il corso d'acqua o tratto di studio un evento di piena di una certa intensità (significativamente al di sopra delle condizioni formative), in modo tale da tener presente che alcune evidenze potrebbero essere condizionate da tale evento.

FUNZIONALITÀ

CONTINUITÀ

F1: Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso

DESCRIZIONE

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.).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Sito/Tratto	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Rilievo sul terreno e immagini telerilevate	

Attraverso tale indicatore si valutano gli effetti (impatti) di eventuali opere presenti, e non la loro presenza (ciò viene valutato nell'artificialità). La valutazione non dipende dal numero di alterazioni presenti: può essere presente un'unica opera che induce un'alterazione significativa nel flusso longitudinale verso il tratto a valle, o viceversa possono essere presenti numerose opere ma che non inducono significativi disturbi.

Le opere che possono avere maggiori effetti sulla continuità longitudinale del flusso di sedimenti e di materiale legnoso sono le opere trasversali, quali briglie e dighe. Nel caso di presenza di un'opera trasversale all'estremità a monte del tratto, questa convenzionalmente viene assegnata al tratto a monte (si vedano gli indicatori di artificialità), ma i relativi effetti sulla continuità longitudinale vengono attribuiti al tratto a valle. Attraverso questo indicatore si valuta la continuità longitudinale nel tratto, compreso quindi il caso di un'alterazione dovuta ad un'opera posta all'estremità a monte ed escludendo invece il caso di un'opera posta all'estremità a valle (i cui effetti vengono valutati per il tratto immediatamente a valle). Altre opere che possono avere effetti sulla continuità longitudinale sono le opere di attraversamento (ponti, guadi) nonché, in alcuni casi, i pennelli. Questi ultimi possono infatti alterare le normali condizioni di flusso di sedimenti attraverso un restrinzione della sezione.

La valutazione viene fatta in primo luogo sulla base di **immagini telerilevate**, dalle quali è possibile verificare con immediatezza se le eventuali opere presenti inducono una chiara differenziazione nella presenza ed estensione delle forme deposizionali a monte ed a valle. Nella fase di rilevamento sul **terreno** è opportuno un sopralluogo sui punti di possibile discontinuità (almeno quelli principali e quelli presenti nel sito di controllo) per accettare meglio gli impatti (ad esempio osservare se dall'opera non transitano tronchi o sedimenti a partire da una certa dimensione, ecc.).

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
A	Assenza o presenza molto trascurabile di alterazioni della continuità di flusso di sedimenti e materiale legnoso, ovvero non sono presenti significativi ostacoli o intercettazioni al libero passaggio di materiale solido legati ad opere trasversali e/o di attraversamento (es. ponte senza pile o con ampie luci, ecc.).
B	Lieve alterazione della continuità di flusso di sedimenti e materiale legnoso, ovvero la maggior parte del materiale solido riesce a transitare lungo il tratto. Possono esistere forme deposizionali che indicano la deposizione di parte (frazione più grossolana) del trasporto solido al fondo da parte di opere trasversali, di attraversamento e/o pennelli, ma senza completa intercettazione (es. in presenza di ponti con luci strette e pile, gradinata di briglie di consolidamento in ambito montano); il materiale legnoso di dimensioni maggiori viene trattenuto da pile di ponti e/o opere filtranti.
C	Forte alterazione della continuità di flusso di sedimenti e materiale legnoso, ovvero esiste una forte discontinuità di forme (sedimenti) a monte ed a valle di una o più opere in quanto il trasporto di fondo e/o di materiale legnoso è fortemente intercettato (es. in presenza di briglie o traverse di derivazione non colmate in ambito di pianura, o briglie di trattenuta non colmate in ambito montano).

F2: Presenza di piana inondabile

DESCRIZIONE

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'espandersi 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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Sito/Tratto	LATERALE: Pianura alluvionale
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate e rilievo sul terreno	

Essendo la piana inondabile un elemento morfologico tipico degli alvei alluvionali semi- e non confinati, tale indicatore non viene adottato per i corsi d'acqua confinati. Ciò non esclude la presenza di porzioni di piana inondabile per i corsi d'acqua confinati che abbiano un indice di confinamento superiore ad 1, tuttavia essa risulterebbe di difficile riconoscimento e poco significativa ai fini di questo aspetto funzionale. Inoltre, tale indicatore non si applica al caso di alvei in ambito montano lungo conoidi (quindi tratti non confinati) a forte pendenza ($> 3\%$), dove la piana inondabile anche in condizioni naturali presenta caratteristiche alquanto peculiari e di difficile interpretazione.

DEFINIZIONE GEOMORFOLOGICA DI PIANA INONDABILE ED EVIDENZE SUL TERRENO

Si riportano di seguito le definizioni e la descrizione dei criteri di riconoscimento della piana inondabile (rimandando ai [CAPITOLO 4](#) e [CAPITOLO 6](#) per ulteriori dettagli).

La *definizione geomorfologica* di **piana inondabile in s.s.** (o attiva o moderna) è quella di una superficie deposizionale, costruita dal corso d'acqua nelle attuali condizioni idrologico-climatiche a seguito soprattutto dei suoi spostamenti laterali, e soggetta ad inondazione per tempi di ritorno mediamente compresi tra 1 e 3 anni (ovvero a partire dalle **portate formative**: si veda l'indicatore *A1*).

Il **riconoscimento sul terreno** della piana inondabile in s.s. si basa su varie **evidenze** (le stesse utilizzate abitualmente per riconoscere il livello di alveo pieno: si veda [CAPITOLO 6](#) per maggiori dettagli), vale a dire: (1) continuità morfologico-topografica con le superfici di deposizione (barre) in alveo; (2) copertura di materiale fine di esondazione; (3) copertura totale o quasi di vegetazione, con presenza significativa di vegetazione arborea; (4) evidenze di frequenti inondazioni (soprattutto materiale legnoso che marca il livello raggiunto da recenti piene). Si ricorda che non sempre tali evidenze sono tutte presenti contemporaneamente. Per esempio, si possono avere casi di terreni coltivati a ridosso dell'alveo privi di vegetazione riparia che possono costituire una piana inondabile qualora l'alveo non sia inciso; viceversa si possono avere superfici vegetate corrispondenti a terrazzi.

RAPPORTI CON ALTRE SUPERFICI

Si richiama qui il fatto che la pianura inondabile in s.s. non coincide con la **pianura alluvionale** (utilizzata per la definizione del confinamento: si veda [CAPITOLO 4](#)) ma, in genere, ne costituisce solo una porzione più a ridosso dell'alveo. Ciò vale in particolar modo quando l'alveo ha subito un abbassamento della quota del fondo negli ultimi 100-150 anni (situazione molto frequente per i corsi d'acqua italiani), nel qual caso la piana inondabile, se presente, si identifica esclusivamente con quelle superfici di neoformazione costruite successivamente alla fase di incisione.

Le porzioni di pianura alluvionale non corrispondenti alla piana inondabile attuale spesso vanno ad identificarsi con dei **terrazzi recenti**, che rappresentano la piana inondabile pre-incisione. Il termine di terrazzo recente, tuttavia, non si limita solo al caso di una precedente piana inondabile, ma può essere esteso anche a porzioni dell'alveo pre-incisione (barre e/o canali) rimaste sospese a seguito dell'abbassamento del fondo.

Nei casi in cui l'**incisione** sia stata **limitata** (dell'ordine di 1 m circa), le porzioni di alveo abbandonate e leggermente terrazzate risultano spesso soggette ad inondazioni con tempi di ritorno del tutto simili (o appena superiori) a quelli che caratterizzano le piane inondabili in s.s. Tali superfici sono pertanto **assimilabili idrologicamente ad una piana inondabile**. Data anche la difficoltà pratica di distinzione tra piana inondabile in s.s. e queste superfici leggermente terrazzate, ai fini dell'indicatore *F2* esse sono considerate come piana inondabile.

METODI PER LA DELIMITAZIONE DELLA PIANA INONDABILE E LA MISURA DI CONTINUITÀ ED AMPIEZZA

L'individuazione della piana inondabile avviene attraverso l'osservazione da **immagini telerilevate** e soprattutto il rilievo **sul terreno**, quest'ultimo fondamentale per il riconoscimento delle evidenze tipiche di tale superficie. Si possono utilizzare, in alcuni casi, altri dati e metodi ad integrazione dei precedenti: (a) **fotointerpretazione** e/o **DEM**, solo se ad alta risoluzione, che possono permettere il riconoscimento di dislivelli e quindi la delimitazione della superficie; (b) **modellazioni idrauliche**: i risultati delle modellazioni, impiegate normalmente per la zonazione delle aree inondabili, possono essere utili a supporto dei metodi precedenti, ma solo se relative ai tempi di ritorno bassi che caratterizzano la piana inondabile o le superfici terrazzate idrologicamente assimilabili ad una piana

inondabile (1÷5 anni). Relativamente alla frequenza di inondazione, possono essere utili anche le testimonianze di residenti.

Le classi di questo indicatore sono definite sulla base di due parametri riguardanti la presenza e l'estensione della piana inondabile: la **continuità** e l'**ampiezza**.

Per la **continuità**, si valuta la percentuale di lunghezza del tratto in cui sia presente piana inondabile (è sufficiente la presenza anche da un solo lato). Per quanto riguarda l'**ampiezza**, essa va intesa come larghezza complessiva (somma sui due lati). Si noti che nel computo dell'ampiezza vanno incluse le **isole** presenti in alveo. Non vanno tuttavia considerate eventuali **isole terrazzate**, ossia sopraelevate rispetto al livello di piana inondabile attuale (si vedano a riguardo le considerazioni fatte in [RAPPORTI CON LE ALTRE SUPERFICI](#)). Per l'attribuzione alla classe A, l'ampiezza deve essere almeno pari ad nLa , dove La è la larghezza dell'alveo, mentre $n = 2$ per alvei a canale singolo (compresi i sinuosi a barre alternate) ed $n = 1$ per alvei a canali intrecciati o *wandering*. Il valore più basso di n nel caso di canali intrecciati o *wandering* tiene conto allo stesso tempo di una loro mobilità laterale ridotta in genere ad una fascia più ristretta e di larghezze dell'alveo relativamente maggiori rispetto ai corsi d'acqua a canale singolo. Nel caso di alvei **semiconfinati** per i quali la piana inondabile occupa tutto lo spazio disponibile (ovvero tutta la pianura corrisponde a una piana inondabile), il tratto si attribuisce alla classe A anche se la larghezza della pianura è inferiore ad nLa .

Le **misure in GIS** per l'attribuzione alle classi possono essere effettuate in due modalità: (1) per sezioni rappresentative ortogonali all'alveo e ricavando un valore medio nel tratto; (2) calcolando il rapporto “area piana inondabile/area alveo”. Laddove la delimitazione da immagini della piana inondabile risulti particolarmente incerta, una **valutazione speditiva sul terreno** può essere effettuata misurando l'ampiezza su alcuni transetti rappresentativi (piuttosto che effettuarne una delimitazione areale continua).

INTERAZIONI CON ALTRI INDICATORI

Come già evidenziato in precedenza, l'indicatore *F2* presenta numerose interazioni con altri aspetti, in particolare con: (1) vegetazione nella fascia perifluviale (indicatori *F12* ed *F13*); (2) arginature (indicatore *A7*); (3) variazioni di larghezza (indicatore *V2*); (4) variazioni di quota del fondo (indicatore *V3*). Pertanto, la scelta della risposta, e quindi della classe, per l'indicatore *F2* deve essere fatta in maniera integrata e coerente con questi altri indicatori; ciò consentirà anche di procedere in maniera mirata durante la fase di rilevamento sul terreno. Si rimarcano di seguito gli aspetti relativi agli altri indicatori (in ordine progressivo) che maggiormente interagiscono con l'identificazione della piana inondabile.

- (1) **Vegetazione perifluviale.** La fascia di vegetazione perifluviale delimitata attraverso gli indicatori *F12* ed *F13* potrebbe identificarsi con la piana inondabile o contenerla. Infatti tale fascia è in genere ad un livello altimetrico inferiore rispetto ai campi destinati ad uso agricolo. Tuttavia questa superficie vegetata può anche essere in tutto o in parte terrazzata, pertanto la sua attribuzione o meno a piana inondabile richiede il riconoscimento sul terreno delle evidenze tipiche di quest'ultima. Differentemente, i campi ad uso agricolo adiacenti all'alveo raramente sono attribuibili a piana inondabile: ciò è possibile solo nel caso di corsi d'acqua che hanno subito incisione nulla o limitata (si veda di seguito).
- (2) **Arginature.** La presenza di argini (indicatore *A7*) automaticamente esclude le superfici al loro esterno dalla possibilità di costituire piana inondabile (in quanto disconnesse artificialmente). Nel caso quindi di argini a contatto, si esclude automaticamente la presenza di piana inondabile, mentre nel caso di argini vicini o distanti, è necessario verificare se la porzione compresa tra argini ed alveo (cosiddetta “zona goleale”) possa essere definita piana inondabile o terrazzo. In tutti i casi, si può automaticamente escludere che l'ampiezza di piana inondabile possa essere maggiore della distanza tra alveo ed argini.
- (3) **Variazioni di larghezza.** L'indicatore *V2* fornisce, in alcuni casi, delle informazioni indirette che possono essere utili per l'individuazione e delimitazione della piana inondabile. Infatti, nei casi in cui l'alveo attuale si sia ristretto, la delimitazione dell'alveo sulle foto aeree del 1954 – '55, integrata con la conoscenza delle variazioni di quota del fondo, può facilitare il riconoscimento delle porzioni di alveo 1954 – '55 abbandonate. Ad esempio, se l'incisione successiva al 1954 è stata limitata (es. < 1 m), tali porzioni potrebbero essere assimilabili idrologicamente ad una piana inondabile.
- (4) **Incisione del fondo.** Un corso d'acqua può perdere la sua connessione idraulica laterale con la piana inondabile, oltre che per la presenza di argini, per incisione del fondo. Il corso d'acqua stesso potrebbe però aver costruito una nuova piana inondabile (ad un livello più basso) a seguito di movimenti laterali successivi all'ultima fase di incisione. Pertanto non è possibile automaticamente associare l'esistenza di incisione del fondo all'assenza di piana inondabile.

Tuttavia, incrociando tale informazione con quella relativa alla vegetazione perifluviale, si può affermare che se il **corso d'acqua** è **inciso** ed esiste una fascia di vegetazione perifluviale tra l'alveo ed i campi a destinazione agricola, quasi certamente questi ultimi sono assimilabili a terrazzi. In tal caso l'ampiezza della piana inondabile può al più coincidere con quella della fascia di vegetazione perifluviale (ma in tal caso occorre verificare se quest'ultima corrisponde del tutto o solo in parte a piana inondabile). Nel caso di **incisione limitata** (< 1 m), le porzioni di alveo del 1954 - '55 abbandonate potrebbero essere assimilabili idrologicamente ad una piana inondabile se sono soggette ad inondazione per tempi di ritorno di 1-3 anni (o di poco superiori). Viceversa, nel caso di **assenza di incisione**, la piana alluvionale è identificabile con la piana inondabile (almeno fino a dove non esistono dei dislivelli con eventuali terrazzi meno recenti). In tal caso, tale superficie può anche essere priva di vegetazione perifluviale e coincidere con campi a destinazione agricola.

PROCEDIMENTO GUIDATA PER LA DEFINIZIONE DELLA CLASSE

In [Figura 1](#) si riporta uno schema logico per procedere in maniera mirata durante la fase di rilievo sul terreno e/o durante le fasi di analisi GIS, sintetizzando le situazioni precedentemente descritte. In molti casi, le osservazioni sul terreno e le misure di continuità ed ampiezza della piana inondabile permettono di decidere tra due possibili scelte. Lo schema fa inizialmente riferimento al caso di assenza di argini. In caso contrario, la piana inondabile si estende al massimo entro la fascia arginata, nel qual caso la classe dipende anche dalla distanza degli argini dall'alveo.

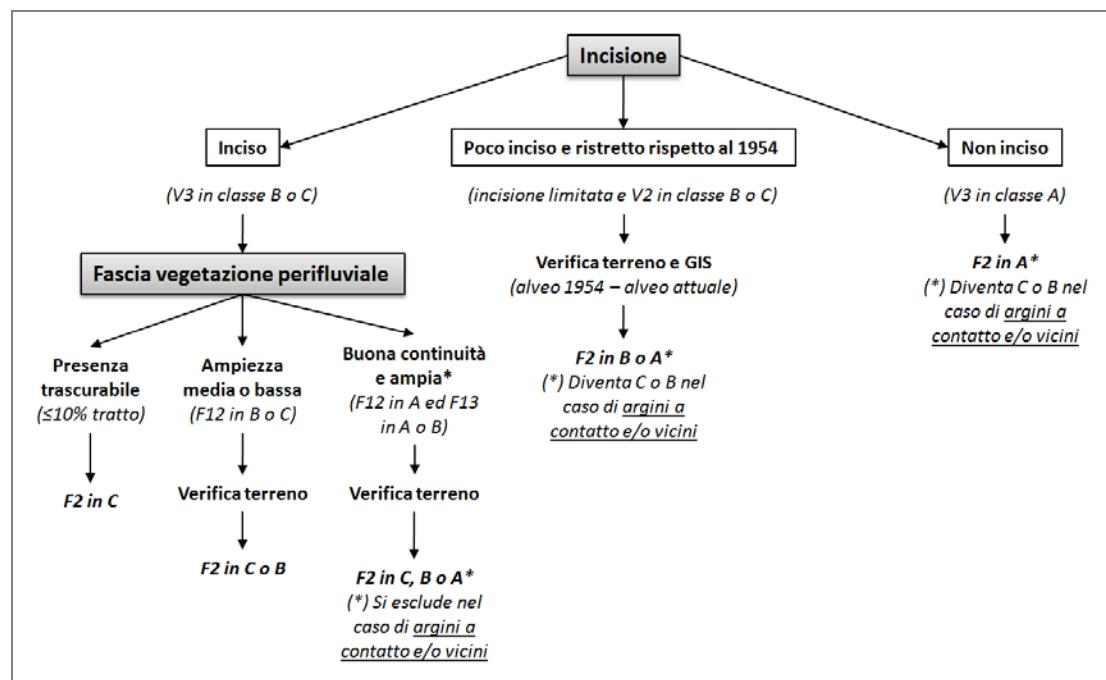


Figura 1 – Diagramma schematico delle interazioni tra indicatori a supporto della classificazione di F2.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
CAMPPI DI APPLICAZIONE	NON SI VALUTA NEL CASO DI ALVEI IN AMBITO MONTANO LUNGO CONOIDI A FORTE PENDENZA (> 3%)
A	Presenza di piana inondabile con buona continuità (> 66% della lunghezza del tratto) e sufficientemente ampia, vale a dire larghezza media complessiva (somma sui due lati) di almeno 2 volte la larghezza dell'alveo ($\geq 2La$) per corsi d'acqua a canale singolo (inclusi i sinuosi a barre alternate), o $\geq La$ nel caso di corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i> .
B	Presenza di piana inondabile discontinua (10÷66% della lunghezza del tratto) di qualunque ampiezza, oppure con buona continuità (> 66% della lunghezza del tratto) ma non sufficientemente ampia, ovvero larghezza complessiva $\leq 2La$ (corsi d'acqua a canale singolo o sinuosi a barre alternate) o $\leq La$ (corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i>).
C	Assenza di piana inondabile oppure presenza trascurabile ($\leq 10\%$ della lunghezza del tratto qualunque sia l'ampiezza).

F3: Connessione tra versanti e corso d'acqua**DESCRIZIONE**

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.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Tratto	<i>LATERALE</i> : Pianura/Versanti adiacenti
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate e rilievo sul terreno	

L'indicatore *F3* viene valutato solo per gli **alvei confinati**, essendo la connessione tra processi di versante e reticolo idrografico fondamentale soprattutto per tali corsi d'acqua.

Per ragioni di semplicità, la porzione di versante analizzata in questa domanda è solamente la **fascia** immediatamente esterna al corridoio fluviale (e quindi a contatto direttamente con l'alveo oppure con la pianura nel caso questa sia presente) **avente una larghezza di 50 m** in pianta, per ognuno dei due lati (a partire dalla base dei versanti destro e sinistro). Questa fascia può essere automaticamente definita in **ambiente GIS**, una volta delimitato il corridoio fluviale. Tuttavia, potrebbe risultare difficile l'individuazione di opere di difesa all'interno di aree a bosco, per cui il controllo sul **terreno** riveste una certa importanza. Non si deve valutare se l'eventuale pianura presente sia o meno ancora attivabile (erodibile) dal corso d'acqua.

L'operatore dovrà determinare la lunghezza percentuale di versante complessiva lungo le due sponde (rispetto alla lunghezza totale delle stesse) "intercettata" da strutture ed infrastrutture.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
A	Esiste un pieno collegamento tra versanti e corridoio fluviale (alveo o piana inondabile) che si estende per quasi tutto il tratto (> 90%).
B	Il collegamento tra versanti e corridoio fluviale si estende per una parte significativa del tratto (33-90%).
C	Il collegamento tra versanti e corridoio fluviale si estende ad una piccola porzione del tratto ($\leq 33\%$).

F4: Processi di arretramento delle sponde**DESCRIZIONE**

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.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Sito/Tratto	<i>LATERALE</i> : Alveo
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate e/o rilievo sul terreno	

Tale tipologia di processi è tipica dei tratti **semi- e non confinati** del sistema fluviale (tratti pedemontani e di pianura), pertanto l'indicatore non viene utilizzato nel caso di corsi d'acqua confinati per i quali, in genere, le sponde sono a diretto contatto con i versanti e l'alimentazione di sedimenti è realizzata dai processi di versante (si veda l'indicatore precedente). Inoltre, per i tratti di pianura costiera caratterizzati da bassa energia e trasporto solido al fondo molto limitato, l'assenza di erosione delle sponde non è da considerare un'alterazione.

Non è possibile quantificare il numero o la lunghezza delle sponde in erosione attese, trattandosi di aspetti che dipendono da vari fattori ed in primo luogo dalla morfologia d'alveo, e per questo l'indicatore richiede una certa interpretazione.

Un primo riconoscimento dei tratti di sponda in arretramento viene effettuato a partire dall'analisi delle **immagini telerilevate** (in genere tali fenomeni sono ben riconoscibili). Le sponde che vengono analizzate si identificano con le linee che delimitano l'alveo. Successivamente, nel corso del rilievo sul **terreno**, viene confermata o meno la presenza e frequenza dei tratti di sponda in arretramento attraverso osservazione diretta nel sito di controllo ed eventualmente in altri punti di controllo. Vengono esclusi dalla valutazione i sottotratti in cui il corso d'acqua entra a diretto contatto con un versante.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE	NON SI VALUTA IN CASO DI ALVEI RETTILINEI O SINUOSI A BASSA ENERGIA (BASSA PIANURA, BASSE PENDENZE E/O BASSO TRASPORTO AL FONDO)
A	Presenza di frequenti sponde in arretramento: l'erosione di sponda è osservata in più punti lungo il tratto. I fenomeni erosivi si concentrano soprattutto sul lato esterno delle curve (in fiumi a canale singolo sinuoso-meandriformi) e/o di fronte a barre (alvei <i>wandering</i> o a canali intrecciati).
B	Sponde in arretramento poco frequenti rispetto a quanto atteso in quanto impediti da opere e/o scarsa dinamica dell'alveo: l'erosione di sponda è osservata solo localmente e si manifesta per lunghezze di solito limitate.
C	Completa assenza o presenza molto trascurabile (erosioni molto localizzate) di sponde in arretramento a causa di eccessivo controllo antropico (interventi di protezione) e/o dinamica dell'alveo assente (eccetto che per i tratti per loro natura a bassa energia: si veda CAMPIDI APPLICAZIONE), oppure presenza di sponde instabili per movimenti di massa (a causa di eccessiva altezza) molto comuni lungo una parte prevalente del tratto (tratti fortemente instabili per un processo d'incisione).

F5: Presenza di una fascia potenzialmente erodibile**DESCRIZIONE**

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.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Tratto	<i>LATERALE</i> : Pianura alluvionale
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate	

Essendo la mobilità laterale una caratteristica tipica dei corsi d'acqua **semi- e non confinati**, tale indicatore non viene applicato ai confinati.

La valutazione non richiede la delimitazione della “fascia potenzialmente erodibile” (operazione che necessiterebbe di molti dati ed esula dagli scopi della valutazione) quanto piuttosto l'accertamento della **presenza di elementi antropici** che impediscono la potenziale mobilità laterale del corso d'acqua. Gli elementi che delimitano la fascia potenzialmente erodibile possono essere: difese di sponda (le quali impediscono l'erosione di sponda), argini o qualunque elemento antropico importante (infrastrutture, abitazioni, ecc.) che, nel caso di avvicinamento dell'alveo, verrebbe certamente protetto (sono invece esclusi elementi quali strade sterrate di importanza secondaria, campi coltivati o altri elementi antropici che presumibilmente non verrebbero difesi). Nel caso di pennelli (o altre difese di sponda) realizzati in passato e che ora non sono più a contatto con l'alveo (ovvero sono esterni alle linee che delimitano l'alveo), essi vanno considerati come una limitazione alla potenziale mobilità laterale del corso d'acqua (mentre non vanno considerati come difese di sponda attuali nell'indicatore A6).

Per tale indicatore è in genere sufficiente l'analisi di **immagini telerilevate**, attraverso le quali si identificano agevolmente gli elementi antropici di interesse.

Per la definizione dell'ampiezza della fascia potenzialmente erodibile necessaria per l'attribuzione alla classe A si seguono le stesse regole utilizzate per l'indicatore F2 (*Presenza di piana inondabile*) (così come le procedure di misura in GIS sono del tutto analoghe): la larghezza complessiva di fascia potenzialmente erodibile (può essere presente anche da un solo lato), per l'attribuzione alla classe A, deve essere almeno pari ad nLa , dove La è la larghezza dell'alveo, mentre $n = 2$ per alvei a canale singolo (compresi i sinuosi a barre alternate) ed $n = 1$ per alvei a canali intrecciati o *wandering*. Nel caso di alvei **semiconfinati** per i quali la fascia potenzialmente erodibile occupa tutto lo spazio disponibile (ovvero tutta la pianura corrisponde a fascia erodibile), al tratto si attribuisce la classe A anche se la larghezza è inferiore ad nLa .

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
A	Presenza di una fascia potenzialmente erodibile con buona continuità ($> 66\%$ del tratto) e sufficientemente ampia, ovvero larghezza media complessiva (somma sui due lati) di almeno 2 volte la larghezza dell'alveo ($\geq 2La$) per corsi d'acqua a canale singolo (inclusi sinuosi a barre alternate), o $\geq La$ nel caso di corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i> .
B	Presenza di una fascia erodibile ampia ma con media continuità (33–66%), oppure continuità superiore ma fascia erodibile ristretta, ovvero larghezza media complessiva $\leq 2La$ (corsi d'acqua a canale singolo o sinuosi a barre alternate) o $\leq La$ (corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i>).
C	Presenza di una fascia erodibile di qualunque ampiezza ma con scarsa continuità ($\leq 33\%$).

MORFOLOGIA***F6: Morfologia del fondo e pendenza della valle*****DESCRIZIONE**

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 (si veda [CAPITOLO 2](#) del Manuale). In particolare, esiste una forte correlazione tra pendenza dell'alveo e tipologia morfologica, ovvero al crescere delle dipendenze 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 arreccato da opere trasversali, e non la loro mera presenza (la quale viene presa in considerazione nella sezione [ARTIFICIALITÀ](#) della scheda di valutazione).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Sito/Tratto	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Rilievo sul terreno e immagini telerilevate	

L'indicatore *F6* viene applicato solo ai **confinati a canale singolo** (per i quali si classifica la configurazione del fondo) mentre per i confinati a canali multipli o *wandering* esso è sostituito dall'indicatore *F7*.

L'operatore dovrà determinare la pendenza media della valle lungo il tratto analizzato (in base al profilo longitudinale ricostruito da carte topografiche e già utilizzato in fase di suddivisione in tratti) e quindi determinare la **morfologia di fondo attesa** in base alla [Tabella 1](#). Le **variazioni di morfologia di fondo più tipiche associate alle sistemazioni idrauliche** in alvei confinati risultano essere su alvei originariamente a gradinata (quindi a forte pendenza) in cui sia stata costruita una serie di briglie di consolidamento proprio al fine di ridurre la pendenza energetica efficace per il trasporto di fondo. Tuttavia, l'entità dell'alterazione morfologica deriva dalle condizioni iniziali del tratto, dalla dinamica locale del trasporto solido e dalla geometria (larghezza, numero ed interdistanza opere) della sistemazione, per cui si può avere il caso di briglie di consolidamento che non hanno "spostato" di categoria morfologica l'alveo (spesso verso un letto piano), ma hanno comportato soltanto un cambiamento nella dimensione degli *step* e dei *pool*. Nel campo delle **pendenze minori** (ovvero $< 0.2\%$ circa), senz'altro piuttosto raro in alvei confinati che per lo più sono caratteristici di ambienti collinari e montani, è la natura del substrato (ghiaioso o sabbioso) e delle sponde (coesive o non coesive) a giocare un ruolo fondamentale nel differenziare gli alvei a dune, che richiedono sedimenti sabbiosi e tiranti idrici relativamente elevati rispetto alla dimensione granulometrica (ovvero alta sommergenza relativa), da quelli a *riffle-pool* che invece si sviluppano su substrato ghiaioso e presentano bassi valori di sommergenza. Per tale ragione in [Tabella 1](#) non si è riportato per quest'ultima categoria un valore inferiore di pendenza. Al contrario, è alquanto improbabile che un alveo a canale singolo in sabbia a deflusso perenne abbia una pendenza $> 0.2\%$, mentre esistono casi di

alvei effimeri sabbiosi aventi pendenze maggiori in regioni a clima arido e semi-arido, ma che morfologicamente si presentano più simili ad alvei a canali intrecciati. Quindi fattori locali (ad es., regime idrologico, litologia, vegetazione riparia) possono far variare il valore di soglia sotto il quale aspettarsi una morfologia di fondo a dune. Una certa sovrapposizione di pendenze esiste anche per il passaggio tra *riffle-pool* e letto piano (pendenze variabili tra 1 e 2% in linea di massima) e tra letto piano e gradinata (di norma tra 3 e 4%). Questa variabilità deriva sia dalle condizioni locali di rapporto tra alimentazione solida e capacità di trasporto che dal grado di confinamento laterale imposto dai versanti, il quale può ad esempio favorire la formazione di strutture a gradinata limitando la larghezza dell'alveo e quindi innescando processi di ostruzione della sezione ad opera delle granulometrie maggiori con successiva formazione di *step*.

Per quanto riguarda la **pendenza media della valle** lungo il tratto, in linea generale essa risulta semplicemente dal rapporto tra dislivello complessivo e lunghezza del tratto. Nel caso di tratti molto lunghi in cui la pendenza varia considerevolmente, è opportuno valutare la corrispondenza con la morfologia del fondo ad una scala spaziale minore, ovvero valutando la pendenza media in corrispondenza del sottotratto sistemato con opere trasversali. Se il limite di monte di un tratto è rappresentato da un'opera trasversale (diga o briglia), è opportuno valutare il dislivello del tratto facendo riferimento alla quota dell'alveo subito a valle di essa (ovvero alla quota originaria del fondo), altrimenti si determinerebbe una pendenza erroneamente troppo elevata. Lo stesso dicasì per il tratto delimitato a valle da una briglia, mentre se si tratta di una diga, si ricordi che l'invaso viene escluso dalla segmentazione in tratti e quindi la quota inferiore del tratto a monte della diga è quella associata al punto in cui si considera terminato l'effetto dell'invaso.

Si noti che i limiti delle varie classi si sovrappongono, in quanto condizioni locali possono estendere/ridurre gli ambiti di una certa morfologia.

Tabella 1 – Relazioni tra campi di pendenze e morfologia del fondo attesa.

MORFOLOGIA DEL FONDO	GRANULOMETRIA DOMINANTE	INTERVALLO DI PENDENZE (%)
Dune	Sabbia e ghiaia fine	≤ 0.2
<i>Riffle-pool</i>	Ghiaia e ciottoli	< 2
Letto piano	Ciottoli e ghiaia	1÷4
Gradinata	Massi e ciottoli	> 3

Successivamente, tramite verifica nel sito **durante la fase di rilievo sul terreno** e attraverso **immagini telerilevate** (per quanto possibile), si dovrà individuare la tipologia morfologica prevalente e valutarne la coerenza con quanto atteso in base alla [Tabella 1](#). In particolare:

- In caso di presenza di opere trasversali, la porzione d'alveo in cui deve essere valutata la morfologia attuale del fondo è quella compresa tra la buca di scavo (a monte) e l'opera successiva (a valle);
- Incaso di tratto senza opere trasversali, eventuali scostamenti tra quanto atteso in base alla [Tabella 1](#) e la morfologia osservata vanno interpretati come naturali e derivanti probabilmente da condizioni locali particolari (morfologie imposte da accumuli legnosi, corpi di frana, morene, ecc.).

Si noti che per le classi A e B non vengono effettuate valutazioni sulla frequenza o estensione di situazioni alterate all'interno del tratto, bensì solo sulla presenza/assenza di tali situazioni (è quindi sufficiente un'unica situazione di alterazione della morfologia del fondo per impedire l'assegnazione alla classe A). Differentemente, l'attribuzione alla classe C presuppone un fondo morfologicamente alterato per gran parte del tratto.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
CAMPI DI APPLICAZIONE	SI APPLICA A CONFINATI A CANALE SINGOLO. NON SI APPLICA NEL CASO DI CONFINATI CON FONDO IN ROCCIA, NONCHÉ NEL CASO DI CORSI D'ACQUA PROFONDI PER I QUALI NON È POSSIBILE OSSERVARE LA CONFIGURAZIONE DEL FONDO.
A	Forme di fondo coerenti con la pendenza media della valle: la morfologia di fondo corrisponde a quella attesa in base alla pendenza media della valle lungo il tratto (Tabella 1). Rientrano in questa categoria anche le morfologie imposte da fattori naturali (quali <i>log step</i> , frane, morene, ecc.) che localmente possono determinare delle forme di fondo non attese (es. unità a <i>riffle</i> in tratti ad elevata pendenza, salti e pozze su tratti a bassa pendenza).
B	Forme di fondo non coerenti con la pendenza media della valle: la morfologia del fondo non corrisponde a quella attesa in base alla pendenza della valle a causa di opere trasversali (dighe, traverse, briglie, soglie, rampe, anche se realizzate con tecniche di Ingegneria Naturalistica). Ciò si verifica se la pendenza del fondo che si è instaurata tra le opere è molto diversa rispetto a quella originaria e tale da spostare l'alveo di categoria (Tabella 1).
C	Completa alterazione delle forme di fondo: rientrano in questa categoria tutti i casi in cui il fondo è completamente artificiale (cunettoni) o comunque dove l'interdistanza tra le opere trasversali è talmente ravvicinata da non permettere l'instaurarsi di unità morfologiche naturali attribuibili ad una categoria morfologica. Sono generalmente tali i casi in cui la buca di scavo a valle di ogni opera si estende per una lunghezza > 40-50% dell'interdistanza tra due opere successive.

F7: Forme e processi tipici della configurazione morfologica

DESCRIZIONE

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.

(1) **Alvei a canale singolo.** L'attribuzione ad una delle tre tipologie appartenenti a questa categoria (rettilineo, sinuoso, meandriforme), come è noto, è basata sull'indice di sinuosità (si veda [CAPITOLO 4](#)). 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).

Più problematici sono quei casi di alvei non fissati planimetricamente, ma completamente privi di barre e con sponde stabili: il dubbio in questi casi è se considerare questa stabilità planimetrica e l'assenza di barre come una caratteristica naturale (per es. per bassa energia, basso trasporto solido al fondo, vegetazione riparia continua, ecc.) oppure se valutarla come un'alterazione. In mancanza di riconoscimento di una precisa causa antropica (es. nel caso di un tratto a valle di una diga o altra struttura con completo sbarramento del trasporto solido al fondo), tali situazioni non vanno considerate come alterazioni.

(2) **Alvei transizionali o a canali multipli.** Per queste tipologie, la definizione della morfologia si basa non tanto sulla configurazione planimetrica del tracciato quanto sulla presenza o meno di determinate forme caratteristiche all'interno dell'alveo (barre, canali, ecc.). La presenza di opere in alveo(soprattutto trasversali) può, per alcune porzioni del tratto, alterare le caratteristiche tipiche della configurazione morfologica attribuita al tratto stesso. Un esempio può essere quello di un alveo a canali intrecciati che, per alcune porzioni del tratto, viene rimaneggiato e perde le sue caratteristiche peculiari a causa di una riduzione di pendenza dovuta alla presenza di un'opera trasversale.

È importante effettuare tale valutazione considerando il contesto fisiografico in cui è inserito il tratto: a tal fine può essere di aiuto osservare anche la morfologia dei tratti immediatamente a monte e a valle, per verificare se esistano delle variazioni inattese di morfologia. Ad esempio, in un ambito fisiografico di alta pianura (conoide), un tratto sinuoso e privo di barre compreso tra due tratti a morfologia *wandering* o a canali intrecciati può riflettere un'alterazione della funzionalità morfologica (lo stesso tratto sinuoso al passaggio tra un tratto *wandering* ed un tratto meandriforme può invece ritenersi normale).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Sito/Tratto	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Rilievo terreno e/o immagini telerilevate	

Si tratta di un indicatore applicabile a corsi d'acqua **semi- e non confinati** e a corsi d'acqua **confinati a canali intrecciati o wandering** (per i confinati a canale singolo si applica invece l'indicatore *F6*). Le osservazioni vanno condotte attraverso **immagini telerilevate** (a scala di *tratto*), integrate da osservazioni sul **terreno** (a scala di *sito*).

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
CAMPI DI APPLICAZIONE	NEL CASO DI CONFINATI SI APPLICA SOLO AD ALVEI A CANALI MULTIPLI O WANDERING
A	<p>Assenza o presenza localizzata ($\leq 5\%$) di alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale.</p> <p><i>Canali intrecciati:</i> tipica presenza di più canali attivi con numerose biforazioni e barre longitudinali, frequente presenza di isole pioniere, talora di isole mature.</p> <p><i>Anastomizzati:</i> tipica presenza di più canali attivi con vario grado di sinuosità separati da isole vegetate.</p> <p><i>Transizionali wandering:</i> tipica alternanza di barre laterali, canali di <i>chute cut off</i>, canale di magra fortemente sinuoso e relativamente stretto rispetto all'alveo di piena, locali condizioni di intrecciamento, presenza di isole pioniere e talora di isole mature.</p> <p><i>Transizionali sinuosi a barre alternate:</i> tipica alternanza di barre laterali, canali di <i>chute cut off</i>, canale di magra fortemente sinuoso e relativamente stretto rispetto all'alveo di piena, tipico susseguirsi di alternanze di <i>riffle</i> e <i>pool</i> (eccetto che in fiumi a fondo sabbioso).</p> <p><i>Sinuosi, meandriformi con barre:</i> barre laterali o di meandro, frequenti erosioni delle sponde esterne (soprattutto nei meandriformi), possibili canali di <i>chute cut off</i>, tipico susseguirsi di alternanze di <i>riffle</i> e <i>pool</i> (eccetto che in fiumi a fondo sabbioso).</p> <p><i>Rettilinei, sinuosi, meandriformi di bassa energia:</i> non presentano necessariamente una significativa eterogeneità di forme: possono essere stabili planimetricamente e privi di barre.</p>
B	Alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale per una porzione limitata del tratto ($\leq 33\%$), con caratteristiche tipiche della morfologia meno riconoscibili e discontinue.
C	Consistenti alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale per una porzione significativa del tratto ($> 33\%$) in relazione a forte degradazione fisica e/o pressione antropica.

F8: Presenza di forme tipiche di pianura

DESCRIZIONE

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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Pianura alluvionale
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate	

Come sottolineato precedentemente, tale indicatore è applicabile solo ad alvei **meandriformi in ambito fisiografico di pianura**, anche nel caso in cui il corso d'acqua era meandriforme in passato ma attualmente non lo è (ad es., a causa di rettifiche). Non viene invece valutato nel caso di alvei mai stati meandriformi (a canali intrecciati o *wandering* né tantomeno per corsi d'acqua confinati). L'analisi di **immagini telerilevate** è sufficiente per individuare tali forme, quindi non sono richiesti controlli sul terreno.

In classe A si includono forme create dal corso d'acqua nelle attuali condizioni di regime, quindi connesse altimetricamente con l'alveo attuale (ossia non disconnesse a causa di incisione verificatasi successivamente alla loro formazione). In classe B si includono invece quelle forme che non sono esattamente attuali ma sono potenzialmente riattivabili attraverso interventi artificiali, o anche a seguito di un recupero morfologico del corso d'acqua. A tal fine, si fa riferimento agli anni '50 (coerentemente con l'analisi delle variazioni planimetriche: si vedano gli indicatori V1 e V2), ovvero si considerano eventuali tracce di forme fluviali che sono state abbandonate a partire da quegli anni, mentre non si prendono in considerazione forme abbandonate in epoche precedenti. Un esempio è quello di un meandro presente negli anni '50, poi abbandonato e disconnesso dall'alveo attuale a causa di incisione del fondo verificatasi nel corso degli ultimi decenni, ma che potrebbe essere riconnesso al corso d'acqua attraverso interventi di scavo, oppure per innalzamento del fondo del corso d'acqua principale. Non sono invece da intendersi incluse in questa categoria le porzioni di alveo abbandonate per restringimento dell'alveo. Si noti che non viene considerata la frequenza o estensione areale di tali forme: è ad esempio sufficiente la presenza di una forma attuale o riattivabile per l'attribuzione alla classe A.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
CAMPI DI APPLICAZIONE	SI APPLICA SOLO AD ALVEI MEANDRIFORMI IN AMBITO FISIOGRAFICO DI PIANURA
A	Sono presenti nella pianura forme fluviali attuali di origine naturale (laghi di meandro abbandonato, canali secondari, tracce di meandro abbandonato, zone stagnanti, ecc.).
B	Sono presenti nella pianura solo tracce di forme fluviali, non attuali (abbandonate a partire dagli anni '50 circa) ma riattivabili a seguito di interventi o di recupero morfologico dell'alveo principale.
C	Completa assenza nella pianura di forme fluviali attuali o riattivabili.

F9: Variabilità della sezione

DESCRIZIONE

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.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Sito/Tratto	<i>LATERALE</i> : Alveo
TIPO DI MISURA: Rilievo terreno e immagini telerilevate	

L'indicatore si applica sia al caso di alvei confinati che semi- e non confinati.

Nel caso di alvei **confinati**, la variabilità della larghezza in condizioni naturali può essere più limitata (essendo spesso l'alveo a contatto con versanti) mentre si enfatizza maggiormente la variabilità di profondità e di condizioni idrodinamiche (zone di separazione della corrente). Le osservazioni vanno condotte esclusivamente sul **terreno** lungo il sito rappresentativo.

Nel caso di alvei **semi- e non confinati**, oltre alla variabilità di profondità in sezione legata alla presenza di forme e superfici diversificate, la variabilità di larghezza in senso longitudinale è in genere più marcata (tanto più quanto maggiore è la presenza di barre). L'indicatore non viene valutato invece nel caso di corsi d'acqua caratterizzati da morfologie rettilinee, sinuose o meandriformi per loro natura prive di barre (bassa pianura, basse pendenze e/o basso trasporto al fondo), per le quali una certa omogeneità della sezione è naturale. Le osservazioni vanno condotte sia mediante l'analisi di **immagini telerilevate** (variabilità spaziale di larghezza) che sul **terreno** (variabilità della configurazione della sezione) lungo il sito rappresentativo ed in eventuali altri punti di controllo (se ritenuti necessari).

La presenza di **isole pioniere**, soprattutto in alvei semi- non confinati, è un elemento importante che contribuisce notevolmente alla variabilità della sezione. Nei casi di alvei a canali intrecciati, la profondità in sezione è necessariamente molto variabile (essendoci più canali separati da barre), pertanto la variabilità va intesa soprattutto in termini di larghezza e contribuisce molto la presenza di isole (mature o pioniere). Normalmente gli alvei a canali intrecciati presentano infatti una certa variabilità di larghezza legata all'alternanza di cosiddetti nodi-isole, ma è anche possibile osservare per alcuni corsi d'acqua una certa omogeneità naturale di larghezza: in questi casi, si attribuisce la classe *A*, mentre le classi *B* o *C* vengono assegnate quando la posizione delle sponde è mantenuta fissa artificialmente.

Si noti che un'alterazione della variabilità della sezione non è necessariamente associata ad un'alterazione delle forme e processi tipici della configurazione morfologica (ossia le classi attribuite agli indicatori *F7* ed *F9* non sono necessariamente le stesse) in quanto indicano aspetti diversi (ad es., un tratto a canali intrecciati che localmente potrebbe perdere le caratteristiche peculiari di tale morfologia ma mantenere una variabilità della sezione).

Infine, si tiene conto dei casi in cui le alterazioni sono distribuite asimmetricamente, ovvero sono presenti solo su un lato del corso d'acqua a causa della presenza di difese di sponda: in questi casi la lunghezza della porzione alterata va rapportata alla lunghezza totale delle sponde. Tale regola può applicarsi anche al caso di alvei non confinati, eccetto che per quelli di grandi dimensioni (G), per i quali le eventuali difese presenti solo lungo una sponda interessano una frazione poco significativa della sezione complessiva.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
A	Assenza o presenza localizzata ($\leq 5\%$ del tratto) di alterazioni della naturale eterogeneità della sezione per tutto il tratto: esiste una variabilità della sezione (larghezza e profondità), in relazione alla presenza di barre, vegetazione, massi, condizionamenti di versante, e/o presenza di frequenti zone di separazione della corrente adiacenti alle sponde. Oppure presenza di alterazioni solo da un lato dell'alveo per $\leq 10\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe).
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzioni limitate del tratto ($\leq 33\%$): esiste una variabilità della sezione per $> 66\%$ della lunghezza del tratto, e/o presenza saltuaria di zone di separazione della corrente. Oppure presenza di alterazioni solo da un lato dell'alveo per $\leq 66\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe).
C	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzioni significative del tratto ($> 33\%$): la sezione (larghezza e profondità) è pressoché omogenea lungo una porzione significativa del tratto ($> 33\%$), e/o assenza di zone di separazione della corrente adiacenti alle sponde. Oppure presenza di alterazioni solo da un lato dell'alveo per $> 66\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe).

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE	NON SI VALUTA IN CASO DI ALVEI RETTILINEI, SINUOSI, MEANDRIFORMI PER LORO NATURA PRIVI DI BARRE (BASSA PIANURA, BASSE PENDENZE E/O BASSO TRASPORTO AL FONDO) (NATURALE OMOGENEITÀ DI SEZIONE)
A	Assenza di alterazioni o presenza localizzata ($\leq 5\%$ del tratto) della naturale eterogeneità della sezione lungo tutto il tratto: esiste una naturale variabilità della larghezza, in relazione alla presenza di barre e curvature (tipicamente alveo più largo agli apici delle curve e più stretto nei tratti di flesso o rettilinei), abbinata ad una naturale variabilità altimetrica dell'alveo in sezione trasversale, in relazione alla presenza di barre laterali o di meandro, eventuali barre alte, isole (mature e pioniere), canali secondari e sponde naturali. Oppure (escluso nel caso di alvei di grandi dimensioni) presenza di alterazioni solo da un lato dell'alveo per $\leq 10\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe).
B	Alterazioni della naturale eterogeneità della sezione per porzioni limitate del tratto ($\leq 33\%$): esiste una naturale variabilità della larghezza lungo il tratto e/o una variabilità altimetrica nella sezione trasversale per $> 66\%$ della lunghezza del tratto. Oppure (escluso nel caso di alvei di grandi dimensioni) presenza di alterazioni solo da un lato dell'alveo per $\leq 66\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe).
C	Presenza di alterazioni della naturale eterogeneità della sezione per porzioni significative del tratto ($> 33\%$): la larghezza si mantiene costante e/o la configurazione della sezione trasversale è uniforme e riconducibile ad una forma trapezia per una porzione significativa del tratto ($> 33\%$). Oppure (escluso nel caso di alvei di grandi dimensioni) presenza di alterazioni solo da un lato dell'alveo per $> 66\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe).

F10: Struttura del substrato**DESCRIZIONE**

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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Sito	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Rilievo terreno	

L'indicatore viene valutato sia per gli alvei confinati che per quelli semi- e non confinati, ma con alcune differenze.

Nel caso di alvei **confinati**, si valuta solo per quelli a fondo mobile (gli alvei con fondo in roccia per definizione non presentano sedimenti sul fondo), mentre sono esclusi i casi di corsi d'acqua a fondo sabbioso per i quali è normale una certa omogeneità granulometrica. Normalmente gli alvei confinati a fondo mobile presentano un'eterogeneità di dimensioni granulometriche anche molto forte, potendo comprendere massi, ciottoli, ghiaia e sabbia. Un elemento di alterazione può essere rappresentato dal cosiddetto *clogging*, vale a dire l'occlusione degli interstizi dei sedimenti grossolani del fondo da parte di materiale fine (limo, argilla), che può essere dovuta ad un'eccessiva erosione superficiale nel bacino (legata ad esempio a variazioni di uso del suolo) o ad alterazioni del regime idrologico. La sua presenza, entro certi limiti, può essere normale in particolari situazioni (ad es., nelle pozze oppure in un corso d'acqua a ridosso di versanti argillosi) ma quando tale fenomeno è evidente e diffuso lungo varie porzioni del sito di indagine, esso viene qui considerato un elemento di alterazione. Vengono distinte due situazioni: (a) il *clogging* è evidente ed accentuato in varie porzioni, ma non generalizzato a gran parte del sito (< 90% della lunghezza) (classe *B*); (b) il *clogging* è accentuato e pressoché generalizzato a gran parte del sito (> 90% della lunghezza) (classe *C1*). La massima alterazione della struttura del substrato (classe *C2*) è determinata dalla presenza diffusa di rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili).

Nel caso degli alvei **semi- e non confinati**, l'eterogeneità delle dimensioni granulometriche è anche in questi casi normale, in relazione alla diversità di unità sedimentarie presenti (barre, canale, *riffle*, *pool*) ed anche all'interno di una stessa unità. Per il *clogging* valgono le stesse considerazioni precedenti. Il **corazzamento**, vale a dire la presenza di uno strato superficiale di dimensioni significativamente maggiori rispetto a quelle del sottostato, è un fenomeno normale nei corsi d'acqua ghiaiosi, la cui esistenza non è necessariamente attribuibile ad alterazioni antropiche ed è quindi di difficile valutazione. Ciò vale soprattutto quando si presenta debolmente e non in maniera generalizzata. Si ritiene pertanto che tale fenomeno possa essere considerato un effetto di alterazione solo nei casi in cui esso sia molto evidente (corazzamento accentuato o statico) e presente in varie porzioni del sito. Anche se non è richiesta una misura accurata della granulometria dei sedimenti superficiali e di quelli del sottostato, si tenga presente che con corazzamento accentuato si intende un rapporto " $D_{50\text{superficiale}} / D_{50\text{sottostato}}$ " superiore a 3. Analogamente al *clogging*, anche per il corazzamento occorre distinguere due casi: (a) il corazzamento è evidente ed accentuato in varie porzioni, ma non generalizzato a gran parte del sito (< 90% della lunghezza) (classe *B*); (b) il corazzamento è accentuato e pressoché generalizzato a gran parte del sito (> 90% della lunghezza) (classe *C1*). L'eventuale presenza di corazzamento (così come di *clogging*) va osservata nelle porzioni più attive del letto, ovvero nel canale (quando visibile) e sulle barre più attive in prossimità del canale. Vanno invece evitate le barre alte che presentano per loro natura una granulometria più eterogenea e che quindi difficilmente sono soggette a corazzamento. Un ulteriore elemento sintomo di alterazione può essere rappresentato dalla presenza di **affioramenti del substrato**. Tale elemento va tuttavia valutato con attenzione, in quanto va considerato, come elemento per l'attribuzione alle classi *C1* o *C2*, solo quando è evidentemente legato a fenomeni di incisione, vale a dire in corsi d'acqua alluvionali a fondo mobile in posizione lontana dai versanti dove sarebbe lecito aspettarsi un certo spessore di materasso alluvionale, mentre vanno esclusi quei casi in cui i versanti sono a breve distanza dall'alveo per i quali si può trattare di affioramenti naturali. Infine, anche per gli alvei semi- e non confinati, la presenza diffusa di rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili) determina l'attribuzione alla classe *C2*.

L'indicatore *F10* va valutato prevalentemente sul **terreno**: per il *clogging* ed il corazzamento le osservazioni vanno condotte alla **scala spaziale del sito** scelto come rappresentativo ed in eventuali altri punti di controllo se ritenuti opportuni. Le osservazioni che riguardano il rivestimento del fondo e gli affioramenti del substrato vanno invece estese alla **scala del tratto**. L'indicatore **non si applica** nel caso di **corsi d'acqua profondi**, quindi non percorribili e guadabili.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA		CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE		NON SI VALUTA NEL CASO DI FONDO IN ROCCIA O FONDO SABBioso, NONCHÉ NEL CASO DI CORSI D'ACQUA PROFONDI PER I QUALI NON È POSSIBILE OSSERVARE IL FONDO
A	Naturale eterogeneità della granulometria dei sedimenti in relazione alle diverse unità sedimentarie (<i>step, pool, riffle</i>), con situazioni di <i>clogging</i> poco significativo.	
B	Presenza evidente e diffusa di <i>clogging</i> in varie porzioni del sito.	
C1	Presenza evidente e diffusa di <i>clogging</i> su gran parte del sito (>90% del sito).	
C2	Completa alterazione del substrato per diffusa presenza (> 33% del tratto) di rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili).	

TIPOLOGIA		SEMI- NON CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE		NON SI VALUTA NEL CASO DI FONDO SABBioso, NONCHÉ NEL CASO DI CORSI D'ACQUA PROFONDI PER I QUALI NON È POSSIBILE OSSERVARE IL FONDO
A	Naturale eterogeneità delle granulometrie dei sedimenti in relazione alle diverse unità sedimentarie (barre, canale, <i>riffle, pool</i>) ed anche all'interno di una stessa unità, con situazioni di corazzamento e/o <i>clogging</i> poco significativi.	
B	Presenza di corazzamento accentuato o presenza evidente di <i>clogging</i> in varie porzioni del sito.	
C1	Presenza di corazzamento o di <i>clogging</i> evidente e diffusa su gran parte del sito (> 90% del sito) oppure presenza di affioramenti del substrato occasionali (e comunque per una lunghezza \leq 33% del tratto) attribuibili ad incisione del materasso alluvionale.	
C2	Presenza diffusa (> 33% del tratto) di affioramenti del substrato attribuibili ad incisione del materasso alluvionale o completa alterazione del substrato per diffusa presenza (> 33% del tratto) di rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili).	

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

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 $> 1\text{m}$ e diametro $> 10\text{ cm}$. 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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Sito	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Rilievo terreno	

Si applica a tutti i tipi di corsi d'acqua (**confinati e semi- non confinati**). Data l'elevata variabilità sia spaziale che temporale della quantità di materiale legnoso in alveo, che sussiste anche in bacini non alterati antropicamente, non si è ritenuto perseguitibile "prescrivere" dei valori di abbondanza da osservare (per esempio numero di tronchi o volume legnoso per unità di lunghezza del corso d'acqua), e ci si limita quindi a valutare negativamente i tratti che presentano una presenza molto limitata o una totale assenza (indicativamente < 5 elementi per 100 m di lunghezza d'alveo) di materiale legnoso in alveo.

L'operatore baserà la sua valutazione su osservazioni sul **terreno** alla **scala spaziale del sito**, ma in alcuni casi l'utilizzo delle foto aeree (soprattutto se ad alta risoluzione) potrà rivelarsi utile, particolarmente nei casi di alvei a canali intrecciati e transizionali, per i quali quindi la valutazione potrà essere eseguita direttamente alla scala di tratto o su porzioni di lunghezza maggiore del sito.

L'area da osservare è sia l'alveo (incluse eventuali isole) che le sponde. Non si prende in considerazione invece il materiale legnoso presente nella piana alluvionale. Una naturale scarsità di materiale legnoso nell'alveo è da tenere in conto in alcune situazioni particolari, per le quali valgono le seguenti **regole**: (1) in **alvei confinati**, nel caso di larghezza dell'alveo > dell'altezza media delle piante arboree circostanti, relativamente profondi (tirante medio di piene rive > del diametro medio delle piante), con poche barre e/o massi di grandi dimensioni e dotati di elevata energia (per es. alvei relativamente larghi con morfologia a letto piano), il tratto viene attribuito alla classe A (in questi casi del materiale legnoso dovrebbe essere comunque presente incastrato presso le sponde, sempre che queste non siano in roccia e/o prive di vegetazione arborea); (2) in **alvei semi- non confinati** privi di barre (bassa pianura), la relativa abbondanza di materiale legnoso è da valutare in prossimità delle sponde.

Infine, tale indicatore **non si applica** ai tratti posti **sopra il limite del bosco** o in corsi d'acqua dove, per condizioni naturali, la vegetazione perifluviale risulti completamente assente, mentre lo si applica ai tratti dove è localmente assente la vegetazione arborea (per es. sponde in roccia), in quanto una certa quantità di materiale legnoso dovrebbe comunque essere trasportata dai tratti di monte.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA		TUTTI
CAMPI DI APPLICAZIONE		NON SI APPLICA A TRATTI A QUOTE SUPERIORI AL LIMITE DEL BOSCO O IN CORSI D'ACQUA CON NATURALE ASSENZA DI VEGETAZIONE PERIFLUVIALE
A	Presenza significativa di materiale legnoso: è presente del materiale legnoso di grandi dimensioni (piante, tronchi, ceppaie, rami) nell'alveo e/o sulle sponde.	
C	Presenza molto limitata o completa assenza di materiale legnoso: non si riscontra una presenza significativa di materiale legnoso all'interno dell'alveo (comprese le isole) né sulle sponde.	
1) In alvei confinati: nel caso di larghezza alveo piene rive > altezza media alberi, e di profondità media alveo piene rive > diametro medio alberi ed assenza di ostacoli significativi (es. massi di grandi dimensioni), si assegna A (tratto di trasporto di legname: naturale assenza).		
2) In alvei semi- non confinati: in caso di alvei privi di barre (bassa pianura) la relativa abbondanza di materiale legnoso è da valutare in prossimità delle sponde.		

VEGETAZIONE NELLA 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.

Gli indicatori *F12* e *F13* non si applicano al di sopra del limite naturale del bosco che si presenta variabile nel territorio italiano (indicativamente attorno ai 1.800-2.300 m s.l.m.). In molti casi il pascolamento ha abbassato tale limite, e si dovrà cercare quindi di valutare (per es. raccogliendo informazioni presso l'amministrazione forestale) se l'assenza di piante arbustivo/arboree nella fascia perifluvale in tratti a quota elevata sia naturale o indotta dal pascolamento. Se ci si trova a quote inferiori, l'assenza di vegetazione funzionale è da valutare come un'alterazione e quindi si applicano gli indicatori *F12* ed *F13*, esclusi i casi particolari di condizioni climatiche ed edafiche (p.e., lungo fiumare nelle regioni meridionali) in cui la vegetazione legnosa non sia naturalmente in grado di colonizzare la fascia perifluvale.

F12: Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluvale

DESCRIZIONE

Con questo indicatore si intende valutare l'ampiezza (o in maniera equivalente l'estensione areale) attuale, in relazione all'ampiezza della *fascia perifluvale*, cioè della pianura disponibile per la fascia di vegetazione arborea ed arbustiva, ovvero per le formazioni funzionali, includendo anche formazioni di idrofile 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.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Tratto	<i>LATERALE</i> : Pianura alluvionale (per SC/NC); Pianura/Versanti adiacenti (per C)
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate	

La valutazione dell'ampiezza viene effettuata a partire da **immagini** telerilevate ed è eseguita in ambiente **GIS** tramite la delimitazione della fascia di vegetazione arborea/arbustiva presente e della fascia di estensione massima potenziale (escludendo quindi i versanti sub-verticali in roccia), fino al limite dei 50 m nel caso di alvei confinati. Le misure possono essere eseguite con entrambe le modalità (per sezioni o per aree), analogamente agli indicatori *F2* (piana inondabile) ed *F5* (fascia potenzialmente erodibile). L'ampiezza è quella complessiva (ovvero somma sui due lati) della fascia perifluvale presente. Si noti che, nel computo dell'ampiezza delle formazioni funzionali, vanno incluse le **isole** eventualmente comprese in alveo. Nel caso di alvei **semiconfinati** per i quali l'ampiezza delle formazioni funzionali è pari a tutto lo spazio disponibile (ovvero tutta la pianura), il tratto si attribuisce alla classe A anche se la larghezza è inferiore ad *nLa*.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
CAMPIDI APPLICAZIONE	NON SI APPLICA A TRATTI A QUOTE SUPERIORI AL LIMITE DEL BOSCO O IN CORSI D'ACQUA CON NATURALE ASSENZA DI VEGETAZIONE PERIFLUVIALE
A	<p>Aampiezza delle formazioni funzionali elevata, ovvero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - per corsi d'acqua <i>confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali che occupa $> 90\%$ dell'ampiezza dell'eventuale piana e dei versanti adiacenti (50 m da ogni sponda, si escludono le porzioni in roccia o in frana). La fascia ospita sia formazioni arboree (con copertura spaziale significativa, ovvero $> 33\%$ della fascia) che arbustive spontanee. - per corsi d'acqua <i>semi- non confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali con larghezza complessiva (somma sui due lati) di almeno nLa, dove La è la larghezza dell'alveo, $n = 2$ per corsi d'acqua a canale singolo, oppure $n = 1$ per corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i>. La fascia ospita sia formazioni arboree che arbustive, con presenza significativa delle prime ($> 33\%$ della fascia è occupata da formazioni arboree).
B	<p>Aampiezza delle formazioni funzionali intermedia, ovvero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - per corsi d'acqua <i>confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali con ampiezza $33\div 90\%$ di tutta l'eventuale piana e dei versanti adiacenti (50 m da ogni sponda, si escludono le porzioni in roccia o in frana). La fascia delle formazioni funzionali ospita sia formazioni arboree che arbustive, con presenza significativa delle prime (copertura delle formazioni arboree $> 33\%$ della fascia). <p>Oppure ampiezza come caso A, ma le formazioni arbustive sono fortemente prevalenti su quelle arboree (copertura delle formazioni arboree $\leq 33\%$ della fascia).</p> <ul style="list-style-type: none"> - per corsi d'acqua <i>semi- e non confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali con larghezza compresa tra $0.5La$ e nLa, dove $n = 2$ per corsi d'acqua a canale singolo, oppure $n=1$ per corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i>. <p>Oppure come caso A ma l'ampiezza $> nLa$ è determinata dalla presenza di formazioni parzialmente funzionali (es. pioppi artificiali), oppure le formazioni arbustive sono fortemente prevalenti su quelle arboree (copertura delle formazioni arboree $\leq 33\%$ della fascia).</p>
C	<p>Aampiezza limitata delle formazioni funzionali, ovvero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - per corsi d'acqua <i>confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali con ampiezza $\leq 33\%$ di tutta l'eventuale piana ed i versanti adiacenti (50 m da ogni sponda, si escludono le porzioni in roccia o in frana). <p>Oppure ampiezza come caso B, ma le formazioni arbustive sono fortemente prevalenti su quelle arboree (copertura delle formazioni arboree $\leq 33\%$ della fascia).</p> <ul style="list-style-type: none"> - per corsi d'acqua <i>semi- non confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali con larghezza complessiva (somma sui due lati) $\leq 0.5La$ (qualunque tipologia), oppure come caso B ma non tutte le formazioni sono funzionali (ossia vegetazione non spontanea) o presenza di sole formazioni arbustive. <p>Oppure ampiezza come caso B, ma l'ampiezza $> 0.5La$ è determinata dalla presenza di formazioni parzialmente funzionali (es. pioppi artificiali), oppure le formazioni arbustive sono fortemente prevalenti su quelle arboree (copertura delle formazioni arboree $\leq 33\%$ della fascia).</p>

F13: Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde**DESCRIZIONE**

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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Sponde
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate	

La valutazione dell'estensione lineare verrà effettuata per mezzo di **immagini telerilevate** ed utilizzerà la stessa delimitazione in ambiente **GIS** della vegetazione arborea/arbustiva eseguita per l'indicatore *F12*, dalla quale si determinerà la sua lunghezza a contatto con l'alveo, ovvero sulle sponde. Si dovrà poi calcolare la lunghezza potenziale di sponda dove le formazioni funzionali possono instaurarsi (escludendo quindi le sponde in roccia). Entrambe le lunghezze si intendono relative alla somma delle due sponde. Il rapporto tra le due lunghezze così calcolate verrà utilizzato per assegnare la risposta.

Nel caso di difficoltà interpretativa delle foto aeree (alvei confinati), è necessario un controllo sul **terreno** a scala di sito, eventualmente esteso per identificare le sponde in roccia.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
CAMPIDI APPLICAZIONE	NON SI APPLICA A TRATTI A QUOTE SUPERIORI AL LIMITE DEL BOSCO O IN CORSI D'ACQUA CON NATURALE ASSENZA DI VEGETAZIONE PERIFLUVIALE
A	Estensione lineare delle formazioni funzionali per una lunghezza $> 90\%$ della lunghezza massima disponibile (ovvero somma di entrambe le sponde escluso quelle in roccia o in frana). Presenza di formazioni sia arboree ($> 33\%$ in lunghezza delle formazioni funzionali) che arbustive spontanee.
B	Estensione lineare delle formazioni funzionali per una lunghezza del $33\div 90\%$ della lunghezza massima disponibile. Oppure come caso A, ma l'estensione $> 90\%$ è determinata dalla presenza di formazioni parzialmente funzionali (es. pioppi industriali, filari), o vi è forte prevalenza di formazioni arbustive (formazioni arboree $< 33\%$ in lunghezza delle formazioni funzionali).
C	Estensione lineare delle formazioni funzionali per una lunghezza $\leq 33\%$ della lunghezza massima disponibile. Oppure come caso B, ma l'estensione $> 33\%$ è determinata dalla presenza di formazioni parzialmente funzionali (es. pioppi artificiali, filari), o vi è forte prevalenza di formazioni arbustive (formazioni arboree $< 33\%$ in lunghezza delle formazioni funzionali).

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

DESCRIZIONE

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 ascriversi a tale categoria di opere anche quelle derivazioni che producono 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). Vengono valutati anche i casi in cui le opere determinano un aumento, piuttosto che una riduzione, delle portate (ad es., immissione artificiale da un altro bacino o corso d'acqua). Nel caso di una derivazione da un tratto e restituzione in un tratto più a valle, si considera alterato solo il tratto compreso tra la derivazione e l'immissione. L'indicatore non si valuta per il tratto iniziale (ovvero il tratto più a monte) di un corso d'acqua.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Bacino sotteso	<i>LATERALE</i> : Pianura alluvionale
TIPO DI MISURA : Catasto opere, immagini telerilevate	

L'individuazione delle opere presenti è possibile dal **catasto opere** e, con relativa semplicità, da **immagini telerilevate**. Interessano soltanto le opere che comportano delle variazioni di portata liquida tali da alterare significativamente i processi morfologici. Le informazioni e i dati eventualmente disponibili relativi all'entità delle variazioni di portata ed al funzionamento delle opere vanno acquisiti dagli **enti preposti**. Si richiama il fatto che la raccolta dei dati idrologici disponibili e delle informazioni essenziali sulle opere esistenti a scala di bacino fa parte della **Fase 1** di *inquadramento e suddivisione in tratti* (si veda [CAPITOLO 4, STEP 4](#)). Si tenga inoltre presente che tale indicatore può essere stimato a partire dai dati necessari per il calcolo dell'Indice di Alterazione del Regime Idrologico, **IARI**.

L'indice **IARI** fornisce una misura dello scostamento del regime idrologico osservato rispetto a quello naturale che si avrebbe in assenza di pressioni antropiche per l'intero range di portate caratterizzanti il regime del corso d'acqua (valori massimi, minimi, medi per le diverse aggregazioni temporali e durate) e non solamente su quelle che influenzano i processi morfologici (portate formative).

Ai fini della valutazione dell'indicatore **A1**, vengono pertanto prese in considerazione le seguenti **due classi di portate**: (1) portate formative; (2) portate con $TR > 10$ anni.

- (1) **Portate formative.** Sono intese come quelle portate con maggiori effetti sulla morfologia dell'alveo. Il valore più comunemente usato per rappresentare la portata formativa è la $Q_{1,5}$ (si veda anche a tal proposito il [CAPITOLO 2](#) e [CAPITOLO 4](#)), tuttavia il campo delle portate con effetti sensibili sulla morfologia d'alveo può essere allargato fino a tempi di ritorno dell'ordine di 10 anni. Nel caso di alvei a morfologia *wandering* o a canali intrecciati, si ritiene che esistano differenti valori di portata che hanno effetti sulla forma complessiva dell'alveo: ad es., il canale principale e le barre più attive sono modellati da una portata più bassa, anche al di sotto della $Q_{1,5}$, mentre le isole sono modellate in modo consistente da portate con tempi di ritorno dell'ordine dei 10 anni. Inoltre, in alvei montani a forte pendenza e fortemente corazzati, soltanto portate con tempo di ritorno $> 2\div 3$ anni sono capaci di determinare rilevanti processi di trasporto solido al fondo, e portate associate a tempi di ritorno ancora maggiori sono responsabili dell'assetto morfologico dell'alveo.
- (2) **Portate con $TR > 10$ anni.** Hanno anch'esse effetti morfologici ed idraulici molto rilevanti, seppure la loro minore frequenza le fa ritenere meno efficaci, rispetto alle portate formative, nel determinare la forma dell'alveo (si veda [CAPITOLO 2](#)). Esistono opere che inducono alterazioni solo su queste portate relativamente elevate: ad esempio, alcune opere di laminazione delle portate di piena (invasi artificiali, casse di espansione, scolmatori) entrano in funzione solo a partire da tempi di ritorno relativamente elevati (ad es., 30 anni).

I dati di portata necessari per le stime delle portate significative, così come i dati relativi alle loro alterazioni dovute alle opere presenti, spesso non sono disponibili. Pertanto di seguito si distinguono **due procedure**, a seconda della disponibilità o meno di dati.

1. Disponibilità di dati

È necessario valutare se ed in che misura le opere presenti nel sottobacino a monte del tratto producono delle alterazioni delle portate formative e/o delle portate con $TR > 10$ anni ([Tabella 2](#) e [Figura 2](#)).

- (1) **Portate formative.** La stima della $Q_{1,5} \text{ ante o post operam}$ (o di altre portate con TR compresi tra 1.5 e 10 anni) può essere ricavata sulla base di un'analisi statistica di una serie sufficientemente lunga delle portate al colmo eventualmente disponibili per la stazione idrometrica più prossima al

tratto, oppure sulla base di modelli idrologici afflussi-deflussi o di regionalizzazione delle portate (tali stime sono spesso disponibili presso gli enti preposti). Di norma, la verifica delle variazioni delle portate formative va fatta sulla $Q_{1,5}$, ma può essere necessario in alcuni casi prendere in considerazione anche portate superiori ($TR = 10$ anni). Nei casi in cui le variazioni delle portate formative indotte dalle opere risultino significative ($> 10\%$), il tratto viene attribuito alla classe **C**.
- *Esempio*: nel tratto in esame si stima una $Q_{1,5} = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ e si accetta che un invaso posto nel bacino sotteso dal tratto ha un effetto di laminazione di tutte le piene ordinarie, e che la riduzione di portata sia dell'ordine di $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

- (2) **Portate con $TR > 10$ anni.** Nei casi in cui non esistono alterazioni significative delle portate formative, ma si accetta che una o più opere presenti nel bacino sotteso entrano in funzione per $TR > 10$ anni, e che le variazioni indotte sulle portate con tali tempi di ritorno siano significative (ovvero $> 10\%$), il tratto viene attribuito alla classe **B**. L'informazione relativa al funzionamento dell'opera va ricavata dagli enti preposti alla sua gestione, dai quali è necessario ottenere anche una stima dell'entità della variazione di portata. Per verificare la significatività o meno di tale variazione, essa va quindi rapportata con la portata stimata nel tratto per quello stesso tempo di ritorno. Per la stima di tale portata si procede in maniera del tutto analoga al caso delle portate formative.
- *Esempio*: a monte del tratto in esame esiste una cassa di espansione progettata per entrare in funzione solo a partire da $TR = 20$ anni. La riduzione di portata operata dalla cassa, per $TR = 20$ anni, è pari a $30 \text{ m}^3/\text{s}$, a fronte di una Q_{20} stimata in prossimità del tratto pari a $150 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabella 2 – Definizione delle classi dell'indicatore A1.

	ΔQ_{form}	$\Delta Q (TR > 10 \text{ anni})$
A	< 10%	< 10%
B	< 10%	> 10%
C	> 10%	-

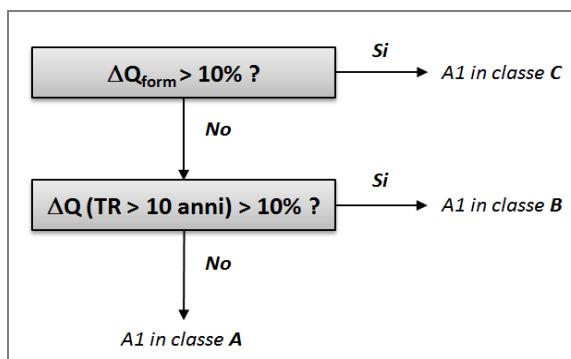


Figura 2 – Diagramma di flusso dell'indicatore A1.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
A	Assenza di opere di alterazione delle portate liquide (dighe, diversivi, scolmatori, casse di espansione, immissioni artificiali) oppure presenza di derivazioni di portate liquide ma con effetti nulli o poco significativi (variazioni $\leq 10\%$) sulle portate formative e anche sulle portate di piena con $TR > 10$ anni.
B	Presenza di opere (dighe, diversivi, scolmatori, casse di espansione, immissioni artificiali) tali da alterare significativamente le portate di piena con $TR > 10$ anni, con effetti poco significativi sulle portate formative.
C	Presenza di opere (dighe, diversivi, scolmatori, casse di espansione, immissioni artificiali) con effetti significativi (variazioni $> 10\%$) sulle portate formative.

2. Indisponibilità di dati

I dati necessari per le precedenti valutazioni spesso non sono disponibili. Si pensi ad esempio ad un corso d'acqua completamente privo di stazioni di misura delle portate e per il quale non esistono stime disponibili e/o al caso di una diga della quale non si conosce con attendibilità l'entità delle portate laminate durante le piene.

Nei casi di completa assenza di informazioni sulle portate liquide, si ricorre pertanto ad una **procedura semplificata**, la quale tiene conto esclusivamente della tipologia di opera e sulle informazioni disponibili riguardo il loro funzionamento (p.e., dighe con uso idroelettrico o di laminazione) secondo quanto descritto di seguito.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
A	Assenza di opere di alterazione delle portate liquide oppure prive di effetti sulle portate formative.
B	Presenza di dighe (area sottesa > 5% dell'area sottesa dal tratto) con scopi di laminazione delle portate di piena oppure di diversivi o scolmatori o casse di espansione che entrano in funzione solo per portate di piena non frequenti ($TR > 10$ anni).
C	Presenza di dighe (area sottesa > 5% dell'area sottesa dal tratto) con scopi di laminazione delle portate di piena oppure diversivi o scolmatori o casse di espansione che entrano in funzione per portate di piena frequenti ($TR < 10$ anni).

A2: Opere di alterazione delle portate solide

DESCRIZIONE

Con questo indicatore si prendono in considerazione le opere trasversali (digue, 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.). Si noti che le eventuali dighe ubicate a monte del tratto di studio sono considerate qui unicamente per gli effetti di alterazione del trasporto solido (gli effetti di riduzione delle portate liquide sono trattati separatamente nell'indicatore A1). 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.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Bacino sotteso	<i>LATERALE</i> : Alveo
TIPO DI MISURA: Catasto opere, immagini telerilevate	

L'entità dell'alterazione delle portate solide sul tratto viene 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. Si è ritenuto inoltre opportuno tener conto di alcune differenze, soprattutto in termini di tipologia di opere, a seconda che le opere in questione ricadano in ambito montano oppure in ambito di pianura-collinare. Per una descrizione dettagliata delle tipologie di opere e delle loro differenze tra ambito montano e di pianura-collinare si rimanda all'indicatore A4.

Per quanto riguarda la **tipologia di opere**, si distinguono i tre casi seguenti:

- **(T1) Digue.** Tali opere creano uno sbarramento completo e permanente (anche in prospettiva futura) del trasporto solido al fondo (eccetto nei casi di esistenza di dispositivi di rilascio dei sedimenti a valle, dei quali viene tenuto conto successivamente).
- **(T2) Opere trasversali con totale intercettazione del trasporto solido al fondo.** Esse determinano uno sbarramento completo del trasporto solido al fondo (es. briglie di trattenuta o traverse di derivazione di dimensioni rilevanti), ma il loro impatto è inferiore rispetto alle dighe in quanto l'effetto è temporaneo (fino al colmamento).
- **(T3) Opere trasversali con intercettazione parziale o nulla del trasporto solido al fondo.** Si tratta di opere di minori dimensioni e spesso realizzate per scopi di consolidamento del fondo, oppure le opere di dimensioni maggiori (es. briglie di trattenuta) colmate.

Per quanto riguarda l'**area sottesa dalle opere** rispetto a quella sottesa dal tratto, è opportuno innanzitutto precisare che la portata solida al fondo in una sezione, intesa come capacità di trasporto, è

funzione delle caratteristiche idrauliche, morfologiche e sedimentologiche dell'alveo e non dipende (se non indirettamente per quanto riguarda le portate liquide) dalle dimensioni del bacino sotteso. Tuttavia con questo indicatore si vuole valutare l'alterazione della potenziale alimentazione di sedimenti (spesso è questo il fattore che limita il trasporto solido effettivo piuttosto che la capacità di trasporto) dal bacino sotteso in una lunga scala temporale, piuttosto che l'alterazione della portata solida istantanea nella sezione. Si preferisce pertanto qui fornire un criterio speditivo basato sul rapporto tra area sottesa dall'opera ed area del sottobacino sotteso dal tratto. Si distinguono a tal fine i casi seguenti:

- (1) **$Ao \leq 5\% At$** , ovvero l'area sottesa dalle opere trasversali (Ao) è inferiore al 5% dell'area sottesa dal tratto (At) (ad es., una diga che sottende un'area di 40 km^2 rispetto ad un'area di drenaggio sottesa alla chiusura del tratto di 500 km^2);
- (2) **$5\% At < Ao \leq 33\% At$** , ovvero l'area sottesa dalle opere trasversali (Ao) è compresa tra 5% e 33% dell'area sottesa dal tratto (At) (ad es., una diga che sottende un'area di 30 km^2 rispetto ad un'area di drenaggio sottesa alla chiusura del tratto di 400 km^2);
- (3) **$33\% At < Ao \leq 66\% At$** , ovvero l'area sottesa dalle opere trasversali (Ao) è compresa tra 33% e 66% dell'area sottesa dal tratto (At) (ad es., una diga che sottende un'area di 120 km^2 rispetto ad un'area di drenaggio sottesa alla chiusura del tratto di 200 km^2);
- (4) **$Ao > 66\% At$** , ovvero l'area sottesa dalle opere trasversali (Ao) è superiore al 66% dell'area sottesa dal tratto (At) (ad es., una diga che sottende un'area di 150 km^2 rispetto ad un'area di drenaggio sottesa alla chiusura del tratto di 200 km^2);
- (5) L'opera trasversale si trova all'**estremità a monte del tratto**.

Le differenze a seconda dell'ambito in cui ricadono le opere sono descritte di seguito.

1. Ambito montano.

Le opere che rientrano nella **categoria T2** si identificano con le **briglie di trattenuta non colmate** (generalmente di grandi dimensioni). In genere tali opere presentano un piccolo invaso a monte presso la piazza di deposito, il quale tende a colmarsi in assenza di interventi di manutenzione (asportazione di sedimento per ripristino della capacità di trattenuta). Si includono in questa categoria anche **traverse di derivazione** di grandi dimensioni non colmate eventualmente presenti in ambito montano (seppure si tratti di opere più facilmente presenti in ambito collinare-di pianura: si veda dopo).

Le opere che rientrano nella **categoria T3** si identificano con le **briglie di trattenuta colmate**, le **briglie di trattenuta aperte** e le **briglie di consolidamento**. Per quanto riguarda queste ultime, si considerano solo se formanti una lunga **sequenza di briglie poste a gradinata** che determinano la stabilizzazione dell'asta di un sottobacino o dell'asta principale del corso d'acqua in analisi. L'area drenata viene valutata in corrispondenza dell'opera di consolidamento posta più a valle. Non vengono quindi considerate opere di consolidamento isolate o comunque non capaci di ridurre significativamente l'alimentazione solida proveniente dal bacino a monte (ovviamente inclusi i suoi sottobacini).

L'attribuzione alla classe in funzione del tipo di opera e dell'area sottesa è riportata in [Tabella 3](#).

Tabella 3 – Definizione delle classi in ambito montano in funzione della tipologia di opera e dell'area sottesa dall'opera rispetto all'area sottesa dal tratto.

TIPOLOGIA OPERE	Ao/At	5÷33%	33÷66%	> 66%	ESTREMITÀ MONTE
(T1) Dighe	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	
(T2) Briglie di trattenuta non colmate	<i>A</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B2</i>	
(T3) Sequenza di briglie di consolidamento a gradinata o briglie di trattenuta colmate	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B1</i>	<i>B1</i>	

2. Ambito collinare-di pianura.

Le opere che rientrano nella **categoria T2** si identificano con le **briglie o traverse di derivazione non colmate**, di notevoli dimensioni (dell'ordine di vari metri), e che pertanto operano temporaneamente una totale intercettazione del trasporto solido al fondo.

Le opere che rientrano nella **categoria T3** si identificano con tutte le altre **briglie o traverse di derivazione non incluse** nella precedente categoria, ossia di dimensioni ridotte oppure colmate, seppure di grandi dimensioni.

L'attribuzione alla classe in funzione del tipo di opera e dell'area sottesa è riportata in [Tabella 4](#).

Tabella 4 – Definizione delle classi in ambito collinare-di pianura in funzione della tipologia di opera e dell'area sottesa dall'opera rispetto all'area sottesa dal tratto.

TIPOLOGIA OPERE	Ao/At	5÷33%	33÷66%	> 66%	ESTREMITÀ MONTE
(T1) Dighe	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	
(T2) Briglie o traverse con completa intercettazione (di notevoli dimensioni)	<i>A</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B2</i>	
(T3) Briglie o traverse con intercettazione parziale o nulla (di dimensioni ridotte)	<i>A</i>	<i>B1</i>	<i>B1</i>	<i>B1</i>	

Presenza di misure o dispositivi di rilascio o di asportazione di sedimenti

Nel caso di presenza di **misure o dispositivi di rilascio di sedimenti a valle di una diga** (o altra opera), il punteggio attribuito viene ridotto secondo le seguenti regole, valide allo stesso modo per entrambi gli ambiti montano e collinare-di pianura:

- (1) Presenza di dispositivi o di procedure tali da consentire il *transito di tutto il trasporto solido a valle* (completo by-pass): si assegnano due classi in meno. Esempi: (a) una diga posta all'estremità a monte del tratto, passa da *C2* (se è in ambito di pianura) a *B2*; (b) nel caso di diga nella classe 10÷33%, si passa da *B1* alla classe minima *A* (ovvero si considera l'opera ininfluente).
- (2) Presenza di dispositivi di rilascio di sedimenti a valle che consentono un *transito elevato, ma non totale, del trasporto solido a valle*, l'opera si attribuisce ad una classe precedente. Ad esempio, una diga posta all'estremità a monte del tratto, passa da *C2* (se è in ambito di pianura) a *C1*.

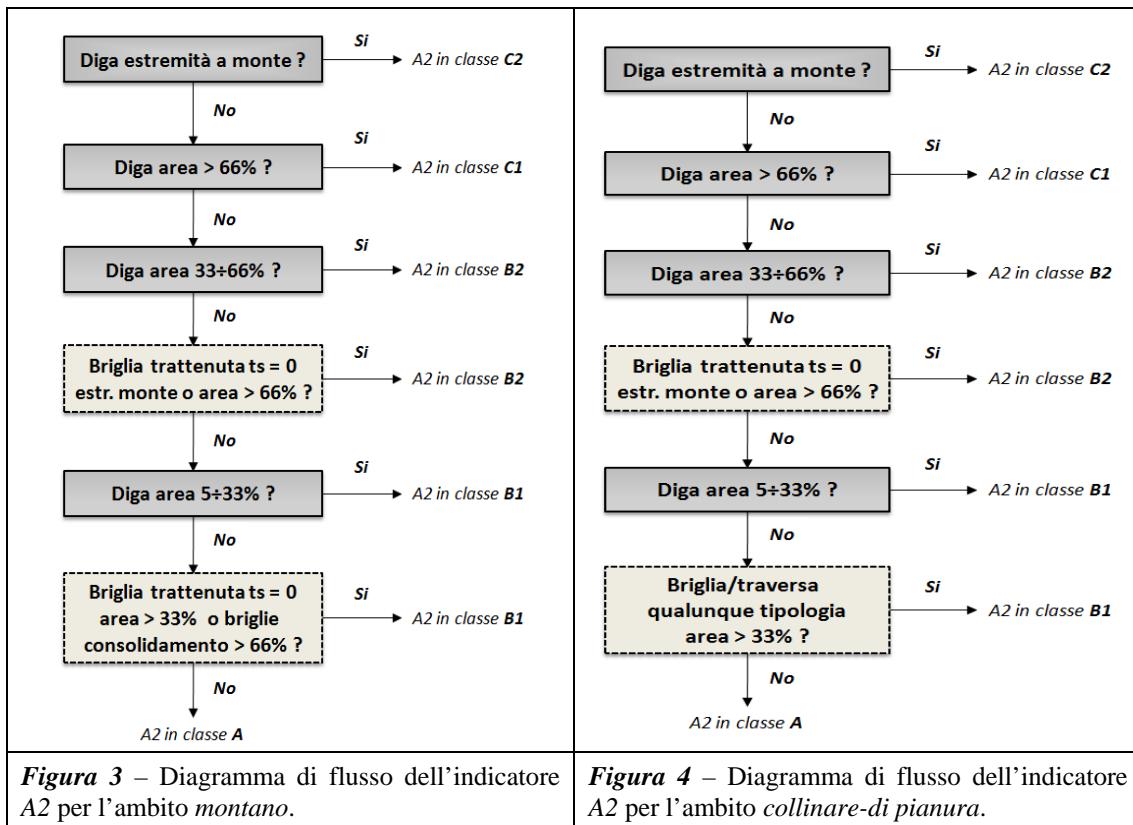
Viceversa, nel caso in cui si accerti (dall'ente gestore dell'opera) una periodica **rimozione di sedimenti a monte di una briglia** (i quali non vengono poi rilasciati a valle) al fine di impedirne il riempimento completo, l'opera si attribuisce al caso di completa intercettazione del trasporto solido al fondo.

Per l'attribuzione finale della classe di questo indicatore, si considerino le ulteriori precisazioni seguenti.

1. L'indicatore non si valuta per il primo tratto (tratto più a monte) di un corso d'acqua.
2. Nel caso di più opere all'interno del bacino, vale la regola che prevale quella con punteggio maggiore. Pertanto, la presenza di una diga posta ad una certa distanza supera tutti gli effetti di eventuali altre dighe e/o briglie a distanze maggiori (che non vanno quindi considerati).
3. La precedente regola si applica anche nel caso il bacino sotteso da un tratto ricade in parte in ambito collinare-di pianura ed in parte in ambito montano. Ad esempio, si consideri il caso in cui la porzione di sottobacino che rientra nella fascia > 66% At ricade in parte in ambito montano ed in parte in ambito di pianura, e nella parte montana esiste una briglia di trattenuta non colmata (*C2*) mentre nella parte di pianura a valle esiste una briglia colmata (*B1*): in tal caso il tratto viene attribuito alla classe *C2*.
4. Nel caso di esistenza di **sbarramenti ed invasi naturali** (ad esempio per i fiumi alpini sublacuali), la presenza di dighe e/o briglie a monte del lago non viene considerata per i tratti a valle dello stesso, in quanto il lago rappresenta una zona di naturale deposito del trasporto solido al fondo ed azzera quindi gli effetti delle opere a monte.

L'individuazione delle opere presenti è possibile dal **catasto opere** e, con relativa semplicità, da **immagini telerilevate**. Si richiama il fatto che la raccolta delle informazioni essenziali sulle opere trasversali esistenti a scala di bacino fa parte della **Fase 1 di inquadramento e suddivisione in tratti** (si veda [CAPITOLO 4, STEP 4](#)). Le informazioni relative al grado di riempimento, nei casi in cui siano necessarie per discriminare tra due classi diverse, possono essere talora desunte dal catasto opere o dagli **enti preposti** o altrimenti richiedono un **sopralluogo sul terreno**. Si suggerisce a tal proposito di procedere in maniera mirata, procedendo progressivamente verso monte e partendo dalla presenza o meno delle opere con maggiore punteggio (dighe), in modo da acquisire le informazioni strettamente necessarie laddove esse determinano possibili differenze nell'attribuzione della classe. La procedura logica da seguire per i due diversi ambiti è schematicamente riepilogata nei **diagrammi di flusso** riportati nelle [Figure 3](#) e [4](#) (rispettivamente per i due diversi ambiti). Si noti ad esempio che la distinzione tra tipologie di briglie e relativo riempimento (classe 2 o 3) è richiesta a partire da $Ao > 33\% At$ solo in ambito montano, dove tali informazioni si possono in genere ottenere con relativa facilità, sia per le differenze notevoli di dimensioni tra briglie di trattenuta e di consolidamento, che per le dimensioni del bacino relativamente ridotte. Differentemente, in ambito collinare-di pianura la distinzione tra classe 2 e 3 è richiesta solo a partire da $Ao > 66\% At$. Si tenga infine presente che, in

caso di assoluta indisponibilità di questo tipo di informazione (ad es., per impossibilità di raggiungere l'opera), si attribuisce la classe con punteggio inferiore.



RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA		TUTTI
A		Assenza di opere che possano alterare il normale transito di sedimenti lungo il reticolo idrografico o presenza di briglie e/o dighe ma tali, per numero e/o bacino sotteso, da poter ritenersi trascurabili. Le dighe si considerano ininfluenti per $Ao \leq 5\% At$, ovvero per aree sottese (Ao) inferiori al 5% dell'area sottesa dal tratto (At). Le altre opere trasversali (briglie, traverse) si considerano ininfluenti per $Ao \leq 33\% At$.
B1		Presenza di diga (<i>qualunque ambito</i>) per $5\% At < Ao \leq 33\% At$. <i>Ambito montano</i> : presenza di una o più briglie di trattenuta non colmate per $33\% At < Ao \leq 66\% At$, oppure di una o più briglie di trattenuta colmate o aperte o sequenza di briglie di consolidamento per $Ao > 66\% At$. <i>Ambito collinare-di pianura</i> : presenza di una o più briglie o traverse con completa intercettazione (notevoli dimensioni) per $33\% At < Ao \leq 66\% At$ oppure di una o più briglie o traverse con intercettazione parziale o nulla per $Ao > 33\% At$.
B2		Presenza di diga (<i>qualunque ambito</i>) per $33\% At < Ao \leq 66\% At$. <i>Ambito montano</i> : presenza di una o più briglie di trattenuta non colmate per $Ao > 66\% At$ o all'estremità a monte del tratto. <i>Ambito collinare-di pianura</i> : presenza di una o più briglie o traverse con completa intercettazione (notevoli dimensioni) per $Ao > 66\% At$ o all'estremità a monte del tratto.
C1		Presenza di diga per $Ao > 66\% At$ (<i>qualunque ambito</i>).
C2		Presenza di una diga all'estremità a monte del tratto (<i>qualunque ambito</i>).
Presenza di misure o dispositivi di rilascio di sedimenti a valle : nel caso in cui l'opera sia dotata di dispositivi o di procedure tali da consentire il transito di tutto il trasporto solido a valle (completo by-pass), essa si attribuisce a due classi inferiori. Se sono presenti dispositivi di rilascio di sedimenti a valle che consentono un transito elevato, ma non totale, del trasporto solido a valle, l'opera si attribuisce ad una classe inferiore.		

OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ LONGITUDINALE NEL TRATTO

A3: Opere di alterazione delle portate liquide (diversivi, scolmatori, casse di espansione)

DESCRIZIONE

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. Nel caso di casse in linea, attraverso questo indicatore se ne valutano esclusivamente gli effetti sulle portate liquide, mentre l'alterazione delle portate solide viene considerata nel successivo indicatore *A4*. Le dighe sono da escludere da questo indicatore in quanto esse devono necessariamente coincidere con un limite tra due tratti. Si noti inoltre che qualunque altra opera che abbia effetti piuttosto rilevanti in termini di portate liquide viene in genere identificata con un limite tra due tratti in quanto crea una discontinuità idrologica (si veda [STEP 4](#) della Fase 1), pertanto l'indicatore *A3* si applica piuttosto raramente a tale tipo di opere.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Tratto	<i>LATERALE</i> : Zone laterali alveo
TIPO DI MISURA: Catasto opere e immagini telerilevate	

La presenza di tali opere è facilmente riscontrabile da **immagini telerilevate**, mentre le informazioni necessarie per l'attribuzione ad una delle classi devono essere desunte dal **catasto opere** o direttamente dagli **enti responsabili**. In maniera del tutto analoga all'indicatore *A1*, si possono distinguere **due procedure**, a seconda che siano disponibili o meno dati di portata.

1. Disponibilità di dati.

In tal caso bisogna valutare l'impatto delle opere sulle portate formative e su quelle con $TR > 10$ anni, secondo quanto specificato nella tabella seguente.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
A	Assenza di altre opere di alterazione delle portate liquide (diversivi, scolmatori, casse di espansione, immissioni artificiali) oppure presenza di derivazioni di portate liquide ma con effetti nulli o poco significativi (variazioni $\leq 10\%$) sulle portate formative e anche sulle portate di piena con $TR > 10$ anni.
B	Presenza di opere (derivazioni, diversivi o scolmatori, casse di espansione, immissioni artificiali) tali da alterare significativamente le portate di piena con $TR > 10$ anni, con effetti poco significativi sulle portate formative.
C	Presenza di opere (derivazioni, diversivi o scolmatori, casse di espansione, immissioni artificiali) con effetti significativi (variazioni $> 10\%$) sulle portate formative.

2. Indisponibilità di dati.

In tal caso si fa ricorso ad una valutazione basata sulla tipologia di opere e sulle informazioni disponibili riguardo al loro funzionamento secondo quanto specificato di seguito.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
A	Assenza di opere di alterazione delle portate liquide oppure presenza di opere (es. derivazioni) prive di effetti sulle portate formative.
B	Presenza di diversivi o scolmatori o casse di espansione che entrano in funzione solo per portate di piena non frequenti ($TR > 10$ anni).
C	Presenza di diversivi o scolmatori o casse di espansione che entrano in funzione per portate di piena frequenti ($TR < 10$ anni).

A4: Opere di alterazione delle portate solide (briglie di trattenuta, casse in linea, briglie di consolidamento, traverse, diga a valle)

DESCRIZIONE

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.).

Nel caso di presenza di una **diga all'estremità a valle del tratto**, come già precisato precedentemente, i suoi effetti in termini di intercettazione del trasporto solido al fondo vengono considerati nel tratto a valle (indicatore A2). Tuttavia, la presenza della diga altera il normale flusso di sedimenti anche per il tratto immediatamente a monte della stessa (classe C), a causa del rallentamento della corrente e della sedimentazione indotta dalla presenza dell'invaso.

Per quanto riguarda l'**invaso artificiale** dovuto alla diga, se esso è di dimensioni rilevanti la procedura di valutazione non viene applicata per tutto il tratto fino a dove si estende, avendo il corso d'acqua perso completamente le sue caratteristiche originarie. Per dimensioni rilevanti può di norma intendersi la scala spaziale del sito (ossia lunghezza non inferiore a 10 volte la larghezza dell'alveo per corsi d'acqua a canale singolo, oppure lunghezza dell'ordine di 500 m per alvei a canali intrecciati larghi). Per invasi di dimensioni inferiori (ad esempio a monte di piccole dighe, briglie di trattenuta o traverse di derivazione), l'invaso viene incluso all'interno del tratto.

Per quanto riguarda le **briglie**, si è ritenuto opportuno differenziarle a seconda che il tratto indagato si trovi in ambito montano oppure in ambito di pianura-collinare.

In **ambito montano** (alvei confinati, ma anche semi- non confinati a pendenze relativamente elevate, ad esempio, lungo conoidi), si utilizza di norma 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. Nel passato venivano costruite a corpo pieno, per cui tutto il materiale solido viene intrappolato nella piazza fino al suo riempimento, dopo di che, in assenza di interventi di rimozione del sedimento, si instaura un profilo di equilibrio a pendenza ridotta il quale tende a far depositare il materiale più grossolano mentre quello a granulometria minore riesce a transitare a valle. Si noti che una briglia di trattenuta è quasi sempre associata ad un limite tra due tratti, quindi difficilmente si potranno avere più briglie di trattenuta in uno stesso tratto. Tuttavia questa situazione è possibile nel caso di una serie di briglie di trattenuta ravvicinate, le quali si possono inserire in uno stesso tratto per evitare la definizione di tratti troppo brevi.

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 duranti eventi di piena eccezionale, alterando solo in parte (frazioni grossolane) la continuità longitudinale del sedimento. Tali briglie tendono inoltre a bloccare il materiale legnoso.

Infine, le briglie specificatamente installate per la **trattenuta di materiale legnoso** (a rete, a cavi) possono essere equiparate a briglie aperte, in quanto interferiscono con il trasporto di fondo durante eventi di piena intensi (durante i quali il filtro tende ad ostruirsi e quindi a creare un profilo di rigurgito a monte) mentre lasciano passare il sedimento ed il materiale legnoso di piccole dimensioni durante eventi minori.

Vengono qui incluse anche le **casse di espansione in linea**, le quali anche se costruite per invasare volumi idrici per laminare il picco di piena esercitano spesso un'azione di trattenuta parziale del sedimento, similmente alle opere filtranti.

Per le opere finora descritte, l'attribuzione alle diverse classi si basa sulla loro presenza/assenza nel tratto, e non sul loro numero o frequenza (vale a dire è sufficiente la presenza di un'opera lungo un tratto di lunghezza qualunque per l'attribuzione ad una determinata classe).

A differenza delle opere di trattenuta, le **briglie di consolidamento** sono eseguite non per intercettare il trasporto solido, bensì per ridurne 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.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua in **ambito di pianura-collinare**, per motivi di semplicità, si è ritenuto opportuno rinunciare alla distinzione delle **briglie** in funzione della loro principale finalità, in quanto in genere, in fiumi di pianura, tali opere sono realizzate quasi sempre con lo scopo principale di fissare il livello dell'alveo (consolidamento). Sono qui incluse le **traverse di derivazione** che, per loro dimensioni, struttura ed effetti sul trasporto al fondo sono assimilabili a briglie. Anche per tali corsi d'acqua si utilizza esclusivamente il criterio di **densità lineare**, adottando un valore di densità inferiore rispetto alle briglie di consolidamento dei tratti montani. L'impatto dipende infatti dalla tipologia di corso d'acqua (pendenza), e per questo viene differenziata la risposta tra alvei montani (generalmente pendenti) e di pianura (a minor pendenza). In particolare, un'opera trasversale in un alveo a forte pendenza esercita a monte un'influenza verso monte (profilo di rigurgito) minore rispetto ad un alveo a bassa pendenza, dove tale effetto si può trasmettere per notevoli distanze (centinaia di metri).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Catasto opere, immagini telerilevate, rilievo terreno	

Si tratta di opere in genere ben individuabili da **immagini telerilevate**, eccetto che in alvei confinati di piccole dimensioni dove in alcuni casi non sono visibili. Per questi casi il **catasto opere** o il **rilievo sul terreno** ne permetteranno l'identificazione, così come consentiranno di ricavare le informazioni necessarie per l'attribuzione alle classi (tipologia della briglia).

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
A	Assenza di qualsiasi tipo di opera di alterazione delle portate solide: non esistono opere finalizzate alla trattenuta del materiale solido e legnoso (briglie, traverse) o che comportano un'intercettazione delle portate solide (casse in linea, diga a valle) seppure non realizzate per tale scopo.
B	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ambito montano</i> (alvei confinati, oppure semi- non confinati a pendenze relativamente elevate, ad es., lungo conoidi): Presenza di briglie di consolidamento con densità relativamente bassa (≤ 1 ogni 200 m in media nel tratto) e/o presenza di briglie di trattenuta, ma di tipologia filtrante (briglie aperte) (rientrano in questa categoria anche le casse di espansione in linea). - <i>Ambito di pianura</i>: Presenza di una o alcune briglie e/o traverse (≤ 1 ogni 1000 m in media nel tratto) (rientrano in questa categoria anche le casse di espansione in linea).
C	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Ambito montano</i> (alvei confinati, oppure semi- non confinati a pendenze relativamente elevate, ad es., lungo conoidi): Presenza di briglie di consolidamento con densità elevata (> 1 ogni 200 m in media nel tratto) e/o presenza di una o più briglie di trattenuta a corpo pieno. - <i>Ambito di pianura</i>: Presenza di numerose briglie e/o traverse (> 1 ogni 1000 m in media nel tratto) oppure presenza di diga e/o invaso artificiale all'estremità a valle del tratto (<i>qualunque ambito</i>).
<p><i>Nel caso l'insieme delle opere trasversali, incluse soglie o rampe in massi (vedi indicatore A9), sia estremamente diffuso, ovvero > 1 ogni 100 m per alvei confinati, o semi- non confinati di ambito montano, oppure > 1 ogni 500 m nel caso di alvei di ambito di pianura o collinare, aggiungere 12.</i></p>	

A5: Opere di attraversamento (ponti, guadi, tombinature)

DESCRIZIONE

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.

In questo indicatore si considera esclusivamente il **numero di ponti che hanno interferenze con il corridoio fluviale** presenti nel tratto, intesi quindi come elementi di artificialità a prescindere dai loro effetti. Vanno quindi conteggiati quelli che presentano degli elementi artificiali a contatto con l'alveo o nella pianura adiacente (es. pile, spalle, ecc.) oppure, anche in loro assenza, quelli che possono avere interferenze con la corrente liquida seppure solo per piene eccezionali. Si escludono invece quei **ponti completamente estranei al corridoio fluviale**, ovvero che non presentano in esso elementi di artificialità e che non possono avere alcun effetto sull'alveo o sul corridoio fluviale nemmeno durante eventi di piena di forte intensità. Un esempio può essere rappresentato (soprattutto nel caso di alvei confinati) da un viadotto che attraversa una valle, nettamente sopraelevato rispetto al corso d'acqua e le cui pile e/o spalle appoggiano direttamente sui versanti, che pertanto non va conteggiato. Per quanto riguarda i **guadi**, vengono qui considerati solo quelli con strutture di attraversamento (non si considerano cioè strade sterrate che attraversano il corso d'acqua). Tali strutture sono in genere tombinate e la loro presenza blocca almeno in parte il trasporto al fondo (frazioni più grossolane che non transitano nei tombini). Infine si considerano le **tombinature**, cioè i casi in cui il corso d'acqua sottopassa un'infrastruttura o un'area abitata (in genere ciò avviene per corsi di piccole dimensioni).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate, carte topografiche, rilievo terreno	

Si tratta di opere facilmente individuabili su **immagini telerilevate**. Maggiori difficoltà possono esistere per le tombinature, per le quali può essere necessaria un'analisi più accurata su **carte topografiche** e cognizioni sul **terreno**. L'indicatore si basa esclusivamente sul numero di opere nel tratto e non richiede quindi informazioni aggiuntive.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
A	Assenza di opere di attraversamento.
B	Presenza di alcune opere di attraversamento (≤ 1 ogni 1000 m in media nel tratto).
C	Presenza diffusa di opere di attraversamento (> 1 ogni 1000 m in media nel tratto).

OPERE DI ALTERAZIONE DELLA CONTINUITÀ LATERALE

A6: Difese di sponda (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli)

DESCRIZIONE

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).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Sponde
TIPO DI MISURA: Catasto opere, immagini telerilevate, rilievo terreno	

Vengono considerate solo le opere presenti lungo le sponde attuali (linee che delimitano l'alveo: si veda [CAPITOLO 4](#)), all'interno o esternamente ma a stretto ridosso dell'alveo, che possono determinare un effettivo condizionamento sulla mobilità laterale nelle condizioni attuali. Non si

considerano invece opere di difesa realizzate in altre epoche, oggi distanti dall'alveo e che quindi risultano ininfluenti nei riguardi dei processi attuali di mobilità laterale.

L'analisi delle **immagini telerilevate** permette spesso di identificare tali opere ma non sempre, soprattutto quando esse non sono recenti e sono in parte coperte da vegetazione riparia. È preferibile quindi integrare le osservazioni da immagini con la consultazione del **catasto opere** ed i rilievi sul **terreno**.

Ai fini dell'attribuzione ad una delle classi, è necessario stimare la **lunghezza di sponde soggette a protezione**: tale valore viene poi rapportato alla lunghezza totale delle sponde stesse (somma della sponda destra e sponda sinistra), quest'ultima determinabile in GIS (a tal fine si può considerare per semplicità il doppio della lunghezza del tratto misurata lungo l'asse dell'alveo).

Un caso particolare è rappresentato dai **pennelli**, trattandosi di opere disposte trasversalmente anziché parallelamente all'andamento delle sponde. Si distinguono due casi: (a) pennello esterno all'alveo; (b) pennello a contatto (testa in corrispondenza del limite dell'alveo) o sporgente. Nel caso di pennelli esterni all'alveo, essi non vengono considerati in questo indicatore (ne viene invece tenuto conto nell'indicatore F5 in quanto costituiscono un impedimento alla potenziale mobilità laterale). Nel caso di pennello sporgente o a contatto, si considera la dimensione maggiore tra lunghezza della parte sporgente e larghezza del pennello. Nel caso di pennello semplice sporgente, la lunghezza della parte sporgente è di solito la dimensione maggiore, mentre la larghezza della testa può rappresentare la dimensione maggiore nel caso di pennelli a martello. Nel caso di pennello semplice a contatto (quindi con lunghezza della parte sporgente nulla), la larghezza del pennello è di solito trascurabile ed ininfluente ai fini dell'attribuzione ad una delle classi. Una stima di tali dimensioni può essere ricavata dalle foto aeree (integrata eventualmente da misure sul terreno). Si noti che non viene valutata la distanza di influenza del pennello, in quanto vengono qui considerate opere come elementi di artificialità in quanto tali.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA		TUTTI
A	Assenza di difese di sponda oppure presenza solo di difese localizzate ($\leq 5\%$ lunghezza totale delle sponde).	
B	Presenza di difese di sponda per una lunghezza $\leq 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe).	
C	Presenza di difese di sponda per una lunghezza $> 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe).	

Nel caso le difese di sponda interessino il tratto quasi per la sua interezza (ovvero $> 80\%$), aggiungere 12

A7: Arginature

DESCRIZIONE

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 sovrалzo 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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Pianura alluvionale
TIPO DI MISURA: Rilievo terreno e/o immagini telerilevate	

Essendo le arginature opere tipiche di alvei alluvionali con presenza di pianura (**non confinati o semiconfinati**), tale indicatore non viene adottato per i corsi d'acqua confinati. Ciò non esclude la presenza di argini a ridosso dell'alveo per i corsi d'acqua confinati che abbiano un indice di confinamento superiore ad 1, tuttavia tali casi sono poco frequenti e non vengono qui considerati avendo effetti trascurabili sulla continuità laterale delle portate liquide. Si consideri tuttavia che, nel caso si tratti di argini con funzione anche di difese di sponda, di essi se ne tiene conto nell'indicatore A6.

Tali opere si possono individuare da **immagini telerilevate**. Tuttavia, l'individuazione sulla base di immagini non è sempre agevole, pertanto la consultazione di carte topografiche (in particolar modo le CTR) può essere molto utile. Nei casi di difese di sponda con funzione anche di argini può essere di aiuto l'osservazione sul **terreno e/o il catasto opere**.

Ai fini dell'attribuzione in classi, si tiene conto della lunghezza degli argini e della loro distanza dall'alveo (ovvero dalle linee che lo delimitano, secondo la procedura definita nel [CAPITOLO 4](#)). Per la **lunghezza**, se ne calcola la percentuale rispetto alla lunghezza totale delle sponde (somma della sponda destra e sponda sinistra) secondo le modalità del precedente indicatore, ma in questo caso escludendo quelle a diretto contatto con versanti (vale a dire dove non esiste una pianura da difendere). Per quanto riguarda la **distanza**, si distinguono tre casi: (1) distanti; (2) vicini; (3) a contatto. Si fa presente che la distanza è qui classificata in relazione alla significatività degli effetti sulla dinamica d'alveo e sulla riduzione di habitat nel corridoio fluviale piuttosto che in termini di rischio idraulico. In quest'ottica, sono definiti: (a) "distanti" per distanze dalle sponde (ovvero le linee che delimitano l'alveo) superiori alla larghezza media dell'alveo (La); (b) "vicini" per distanze $\leq La$; (c) "a contatto" quando sono in diretto contatto con le sponde (in froldo) o comunque fino ad una distanza dello stesso ordine di grandezza delle sponde stesse. Ai fini dell'attribuzione ad una delle tre classi, contano le percentuali di argini "vicini" e "a contatto" rispetto alla lunghezza complessiva delle due sponde (ovvero somma di entrambe), secondo quanto specificato nelle risposte estese. Il calcolo va effettuato considerando separatamente le due sponde (ad es., nel caso di sponda sinistra con 100% a contatto e sponda destra 20% a contatto e 80% vicini, il totale nel tratto sarà 60% a contatto e 40% vicini). Per maggiore chiarezza, si riportano in [Tabella 5](#) i campi di valori di argini vicini e a contatto richiesti per l'attribuzione alle classi.

Nel caso di **due sistemi di argini** (maestri e secondari), per la distanza si fa riferimento a quelli più vicini all'alveo.

Tabella 5 – Definizione delle classi in funzione della lunghezza degli argini vicini e a contatto (in % rispetto alla lunghezza totale di entrambe le sponde).

CLASSI	ARGINI A CONTATTO PIÙ VICINI [%]	ARGINI A CONTATTO [%]
A	0÷10	0÷10
B	10÷90	0÷50
	90÷100	0÷33
C	50÷90	50÷90
	90÷100	33÷100

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
A	Argini assenti o distanti (ovvero distanza $> La$) per qualunque lunghezza, oppure presenza localizzata di argini vicini e/o a contatto (complessivamente $\leq 10\%$ della lunghezza totale delle sponde escluse quelle in contatto diretto con versanti).
B	Presenza di argini vicini e/o a contatto per lunghezza $> 10\%$ della lunghezza totale delle sponde, escluse quelle in contatto diretto con versanti, comprendenti i seguenti casi: (a) lunghezza argini a contatto $\leq 50\%$ (indipendentemente da % argini vicini); (b) se la lunghezza complessiva vicini e a contatto $> 90\%$, allora quelli a contatto devono essere $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (escluse quelle in contatto diretto con versanti).
C	Presenza di argini vicini e/o a contatto non rientranti nella classe precedente, ovvero: (a) lunghezza argini a contatto $> 50\%$ (indipendentemente da % argini vicini); (b) lunghezza complessiva vicini e a contatto $> 90\%$, dei quali argini a contatto $> 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (escluse quelle in contatto diretto con versanti).

Nel caso gli argini a contatto interessino il tratto quasi per la sua interezza (ovvero $> 80\%$), aggiungere 12.

OPERE DI ALTERAZIONE DELLA MORFOLOGIA 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*

DESCRIZIONE

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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Pianura alluvionale
TIPO DI MISURA: Fonti storiche e/o immagini telerilevate	

Dall'analisi di **immagini telerilevate** è possibile talvolta individuare forme nella pianura riconducibili a vecchi tracciati, ma è in ogni caso necessario il ricorso a fonti storiche per stabilire se si tratti di variazioni artificiali. Si precisa che non è richiesta un'analisi storica dei tracciati, operazione che sarebbe certamente molto impegnativa, ma si prendono in considerazione solo variazioni ben note e di una certa entità (ad es., tagli di meandro, spostamenti della foce, ecc.).

L'indicatore si applica solo al caso di corsi d'acqua **semi- e non confinati**, per i quali erano possibili dei tracciati planimetrici diversi. Nel caso di confinati, le variazioni artificiali di tracciato, anche se non sono del tutto da escludere, sono rare e dovrebbero interessare lunghezze limitate, pertanto vengono qui trascurate. L'attribuzione ad una delle classi *B* o *C* si basa su una stima della lunghezza della porzione di alveo interessato dalla modifica rispetto alla lunghezza totale del tratto.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
A	Assenza di variazioni artificiali di tracciato note in passato (tagli meandri, spostamenti alveo, ecc.).
B	Presenza di variazioni artificiali di tracciato note in passato per una lunghezza $\leq 10\%$ della lunghezza del tratto.
C	Presenza di variazioni artificiali di tracciato note in passato per una lunghezza $> 10\%$ della lunghezza del tratto.

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

DESCRIZIONE

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. I cunettoni rappresentano evidentemente delle forti alterazioni dell'assetto morfologico di un corso d'acqua, sia perché inducono una totale assenza di sedimento mobilizzabile

dalla corrente e delle forme di fondo associate (scomparsa di habitat), che per la riduzione o totale blocco della continuità verticale tra ambiente iporreico ed alveo. 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).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Catasto opere, immagini telerilevate, rilievo terreno	

Per le modalità di rilievo valgono le stesse considerazioni di precedenti indicatori di opere in alveo: si tratta di opere in genere ben individuabili da **immagini telerilevate**, eccetto che in alvei confinati di piccole dimensioni dove in alcuni casi non sono visibili. Per questi casi il **catasto opere** o il rilievo sul **terreno** ne permetteranno l'identificazione. In questo caso è necessario conoscerne il numero e non sono richieste informazioni aggiuntive (tipologia, caratteristiche, ecc.).

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
A	Assenza di altre opere di consolidamento (soglie, rampe in massi) e/o rivestimenti localizzati ($\leq 5\%$) tali da non alterare significativamente la continuità verticale e la struttura del fondo.
B	Presenza di soglie e/o rampe con densità relativamente bassa, ovvero ≤ 1 ogni n m in media nel tratto, dove $n = 200$ per confinati oppure semi- non confinati di ambito montano (es. conoidi pedemontani); ed $n = 1000$ per semi- non confinati di ambito collinare o di pianura e/o presenza ed effetti limitati dei rivestimenti: il fondo si presenta rivestito per $\leq 25\%$ del tratto con sistemi permeabili e/o per $\leq 15\%$ con tipologia impermeabile.
C1	Presenza diffusa di soglie e/o rampe (> 1 ogni n in media nel tratto) e/o presenza ed effetti significativi dei rivestimenti: il fondo si presenta rivestito per $\leq 50\%$ del tratto con sistemi permeabili e/o per $\leq 33\%$ con tipologia impermeabile.
C2	Presenza diffusa di rivestimenti: il fondo si presenta rivestito per $> 33\%$ del tratto con tipologia impermeabile o per $> 50\%$ del tratto con tipologia permeabile

1) *Nel caso l'insieme delle opere trasversali, incluse briglie e traverse (vedi indicatore A4), sia estremamente diffuso, ovvero > 1 ogni 100 m per alvei confinati, o semi- non confinati di ambito montano, oppure > 1 ogni 500 m nel caso di alvei di ambito di pianura o collinare, aggiungere 12.*

2) *Nel caso i rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili) interessino il tratto quasi per la sua interezza (ovvero $> 80\%$), aggiungere 12.*

INTERVENTI DI MANUTENZIONE E PRELIEVO

A10: Rimozione di sedimenti

DESCRIZIONE

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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Catasto opere, immagini telerilevate, rilievo terreno	

L'indicatore si differenzia leggermente a seconda della tipologia d'alveo. Nei corsi d'acqua **confinati**, si fa riferimento esclusivamente ad eventuali interventi durante gli ultimi 20 anni. Nel caso di corsi d'acqua di pianura (**semi- e non confinati**), si fa riferimento anche all'intensità dell'attività estrattiva nei decenni passati (a partire dagli anni '50 circa, cioè durante il periodo di massima attività). Si considera come attività di rimozione di sedimenti anche quella finalizzata alla ricalibratura/risagomatura delle sezioni a fini di sicurezza idraulica (per es., approfondimento/allargamento artificiale dell'alveo). Non sono invece inclusi i casi di interventi locali

di manutenzione a monte di briglie che comprendono anche rimozione di sedimenti (la quale viene tenuta in conto nell'indicatore A4 relativo alle opere di intercettazione del trasporto solido).

Le informazioni relative ad interventi negli **ultimi 20 anni** possono derivare dalla consultazione degli enti preposti e/o da evidenze sul terreno. Per quanto riguarda le informazioni relative all'**attività passata**, si intende fornire un'indicazione di massima, sulla base delle informazioni disponibili (enti, fonti storiche), distinguendo tre possibili situazioni: (1) assente; (2) moderata: si hanno notizie attendibili che il numero di punti di escavazione ed i volumi estratti sono significativi ma non eccessivi; (3) intensa: si hanno notizie attendibili che il numero di punti di escavazione ed i volumi estratti sono particolarmente elevati. Indicatori indiretti possono essere il numero di impianti (frantoi) riconoscibili oggi o in passato (foto 1954 - '55) sulle adiacenze del corso d'acqua, presenza di numerose strade camionabili, forte incisione (si veda indicatore V3) attribuita già da altri autori principalmente all'attività estrattiva, ecc.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
A	Evidenze/notizie certe di assenza di interventi di rimozione di sedimenti almeno negli ultimi 20 anni.
B	Evidenze/notizie certe di rimozioni localizzate negli ultimi 20 anni.
C	Evidenze/notizie certe di rimozioni diffuse negli ultimi 20 anni.

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
A	Tratto non soggetto a significativa attività di rimozione di sedimenti né in passato (dagli anni '50 circa) né in tempi recenti (ultimi 20 anni).
B	Tratto soggetto a moderata attività di rimozione di sedimenti in passato (dagli anni '50 circa) ma non in tempi recenti (ultimi 20 anni), oppure attività assente in passato ma presente di recente.
C	Tratto soggetto ad intensa attività di rimozione di sedimenti in passato (dagli anni '50 circa), oppure moderata in passato e presente in tempi recenti (ultimi 20 anni).

A11: Rimozione del materiale legnoso

DESCRIZIONE

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.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Tratto	<i>LATERALE</i> : Alveo e piana inondabile
TIPO DI MISURA: Raccolta informazioni presso Enti competenti	

Nel presente indicatore si richiede di analizzare se nel tratto si hanno notizie di prelievi totali o parziali (tipicamente solo di alcuni tronchi di grandi dimensioni o in siti particolarmente vulnerabili) negli **ultimi 20 anni**. Tale intervallo temporale deriva sia dalla disponibilità di reperire facilmente dati a riguardo dagli **enti preposti**, che dalla naturale possibilità dei corsi d'acqua di riacquisire una certa dotazione di materiale legnoso in seguito all'immissione dalle sponde, dai versanti e dai tratti a monte. Inoltre, le pulizie dell'alveo vengono generalmente eseguite ad intervalli di circa 10 anni, e quindi si ritiene necessario osservare almeno un periodo di durata doppia per poter effettuare una valutazione

significativa. In caso di assenza di notizie certe a riguardo, si risponde *B*. Non si applica ai tratti dove non è stato applicato l'indicatore *F11*.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
CAMPIDI APPLICAZIONE	NON SI APPLICA A TRATTI A QUOTE SUPERIORI AL LIMITE DEL BOSCO O IN CORSI D'ACQUA CON NATURALE ASSENZA DI VEGETAZIONE PERIFLUVIALE
A	Evidenze/notizie certe di assenza (o solo in situazioni localizzate) di interventi di rimozione di materiale legnoso di grandi dimensioni (> 10 cm diametro e > 1 m di lunghezza) almeno negli ultimi 20 anni.
B	Evidenze/notizie certe di interventi di rimozione parziale negli ultimi 20 anni, ovvero solo di alcuni elementi, spesso in seguito ad eventi di piena. Vengono qui inclusi i tratti oggetto di concessione di prelievo ai privati, anche senza interventi di pulizia eseguiti dagli Enti pubblici. Parte del materiale legnoso potrebbe essere stato depezzato in elementi < 1 m e lasciato in alveo.
C	Evidenze/notizie certe di rimozione del materiale legnoso di grandi dimensioni negli ultimi 20 anni ad opera degli Enti pubblici. Il materiale legnoso potrebbe anche essere stato depezzato in elementi < 1 m e lasciato in alveo.

A12: Taglio della vegetazione in fascia perifluviale

DESCRIZIONE

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. 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 esplicare 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.

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 a 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.

Si noti che l'attività di pascolo tuttora presente, che di fatto impedisce la crescita di vegetazione legnosa nella fascia perifluviale, viene assimilata a taglio di vegetazione.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Sito/Tratto	<i>LATERALE</i> : alveo e fascia a ridosso delle sponde su pianura alluvionale (per SC/NC) e su pianura/versanti adiacenti (per C)
TIPO DI MISURA: Raccolta informazioni presso Enti competenti e verifica sul sito (ceppaie)	

L'operatore dovrà raccogliere informazioni presso gli **enti competenti** (Servizi forestali, Comunità Montane, Consorzi di Bonifica, Genio Civile) ed inoltre osservare sul **terreno** eventuali tracce di tagli passati (ceppaie). L'indicatore si applica considerando interventi sostanziali (non bastano poche piante tagliate lungo il tratto) sia all'interno dell'alveo (su isole) che entro la fascia esterna alle sponde (su piana e terrazzi recenti di larghezza nLa , dove La è la larghezza dell'alveo, e $n = 2$ per corsi d'acqua a canale singolo e $n = 1$ per corsi d'acqua a canali intrecciati o *wandering*) e sui versanti (fino a 50 m da

ciascuna sponda). Anche in questo caso, si fissa un intervallo temporale degli **ultimi 20 anni** per gli stessi motivi descritti precedentemente. L'indicatore non si applica a tratti dove non si sono applicati gli indicatori *F12* e *F13*.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	TUTTI
CAMPIDI APPLICAZIONE	NON SI APPLICA A TRATTI A QUOTE SUPERIORI AL LIMITE DEL BOSCO O IN CORSI D'ACQUA CON NATURALE ASSENZA DI VEGETAZIONE PERIFLUVIALE
A	Vegetazione non soggetta ad interventi di taglio di qualsiasi entità lungo le sponde oppure soggetta soltanto a tagli selettivi nella fascia esterna alle sponde (piana/terrazzi su NC/SC, versanti su C) negli ultimi 20 anni.
B	Vegetazione soggetta ad interventi di taglio selettivo lungo le sponde per qualsiasi lunghezza lungo il tratto, oppure di tagli a raso lungo le sponde per una lunghezza < 50% del tratto; oppure interventi di taglio a raso limitati alla fascia esterna alle sponde (negli ultimi 20 anni).
C	Vegetazione soggetta ad interventi di taglio raso lungo le sponde per una lunghezza > 50% del tratto negli ultimi 20 anni.

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

V1: Variazioni della configurazione morfologica

DESCRIZIONE

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).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Pianura alluvionale
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate / Analisi GIS	

Si applica sia nel caso di **confinati** che di **semi- non confinati**, purché di **grandi dimensioni** (G: larghezza > 30 m) in modo da consentirne l'osservazione ed eventuali misure su immagini telerilevate. Tuttavia, le due situazioni (confinati o semi- non confinati) sono differenziate tra loro (per i confinati non si definisce la classe C) per tener conto del fatto che di norma i confinati non possono aver subito drastiche variazioni di configurazione morfologica (es. da canali intrecciati a canale singolo) e di larghezza (si veda indicatore V2), in quanto in tal caso presumibilmente sarebbero oggi classificati come semiconfinati (in quanto l'indice di confinamento supererebbe il valore di 1.5).

Si tenga presente che la condizione legata alle dimensioni non va intesa in senso rigido, ed è anzi più appropriato affermare che è possibile valutare tale indicatore fintantoché le dimensioni dell'alveo nelle due immagini messe a confronto rendano possibile la definizione della morfologia. È possibile ad esempio che un alveo attualmente abbia una larghezza inferiore a 30 m ed una configurazione a canale singolo, mentre nella foto aerea del 1954 presenti una morfologia a canali intrecciati con larghezza superiore ai 30 m: in tal caso è certamente possibile definire la variazione avvenuta.

Al fine di applicare tale indicatore, il primo passo è l'acquisizione delle **foto aeree** relative al **volo IGM GAI degli anni 1954 - '55** (copertura nazionale generalmente alla scala 1:33.000 eccetto alcune aree a scala 1:66.000). È possibile poi procedere ad una prima osservazione qualitativa dell'andamento

del corso d'acqua in tale anno: da tale analisi è possibile in molti casi già stabilire se esistano o meno variazioni significative della morfologia complessiva dell'alveo. Nei casi in cui occorra verificare con maggior precisione se è avvenuto o meno un passaggio morfologico, può essere necessario misurare i parametri sulla base dei quali vengono definite le diverse morfologie (indici di sinuosità, intrecciamento, ecc.: si veda [CAPITOLO 4](#)). A tal fine occorre procedere con la georeferenziazione delle foto (operazione il più delle volte comunque necessaria per l'indicatore V2), in modo da poter poi effettuare le misure necessarie. La stessa operazione va poi ripetuta sulle foto aeree relative al volo più recente disponibile a scala adeguata per tali analisi (in assenza di voli più recenti si può utilizzare il volo TerraItaly 2000 con copertura nazionale). Per ulteriori approfondimenti sull'argomento si rimanda alle "Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive" ([SURIAN et al., 2009d](#)).

Nel caso di alvei semi- non confinati, l'attribuzione alle classi *B* o *C* dipende se si è verificato un passaggio da una morfologia ad una diversa ma contigua oppure se vi sia stata una trasformazione drastica ad una morfologia non contigua: a tal fine si faccia riferimento alla [Tabella 6](#).

Tabella 6 – Definizione delle morfologie contigue e non contigue nelle variazioni di configurazione morfologica. Morfologie: *R* = rettilineo, *S* = sinuoso, *M* = meandriforme, *SBA* = sinuoso a barre alternate, *W* = *wandering*, *CI* = canali intrecciati, *A* = anastomizzato; \Leftrightarrow = passaggio in entrambi i sensi. Classe: *B* = passaggio a morfologia contigua; *C* = passaggio a morfologia non contigua.

MORFOLOGIE	CLASSE	MORFOLOGIE	CLASSE
<i>R</i> \Leftrightarrow <i>S</i>	<i>B</i>	<i>M</i> \Leftrightarrow <i>SBA</i>	<i>B</i>
<i>R</i> \Leftrightarrow <i>M</i>	<i>C</i>	<i>M</i> \Leftrightarrow <i>W</i>	<i>C</i>
<i>R</i> \Leftrightarrow <i>SBA</i>	<i>B</i>	<i>M</i> \Leftrightarrow <i>CI</i>	<i>C</i>
<i>R</i> \Leftrightarrow <i>W</i>	<i>C</i>	<i>M</i> \Leftrightarrow <i>A</i>	<i>B</i>
<i>R</i> \Leftrightarrow <i>CI</i>	<i>C</i>	<i>SBA</i> \Leftrightarrow <i>W</i>	<i>B</i>
<i>R</i> \Leftrightarrow <i>A</i>	<i>C</i>	<i>SBA</i> \Leftrightarrow <i>CI</i>	<i>C</i>
<i>S</i> \Leftrightarrow <i>M</i>	<i>B</i>	<i>SBA</i> \Leftrightarrow <i>A</i>	<i>C</i>
<i>S</i> \Leftrightarrow <i>SBA</i>	<i>B</i>	<i>W</i> \Leftrightarrow <i>CI</i>	<i>B</i>
<i>S</i> \Leftrightarrow <i>W</i>	<i>C</i>	<i>W</i> \Leftrightarrow <i>A</i>	<i>C</i>
<i>S</i> \Leftrightarrow <i>CI</i>	<i>C</i>	<i>CI</i> \Leftrightarrow <i>A</i>	<i>C</i>
<i>S</i> \Leftrightarrow <i>A</i>	<i>B</i>		

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m)
A	Non si è verificata una variazione della configurazione morfologica rispetto agli anni '50.
B	Variazioni di configurazione morfologica rispetto agli anni '50.

TIPOLOGIA	SEMI-NON CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m)
A	Non si è verificata una variazione della configurazione morfologica rispetto agli anni '50.
B	Variazioni di morfologia tra tipologie contigue rispetto agli anni '50 (Tabella 6).
C	Variazioni tra tipologie non contigue rispetto agli anni '50 (Tabella 6).

V2: Variazioni di larghezza

DESCRIZIONE

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 modifica di larghezza dell'alveo).

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Pianura alluvionale
TIPO DI MISURA: Immagini telerilevate / Analisi GIS	

Tale indicatore viene utilizzato sia nel caso di **confinati** che di **semi- non confinati**, purché di **grandi dimensioni** (G: larghezza > 30 m). Analogamente al precedente indicatore (VI), si differenzia tra le due tipologie, in quanto per i confinati i restringimenti possibili non possono superare il 33% circa della larghezza iniziale, altrimenti verrebbero classificati come semiconfinati (l'indice di confinamento supererebbe il valore di 1.5). Pertanto, per i confinati si utilizzano solo le classi A e B. Per gli aspetti metodologici valgono all'incirca le stesse considerazioni fatte per l'indicatore VI, ovvero è necessario disporre del **volo IGM GAI 1954/55** e di un volo recente. Le misure possono essere condotte anche nel caso in cui l'alveo attuale misuri meno di 30 m ma il confronto con il 1954 – '55 evidenzi una riduzione certa della larghezza (ovvero variazione superiore al margine di incertezza delle misure). Le misure richiedono la georeferenziazione con software **GIS** e possono essere condotte per una serie di sezioni nel tratto con una scansione spaziale predefinita o per aree.

Per ulteriori approfondimenti sull'argomento si rimanda alle “*Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*” ([SURIAN et al., 2009d](#)).

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m)
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto agli anni '50.
B	Variazioni di larghezza ($> 15\%$) rispetto agli anni '50.

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m)
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto agli anni '50.
B	Variazioni di larghezza moderate (15-35%) rispetto agli anni '50.
C	Variazioni di larghezza intense ($> 35\%$) rispetto agli anni '50.

V3: Variazioni altimetriche

DESCRIZIONE

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.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Alveo
TIPO DI MISURA: Dati pregressi e/o rilievo terreno	

Le variazioni altimetriche si applicano a corsi d'acqua **confinati** e **semi- non confinati** di **grandi dimensioni** (G: larghezza > 30 m). Anche per questo indicatore, analogamente ai precedenti V1 e V2, si differenzia leggermente tra confinati e semi- non confinati (i confinati presentano un caso in meno data la loro dinamica ridotta rispetto ai semi- non confinati).

Si rimarca il fatto che nel caso di torrenti montani confinati di piccole dimensioni, fenomeni di incisione o sedimentazione anche molto significativi, in occasione di eventi eccezionali, possono ritenersi normali. Tuttavia, tali modifiche di quota del fondo, per omogeneità con gli altri indicatori di variazione morfologica, non vengono considerate per corsi d'acqua di piccole dimensioni ai fini della valutazione complessiva dello stato morfologico.

A differenza delle variazioni planimetriche (per le quali si prende a riferimento la situazione del 1954 – '55), in questo caso si valutano le variazioni altimetriche complessive verificatesi durante una o più fasi di incisione che hanno seguito un periodo di sedimentazione o equilibrio, in accordo ai vari studi condotti a scala nazionale, a partire circa dalla fine del XIX – inizi del XX secolo. Tale semplificazione permette infatti di utilizzare meglio le evidenze sul terreno (dislivelli complessivi tra attuale piana inondabile e terrazzo recente: si veda dopo).

Per valutare le variazioni avvenute, si effettua dapprima una ricerca delle **informazioni** e **dati** eventualmente disponibili (rilevi topografici di profili e/o sezioni), inclusi eventuali studi riportati in letteratura scientifica. Nel caso, peraltro frequente, di assenza di dati, si ricorre ad evidenze sul **terreno**. Nel caso di incisione, si effettua una valutazione dell'abbassamento complessivo del fondo sulla base della misura di dislivelli tra superfici omologhe (piana inondabile attuale e terrazzo oppure sommità della barra attuale e sommità dei depositi di barra riconosciuti in affioramento in corrispondenza di scarpate). Tali determinazioni si possono avvalere di osservazioni fatte da foto aeree, che possano permettere di ricavare informazioni cronologiche certe sulle superfici rispetto alle quali si misurano i dislivelli. Ad esempio, una superficie attuale di piana inondabile o di terrazzo può essere riconosciuta sulle foto aeree di un determinato anno come una barra: misurando sul terreno il dislivello tra sommità delle ghiaie lungo una scarpata di erosione di tale superficie e la sommità delle ghiaie delle barre attuali, è possibile ricavare una stima dell'abbassamento del letto rispetto a quel determinato anno. È opportuno sottolineare che tali misure sono affette da un certo grado di incertezza e, per avere stime sufficientemente attendibili, è necessario effettuare più osservazioni in uno stesso tratto.

Per ulteriori approfondimenti sull'argomento si rimanda alle *“Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive”* ([SURIAN et al., 2009d](#)).

Sulla base dei dati disponibili e/o delle evidenze e misure sul terreno, si giunge ad una classificazione delle variazioni altimetriche: si tenga conto che non è qui richiesta una valutazione

precisa delle variazioni quanto piuttosto un range tale da attribuire il tratto ad una delle possibili classi di variazione.

Nel caso di assoluta mancanza di dati, informazioni ed evidenze sul terreno, tale indicatore non viene valutato e si esclude quindi dal conteggio finale.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA		CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE		SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m)
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (≤ 0.5 m).	
B	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤ 3 m).	
C	Variazioni della quota del fondo intense (> 3 m).	

TIPOLOGIA		SEMI-NON CONFINATI
CAMPIDI APPLICAZIONE		SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m)
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (≤ 0.5 m): quota del fondo pressoché invariata per stabilità altimetrica o per sedimentazione e completo recupero di una precedente incisione (ad es., indotto dalla presenza di una briglia).	
B	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤ 3 m). Alveo inciso: esistono dislivelli tra nuova piana inondabile (quando presente) e terrazzi recenti ma talora non molto evidenti. Alveo aggradato: la quota del fondo è più alta rispetto alla piana inondabile.	
C1	Variazioni della quota del fondo intense ($3 \div 6$ m). Alveo fortemente inciso: i dislivelli tra nuova piana inondabile (quando presente) e terrazzi recenti sono molto marcati, con presenza di varie evidenze quali frequenti sponde alte ed instabili, destabilizzazione di strutture trasversali, esposizione di pile di ponti, ecc. Alveo fortemente aggradato: dislivelli molto marcati tra quota del fondo e piana inondabile.	
C2	Variazioni della quota del fondo molto intense (> 6 m). Alveo eccezionalmente inciso (ad es., a seguito di intensa attività di escavazione di sedimenti nel passato). In genere, oltre alle evidenze precedenti, sono disponibili dati o notizie certe di tali livelli di abbassamento. Alveo eccezionalmente aggradato.	

PUNTEGGI

Per ogni indicatore, è riportato il **punteggio parziale** relativo alle classi *A*, *B* e *C* nell'apposita colonna a destra (prima colonna affiancata alle risposte). L'operatore quindi cercherà il punteggio relativo alla risposta scelta. Nella colonna immediatamente a destra si riporta il **punteggio progressivo** (casella con bordo spesso) in modo che, al termine della compilazione della scheda, è immediatamente disponibile lo scostamento totale.

Nella successiva colonna (ultima colonna a destra, caselle tratteggiate) è richiesto all'operatore di esprimere un giudizio sul **grado di confidenza** nelle risposte, prevedendo 3 casi: (1) Alta (A); (2) Media (M); (3) Bassa (B). Possono infatti esserci dei casi in cui si ha un'oggettiva mancanza di informazioni precise o dati, a differenza di altre risposte che sono date con assoluta certezza. È quindi opportuno, a posteriori, poter distinguere questi diversi casi. Nel caso di confidenza media o bassa, bisogna sulle schede indicare anche se l'incertezza è tra la classe *A* e *B*, tra la classe *B* e *C* o addirittura tra tutte e 3 le classi (in quest'ultimo caso si inserisce l'iniziale della classe di confidenza in ambedue le caselle). Nel caso invece di confidenza alta, l'iniziale "A" va inserita al di sopra delle due caselle oppure va omessa (nel caso di assenza di indicazioni, si intende che la confidenza è alta).

Si possono presentare casi di estrema artificializzazione (presenza pressoché continua di un tipo di opera lungo il tratto) di uno o pochi indicatori che possono drasticamente compromettere la qualità del tratto, senza tuttavia che siano presenti altri elementi di artificialità. In tali casi l'artificialità potrebbe risultare nettamente sottostimata: per ovviare a ciò, si è ritenuto opportuno prevedere dei punteggi aggiuntivi per gli indicatori ritenuti più significativi (*A4*, *A6*, *A7*, *A9*).

L'ultima parte della scheda è dedicata al calcolo dei punteggi complessivi e quindi degli indici. La somma dei punteggi relativi a tutti gli indicatori fornisce una misura dello scostamento. Si calcola quindi dapprima lo **scostamento totale** (*Stot*), ottenuto dalla sommatoria dei punteggi relativi a tutti gli indicatori utilizzati. Tale valore viene poi normalizzato, rapportandolo allo scostamento massimo (*Smax*), ovvero la somma dei punteggi attribuiti a tutti gli indicatori della tipologia in esame. Si noti tuttavia che vanno esclusi i punteggi per quegli indicatori non valutati (in quanto non applicabili) per il caso in esame. In pratica, si ritorna all'inizio della scheda e si calcola la somma dei punteggi della classe *C* per quegli indicatori per i quali non è stata cerchiata una delle tre risposte in quanto non applicabili (*Sna*). Tale valore va quindi sottratto al punteggio massimo attribuibile alla tipologia in esame (*Max(Stot)*) che è pari a 119 per i confinati e a 142 per i semi- non confinati). Si ricava pertanto l'**Indice di Alterazione Morfologica** (*IAM*), come valore normalizzato dello scostamento rispetto al massimo scostamento possibile. Si noti che i punteggi aggiuntivi eventualmente assegnati ad alcuni indicatori (*A4*, *A6*, *A7*, *A9*) in condizioni di estrema artificializzazione vanno a sommarsi allo scostamento totale mentre vengono esclusi dal calcolo dello scostamento massimo: ciò comporta il fatto che è possibile (seppure improbabile) il caso in cui *Stot* > *Smax* (pertanto risulterebbe *IAM* > 1). In questi casi si assume il valore massimo di *IAM* = 1.

Si definisce infine l'**Indice di Qualità Morfologica** *IQM* = 1 – *IAM*. In base all'*IQM* viene ricavata la **classe di qualità morfologica** del tratto (elevato, buono, moderato, scadente, pessimo).

In base all'informazione sul **grado di confidenza**, è possibile ottenere una stima (sebbene semplificata) del grado di incertezza complessivo del punteggio finale: piuttosto che ottenere un singolo valore, si ricava un campo di valori (che può essere riportato nella casella tratteggiata a destra). Se il campo di valori è ristretto e non è tale da implicare l'assegnazione a due possibili classi diverse, il risultato è soddisfacente, altrimenti è possibile che esista un'incertezza nell'attribuzione alla classe finale. In tali casi si consiglia di approfondire le risposte sulle quali si sono espressi livelli di confidenza non elevata, attraverso l'acquisizione di ulteriori informazioni/dati.

APPENDICE 2

SCHEMA DI VALUTAZIONE PER

ALVEI CONFINATI

IDRAIM: sistema di valutazione IDRomorfologica, Analisi e Monitoraggio dei Corsi d'Acqua**SCHEDA DI VALUTAZIONE PER ALVEI CONFINATI**

Versione 1 - Gennaio 2011

GENERALITA'

Data _____ Operatori _____
 Bacino _____ Corso d'acqua _____
 Estremità monte _____ Estremità valle _____
 Codice Segmento _____ Codice Tratto _____ Lunghezza tratto (m) _____

INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE INIZIALE**1. Inquadramento fisiografico**

Unità fisiografica _____

2. Confinamento

Grado confinamento (%) _____ >90, 10-90 Indice confinamento _____ (1-1.5)

3. Morfologia alveo

Immagine utilizzata _____ (nome, anno)

Numero canali _____ CS=canale singolo, CM/W=canali multipli o wandering

Confinato a canale singolo (CS):

Configurazione fondo _____ R=Roccia, C=Colluviale, G=Gradinata, LP=Letto piano, RP=Riffle Pool, D=Dune
A=Artificiale, NC= non classificabile (elevata profondità o forte alterazione)

Confinato a canali multipli o wandering (CM/W):

Indice intrecciamento _____ 1-1.5, >1.5 Indice anastomizzazione _____ 1-1.5, >1.5

Tipologia _____ W= Transizionale wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anastomizzato

Pendenza media fondo _____ Larghezza media alveo (m) _____

Sedimenti (dominanti) alveo _____ A=Argilla, L=Limo, S=Sabbia, G=Ghiaia, C=Ciottoli, M=Massi

4. Altri elementi per delimitazione tratto

Monte _____ Valle _____
 discontinuità pendenza, affluente, diga, artificializzazione, variazioni confinamento, variazioni larghezza alveo,
 variazioni in granulometria sedimenti o configurazione fondo, altro (specificare) _____

Altri dati / informazioni eventualmente disponibiliArea drenaggio (sottesa alla chiusura del tratto) (km²) _____Diametro sedimenti D₅₀ (mm) _____ Unità _____ F=Fondo, B=Barra (SU=superficiale, SO=sottostrato)

Portate liquide _____ M=misurate, S=stimate, ND=non disponibili

Stazione idrometrica (se M) _____ Portata media annua (m³/s) _____ Q_{1.5} (m³/s) _____

Portate massime (indicare anno e Q quando noti) _____

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA**Continuità**

		parz.	prog.	conf.
F1	Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso			
A	Assenza di alterazioni della continuità di sedimenti e materiale legnoso	0		
B	Lieve alterazione (ostacoli nel flusso ma non intercettazione)	3		

F3 Connesione tra versanti e corso d'acqua

A	Pieno collegamento tra versanti e corridoio fluviale (>90% tratto)	0		
B	Collegamento per porzione significativa del tratto (33-90%)	3		
C	Collegamento per piccola porzione tratto (≤33%)	5		

parz.: punteggi parziali (cerchiare) prog.: punteggi progressivi

conf: livello di confidenza nella risposta, con M=Medio, B=Basso (Alto viene omesso)

livello confidenza tra A e B

livello confidenza tra B e C

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei Corsi d'Acqua**Morfologia**

Configurazione morfologica

F6 Morfologia del fondo e pendenza della valle		(si applica a confinati a canale singolo)	
A	Forme di fondo coerenti con la pendenza media della valle	0	
B	Forme di fondo non coerenti con la pendenza media della valle	3	
C	Completa alterazione delle forme di fondo	5	

Non si applica nel caso di confinato con fondo in roccia, nonché nel caso di corso d'acqua profondo per il quale non è possibile osservare la configurazione del fondo

--	--	--	--

F7 Forme e processi tipici della configurazione morfologica		(si applica a canali multipli o wandering)	
A	Assenza ($\leq 5\%$) di alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale	0	
B	Alterazioni per porzione limitata del tratto ($\leq 33\%$)	3	
C	Consistenti alterazioni per porzione significativa del tratto ($> 33\%$)	5	

--	--	--	--

Configurazione sezione

F9 Variabilità della sezione			
A	Assenza o presenza localizzata ($\leq 5\%$ tratto) di alterazioni naturale eterogeneità della sezione	0	
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione limitata del tratto ($\leq 33\%$)	3	
C	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione significativa del tratto ($> 33\%$)	5	

--	--	--	--

Struttura e substrato alveo

F10 Struttura del substrato			
A	Naturale eterogeneità sedimenti e <i>clogging</i> poco significativo	0	
B	<i>Clogging</i> accentuato in varie porzioni del sito	2	
C1	<i>Clogging</i> accentuato e diffuso ($> 90\%$)	5	
C2	Completa alterazione del substrato per rivestimento del fondo ($> 33\%$ tratto)	6	

Non si valuta nel caso di fondo in roccia o fondo sabbioso, nonché nel caso di corso d'acqua profondo per il quale non è possibile osservare il fondo

--	--	--	--

F11 Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni			
A	Presenza significativa di materiale legnoso	0	
C	Presenza molto limitata o assenza di materiale legnoso	3	

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

--	--	--	--

Vegetazione fascia perifluviale

F12 Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale			
A	Aampiezza di formazioni funzionali elevata	0	
B	Aampiezza di formazioni funzionali intermedia	2	
C	Aampiezza di formazioni funzionali limitata	3	

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

--	--	--	--

F13 Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti lungo le sponde			
A	Estensione lineare formazioni funzionali $> 90\%$ lunghezza massima disponibile	0	
B	Estensione lineare formazioni funzionali 33-90% lunghezza massima disponibile	3	
C	Estensione lineare formazioni funzionali $\leq 33\%$ lunghezza massima disponibile	5	

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

--	--	--	--

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei Corsi d'Acqua

ARTIFICIALITA'

Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte

		parz.	prog.	conf.
A1	Opere di alterazione delle portate liquide			
A	Alterazioni nulle o poco significative ($\leq 10\%$) delle portate formative e con $TR > 10$ anni	0		
B	Alterazioni significative ($> 10\%$) delle portate con $TR > 10$ anni	3		
C	Alterazioni significative ($> 10\%$) delle portate formative	6		

A2 Opere di alterazione delle portate solide

A	Assenza di opere di alterazione del flusso di sedimenti o presenza trascurabile (dighe con area sottesa $< 5\%$ e/o altre opere trasversali con area sottesa $< 33\%$)	0		
B1	Presenza di dighe (area sottesa 5-33%) e/o briglie di trattenuta non colmate (area 33-66%) e/o briglie di trattenuta colmate o briglie di consolidamento (area $> 66\%$)	3		
B2	Presenza di dighe (area sottesa 33-66%) e/o briglie di trattenuta non colmate (area sottesa $> 66\%$)	6		
C1	Presenza di dighe con area sottesa $> 66\%$	9		
C2	Presenza di diga all'estremità a monte del tratto	12		

Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto

		parz.	prog.	conf.
A3	Opere di alterazione delle portate liquide			
A	Alterazioni nulle o poco significative ($\leq 10\%$) delle portate formative e con $TR > 10$ anni	0		
B	Alterazioni significative ($> 10\%$) delle portate con $TR > 10$ anni	3		
C	Alterazioni significative ($> 10\%$) delle portate formative	6		

A4 Opere di alterazione delle portate solide

A	Assenza di qualsiasi tipo di opera di alterazione del flusso di sedimento/legname	0		
B	Presenza briglie di consolidamento ≤ 1 ogni 200 m e/o briglie aperte	4		
C	Presenza briglie di consolidamento > 1 ogni 200 m e/o briglie di trattenuta a corpo pieno oppure presenza di diga e/o invaso artificiale all'estremità a valle del tratto	6		

Nel caso la densità di opere trasversali, incluse soglie e rampe (vedi A9), è > 1 ogni 100 m, aggiungere 12

A5 Opere di attraversamento

		parz.	prog.	conf.
A	Assenza di opere di attraversamento	0		
B	Presenza di alcune opere di attraversamento (≤ 1 ogni 1000 m in media nel tratto)	2		
C	Presenza diffusa di opere di attraversamento (> 1 ogni 1000 m in media nel tratto)	3		

Opere di alterazione della continuità laterale

		parz.	prog.	conf.
A6	Difese di sponda			
A	Assenza o solo difese localizzate ($\leq 5\%$ lunghezza totale delle sponde)	0		
B	Presenza di difese per $\leq 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	3		
C	Presenza di difese per $> 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	6		

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

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

		parz.	prog.	conf.
A9	Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato			
A	Assenza soglie o rampe e rivestimenti assenti o localizzati ($\leq 5\%$ tratto)	0		
B	Presenza soglie o rampe (≤ 1 ogni 200 m) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ imperm.	3		
C1	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni 200 m) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ imperm.	6		
C2	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili	8		

Nel caso di rivestimenti del fondo (permeabili e/o impermeabili) per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere 12

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei Corsi d'Acqua

Interventi di manutenzione e prelievo

A10 Rimozione di sedimenti

A	Assenza di interventi di rimozione di sedimenti almeno negli ultimi 20 anni	0	
B	Rimozioni localizzate negli ultimi 20 anni	3	
C	Rimozioni diffuse negli ultimi 20 anni	6	

Non si applica nel caso di alveo con fondo in roccia

A11 Rimozione di materiale legnoso

A	Assenza di interventi di rimozione di materiale legnoso almeno negli ultimi 20 anni	0	
B	Rimozione parziale negli ultimi 20 anni	2	
C	Rimozione totale negli ultimi 20 anni	5	

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

A12 Taglio della vegetazione in fascia perifluviale

A	Vegetazione arborea sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0	
B	Taglio selettivo nel tratto e/o raso su ≤50% del tratto negli ultimi 20 anni	2	
C	Taglio raso su >50% del tratto negli ultimi 20 anni	5	

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

V1 Variazioni della configurazione morfologica		<i>(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)</i>		
		parz.	prog.	conf.
A	Assenza di variazioni di configurazione morfologica rispetto ad anni '50	0		
B	Variazioni di configurazione morfologica rispetto ad anni '50	3		

V2 Variazioni di larghezza *(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)*

A	Variazioni di larghezza nulle o limitate (≤15%) rispetto ad anni '50	0		
B	Variazioni di larghezza >15% rispetto ad anni '50	3		

V3 Variazioni altimetriche *(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)*

A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (fino 0.5 m)	0		
B	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤3 m)	4		
C	Variazioni della quota del fondo intense (>3 m)	8		

Non si valuta nel caso di assoluta mancanza di dati, informazioni ed evidenze sul terreno

Scostamento totale:

$S_{tot} =$

Scostamento massimo:

$S_{max} = 119 - S_{na} =$

dove S_{na} = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

Indice di Alterazione Morfologica:

$IAM = S_{tot} / S_{max} =$

se $S_{tot} > S_{max}$ si assume $IAM=1$

Indice di Qualità Morfologica:

$IQM = 1 - IAM =$

Classe di qualità del tratto:

$0 \leq IQM < 0.3$: Pessimo o Cattivo; $0.3 \leq IQM < 0.5$: Scadente o Scarso; $0.5 \leq IQM < 0.7$: Moderato o Sufficiente;

$0.7 \leq IQM < 0.85$: Buono; $0.85 \leq IQM < 1.0$: Elevato

APPENDICE 3

SCHEMA DI VALUTAZIONE PER

ALVEI NON CONFINATI

IDRAIM: sistema di valutazione IDRROMORFOLOGICA, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

SCHEDA DI VALUTAZIONE PER ALVEI SEMI- NON CONFINATI		
Versione 1 - Gennaio 2011		
GENERALITA'		
Data _____	Operatori _____	
Bacino _____	Corso d'acqua _____	
Estremità monte _____	Estremità valle _____	
Codice Segmento _____	Codice Tratto _____	Lunghezza tratto (m) _____
INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE INIZIALE		
1. Inquadramento fisiografico		
Ambito fisiografico _____	CM=Collinare-montano, P=Pianura	Unità fisiografica _____
2. Confinamento		
Grado confinamento (%) _____	>90, 10-90, ≤10	
Indice confinamento _____	1-1.5, 1.5-n, >n (n=5 alvei canale singolo; n=2 alvei a canali multipli e wandering)	
Classe confinamento _____	SC=Semiconfinato, NC=Non Confinato	
3. Morfologia alveo		
Immagine utilizzata _____	(nome, anno)	
Indice sinuosità _____	1-1.05, 1.05-1.5, >1.5	
Indice intrecciamento _____	1-1.5, >1.5	Indice anastomizzazione _____ 1-1.5, >1.5
Tipologia _____	R=Rettilineo, S=Sinuoso, M=Meandriforme, SBA= Transizionale sinuoso barre alternate, W= Transizionale wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anastomizzato	
Configurazione fondo _____	R=Roccia, G=Gradinata, LP=Letto piano, RP=Riffle Pool, D=Dune	
(solo per morfologie R, S, M, SBA)	A= Artificiale, NC= non classificabile (elevata profondità o forte alterazione)	
Pendenza media fondo _____	Larghezza media alveo (m) _____	
Sedimenti (dominanti) alveo _____	A=Argilla, L=Limo, S=Sabbia, G=Ghiaia, C=Ciottoli, M=Massi	
4. Altri elementi per delimitazione tratto		
Monte _____	Valle _____	
discontinuità pendenza, affluente, diga, artificializzazione, variazioni dimensioni pianura e/o confinamento, variazioni larghezza alveo, variazioni granulometria sedimenti, altro (specificare) _____		
Altri dati / informazioni eventualmente disponibili		
Area drenaggio (sottesa alla chiusura del tratto) (km ²) _____		
Diametro sedimenti D ₅₀ (mm) _____	Unità _____	F=Fondo, B=Barra (SU=superficiale, SO=sottostrato)
Portate liquide _____	M=misurate, S=stimate, ND=non disponibili	
Stazione idrometrica (se M) _____	Portata media annua (m ³ /s) _____	Q _{1.5} (m ³ /s) _____
Portate massime (indicare anno e Q quando noti) _____		

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA**Continuità**

parz. prog. conf.

F1 Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso		
A	Assenza di alterazioni della continuità di sedimenti e materiale legnoso	0
B	Lieve alterazione (ostacoli nel flusso ma non intercettazione)	3
C	Forte alterazione (forte discontinuità di forme per intercettazione)	5

F2 Presenza di piana inondabile

A	Presenza di piana inondabile continua (>66% tratto) ed ampia	0	
B	Presenza di piana inondabile discontinua (10 - 66%) di qualunque ampiezza o >66% ma stretta	3	
C	Assenza o presenza trascurabile (<10% di qualunque ampiezza)	5	

Non si valuta nel caso di alvei in ambito montano lungo conoidi a forte pendenza (>3%)

parz.: punteggi parziali (cerchiare)

prog.: punteggi progressivi

livello confidenza tra A e B

conf: livello di confidenza nella risposta, con M=Medio, B=Basso (Alto viene omesso)

livello confidenza tra B e C

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

F4 Processi di arretramento delle sponde		
A	Presenza di frequenti sponde in arretramento soprattutto sul lato esterno delle curve	0
B	Sponde in arretramento poco frequenti in quanto impediscono da opere e/o scarsa dinamica alveo	2
C	Completa assenza oppure presenza diffusa di sponde instabili per movimenti di massa	3

Non si valuta in caso di alvei rettilinei o sinuosi a bassa energia (bassa pianura, basse pendenze e/o basso ts al fondo)

F5 Presenza di una fascia potenzialmente erodibile		
A	Presenza fascia potenzialmente erodibile ampia e per >66% tratto	0
B	Presenza fascia erodibile ristretta o ampia ma per 33-66% tratto	2
C	Presenza fascia potenzialmente erodibile di qualunque ampiezza per ≤33% tratto	3

Morfologia

Configurazione morfologica

F7 Forme e processi tipici della configurazione morfologica		
A	Assenza (≤5%) di alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale	0
B	Alterazioni per porzione limitata del tratto (≤33%)	3
C	Consistenti alterazioni per porzione significativa del tratto (>33%)	5

F8 Presenza di forme tipiche di pianura

A	Presenti forme di pianura attuali (laghi meandro abbandonato, canali secondari, ecc.)	0
B	Presenti tracce forme pianura non attuali (abbandonate dopo anni '50) ma riattivabili	2
C	Completa assenza di forme di pianura attuali o riattivabili	3

Si valuta solo per fiumi meandriformi (oggi e/o in passato) in ambito fisiografico di pianura

Configurazione sezione

F9 Variabilità della sezione		
A	Assenza o presenza localizzata (≤5% tratto) di alterazioni naturale eterogeneità della sezione	0
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione limitata del tratto (≤33%)	3
C	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione significativa del tratto (>33%)	5

Non si valuta in caso di alvei rettilinei, sinuosi, meandriformi per loro natura privi di barre (bassa pianura, basse pendenze e/o basso trasporto al fondo) (naturale omogeneità di sezione)

Struttura e substrato alveo

F10 Struttura del substrato		
A	Naturale eterogeneità sedimenti e <i>clogging</i> poco significativo	0
B	Corazzamento o <i>clogging</i> accentuato in varie porzioni del sito	2
C1	Corazzamento o <i>clogging</i> accentuato e diffuso (>90%) e/o affioramento occasionale substrato	5
C2	Affioramento diffuso del substrato per incisione o rivestimento fondo (>33% tratto)	6

Non si valuta nel caso di fondo sabbioso, nonché di corso d'acqua profondo per il quale non è possibile osservare il fondo

F11 Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni

A	Presenza significativa di materiale legnoso	0
C	Presenza molto limitata o assenza di materiale legnoso	3

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

Vegetazione fascia perifluviale

F12 Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale		
A	Aampiezza di formazioni funzionali elevata	0
B	Aampiezza di formazioni funzionali intermedia	2
C	Aampiezza di formazioni funzionali limitata	3

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

F13 Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti lungo le sponde		
A	Estensione lineare formazioni funzionali >90% lunghezza massima disponibile	0
B	Estensione lineare formazioni funzionali 33-90% lunghezza massima disponibile	3
C	Estensione lineare formazioni funzionali ≤33% lunghezza massima disponibile	5

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

ARTIFICIALITA'

Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte

parz. prog. conf.

A1 Opere di alterazione delle portate liquide		
A	Alterazioni nulle o poco significative (≤10%) delle portate formative e con $TR > 10$ anni	0
B	Alterazioni significative (>10%) delle portate con $TR > 10$ anni	3
C	Alterazioni significative (>10%) delle portate formative	6

A2 Opere di alterazione delle portate solide		
A	Assenza di opere di alterazione del flusso di sedimenti o presenza trascurabile (dighe con area sottesa <5% e/o altre opere trasversali con area sottesa <33%)	0
B1	Presenza di dighe (area sottesa 5-33%) e/o opere con totale intercettazione (area 33-66%) e/o opere con intercettazione parziale/nulla (area >33% pianura/collina o >66% ambito montano)	3
B2	Presenza di dighe (area sottesa 33-66%) e/o opere con totale intercettazione (area sottesa >66% o all'estremità a monte del tratto)	6
C1	Presenza di dighe (area sottesa >66%)	9
C2	Presenza di diga all'estremità a monte del tratto	12

Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto

A3 Opere di alterazione delle portate liquide		
A	Alterazioni nulle o poco significative (≤10%) delle portate formative e con $TR > 10$ anni	0
B	Alterazioni significative (>10%) delle portate con $TR > 10$ anni	3
C	Alterazioni significative (>10%) delle portate formative	6

A4 Opere di alterazione delle portate solide		
A	Assenza di qualsiasi tipo di opera di alterazione del flusso di sedimento/legname	0
B	<i>Ambito pianura/collina: presenza briglie, traverse, casse in linea ≤1 ogni 1000 m</i> <i>Ambito montano: briglie di consolidamento ≤1 ogni 200 m e/o briglie aperte</i>	4
C	<i>Ambito pianura/collina: presenza briglie, traverse, casse in linea >1 ogni 1000 m</i> <i>Ambito montano: briglie di consolidamento >1 ogni 200 m e/o briglie di trattenuta a corpo pieno oppure presenza di diga e/o invaso artificiale all'estremità a valle del tratto (qualunque ambito)</i>	6

Nel caso la densità di opere trasversali, incluse soglie e rampe (vedi A9), è >1 ogni n, aggiungere 12
dove n=100 m in ambito montano, o n=500 m in ambito di pianura/collina

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

A5	Opere di attraversamento		
A	Assenza di opere di attraversamento	0	
B	Presenza di alcune opere di attraversamento (≤ 1 ogni 1000 m in media nel tratto)	2	
C	Presenza diffusa di opere di attraversamento (> 1 ogni 1000 m in media nel tratto)	3	

Opere di alterazione della continuità laterale

A6	Difese di sponda		
A	Assenza o solo difese localizzate ($\leq 5\%$ lunghezza totale delle sponde)	0	
B	Presenza di difese per $\leq 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	3	
C	Presenza di difese per $> 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	6	

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

A7	Arginature		
A	Argini assenti o distanti oppure presenza argini vicini o a contatto $\leq 10\%$ lunghezza sponde	0	
B	Presenza intermedia di argini vicini e/o a contatto (a contatto $\leq 50\%$ lunghezza sponde)	3	
C	Presenza elevata di argini vicini e/o a contatto (a contatto $> 50\%$ lunghezza sponde)	6	

Nel caso di argini a contatto per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere 12

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

A8	Variazioni artificiali di tracciato		
A	Assenza di variazioni artificiali di tracciato note in passato (tagli meandri, spostamenti alveo, ecc.)	0	
B	Presenza di variazioni di tracciato per $\leq 10\%$ lunghezza tratto	2	
C	Presenza di variazioni di tracciato per $> 10\%$ lunghezza tratto	3	

A9	Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato		
A	Assenza soglie o rampe e rivestimenti assenti o localizzati ($\leq 5\%$ tratto)	0	
B	Presenza soglie o rampe (≤ 1 ogni m) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ impermeabili	3	
C1	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni m) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ impermeabili	6	
C2	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili	8	

m=200 m in ambito montano; m= 1000 m in ambito di pianura/collina

Nel caso di rivestimenti del fondo (permeabili e/o impermeabili) per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere 12

Interventi di manutenzione e prelievo

A10	Rimozione di sedimenti		
A	Assenza di significativa attività di rimozione recente (ultimi 20 anni) e in passato (da anni '50)	0	
B	Moderata attività in passato ma assente di recente (ultimi 20 anni), oppure assente in passato ma presente di recente	3	
C	Intensa attività in passato oppure moderata in passato e presente di recente	6	

A11	Rimozione di materiale legnoso		
A	Assenza di interventi di rimozione di materiale legnoso almeno negli ultimi 20 anni	0	
B	Rimozione parziale negli ultimi 20 anni	2	
C	Rimozione totale negli ultimi 20 anni	5	

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

IDRAIM: sistema di valutazione IDRromorfologica, Analisi e Monitoraggio dei corsi d'acqua

A12 Taglio della vegetazione in fascia perifluviale		
A	Vegetazione arborea sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0
B	Taglio selettivo nel tratto e/o raso su ≤50% del tratto negli ultimi 20 anni	2
C	Taglio raso su >50% del tratto negli ultimi 20 anni	5

Non si valuta al di sopra del limite del bosco o in corsi d'acqua con naturale assenza di vegetazione perifluviale

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

parz. prog. conf.

V1 Variazioni della configurazione morfologica <i>(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)</i>		
A	Assenza di variazioni di configurazione morfologica rispetto ad anni '50	0
B	Variazioni di configurazione morfologica tra tipologie contigue rispetto ad anni '50	3
C	Variazioni di configurazione morfologica tra tipologie non contigue rispetto ad anni '50	6

V2 Variazioni di larghezza <i>(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)</i>		
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate (≤15%) rispetto ad anni '50	0
B	Variazioni di larghezza moderate (15-35%) rispetto ad anni '50	3
C	Variazioni di larghezza intense (>35%) rispetto ad anni '50	6

V3 Variazioni altimetriche <i>(si applica solo ad alvei con larghezza>30 m)</i>		
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (fino 0.5 m)	0
B	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤ 3 m)	4
C1	Variazioni della quota del fondo intense (> 3 m)	8
C2	Variazioni della quota del fondo molto intense (> 6 m)	12

Non si valuta nel caso di assoluta mancanza di dati, informazioni ed evidenze sul terreno

Scostamento totale:

$S_{tot} =$

Scostamento massimo:

$S_{max} = 142 - S_{na} =$

dove S_{na} = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

Indice di Alterazione Morfologica:

$IAM = S_{tot} / S_{max} =$

se $S_{tot} > S_{max}$ si assume $IAM=1$

Indice di Qualità Morfologica:

$IQM = 1 - IAM =$

Classe di qualità del tratto:

$0 \leq IQM < 0.3$: Pessimo o Cattivo; $0.3 \leq IQM < 0.5$: Scadente o Scarso; $0.5 \leq IQM < 0.7$: Moderato o Sufficiente;

$0.7 \leq IQM < 0.85$: Buono; $0.85 \leq IQM < 1.0$: Elevato

BIBLIOGRAFIA

- ABBE T.B. & MONTGOMERY D.R. (2003). *Patterns and process of wood debris accumulation in the Queets River basin, Washington*. Geomorphology, 51, 81-107.
- AGENCES DE L'EAU (1998). *SEQ Physique: A System for the Evaluation of the Physical Quality of Watercourses*; Agences de l'Eau, 15 pp.
- ANDREWS, E. D. (1980). *Effective and bankfull discharge of streams in the Yampa basin, western Wyoming*, Journal of Hydrology, 46, 311-330.
- ANDREWS E.D. (1983). *Entrainment of gravel from naturally sorted riverbed material*. Geological Society of American Bulletin, 94, 1225-1231.
- ANDREWS E.D. & PARKER G. (1987). *The coarse surface layer as a response to gravel mobility*. In: C.R.Thorne, J.C.Bathurst & R.D.Hey (Eds), *Sediment Transport in Gravel-bed Rivers*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, U.K., 269-325.
- 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.
- BARBOUR, M.T., J. GERRITSEN, B.D. SNYDER, AND J.B. STRIBLING (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- BARTHOLDY J. & BILLI P. (2002). *Morphodynamics of a pseudomeandering gravel bar reach*. Geomorphology, 42, 293-310.
- BARUFFI F., RUSCONI A. & SURIAN N. (2005). *Le fasce di pertinenza fluviale nella pianificazione dei bacini idrografici: aspetti metodologici ed applicazioni*. Atti Convegno Interpraevent, Riva del Garda, Maggio 2004.
- BENDA L., MILLER D., SIAS J., MARTIN D., BILBY R., VELDHUISEN C. & DUNNE T. (2003). *Wood recruitment processes and wood budgeting*. In: Gregory S., Boyer K. & Gurnell A. (Eds), *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, American Fisheries Society Symposium 37, American Fisheries Society, 49-73.
- BENINI G. (1990). *Sistemazioni idraulico-forestali*, Utet, 283 pp.
- BERTOLDI W., GURNELL A., SURIAN N., TOCKNER K., ZANONI L., ZILIANI L., ZOLEZZI G. (2009). *Understanding reference processes: linkages between river flows, sediment dynamics and vegetated landforms along the Tagliamento River, Italy*. River Research and Applications, 25, 501-516.
- BIEDENHARN D.S., THORNE C.R., SOAR P.J., HEY R.D. & WATSON C.C. (2001). *Effective discharge calculation guide*. Int.J.Sediment Res., 16(4), 445 – 459.
- BILLI P. (1988). *Morfologie fluviali*. Giornale di Geologia, Serie 3a 50(1-2), 27-38.
- BRICE J.C. (1964). *Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska*. US Geol. Surv. Prof. Papers, 422D, 1-41.
- BRICE J.C. (1975). *Airphoto interpretation of the form and behaviour of alluvial rivers*. Report to the U.S. Army Research Office.
- BRICE J.C. (1984). *Planform properties of meandering rivers*. In River Meandering, Proceedings Conference on Rivers '83 , Elliott CM (ed.). ASCE: New York; 1-15.
- BRICE J.C. & BLODGETT J.C. (1978). *Counter measures for Hydraulic Problems at Bridges*. Analysis and Assessment, 1, Report No.FHWA-RD-78-162, Fed. Highway Admin., Washington, DC, 169 pp.

- BRIERLEY G.J. & FRYIRS K.A. (2005). *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, 398 pp.
- BRIERLEY G.J. & FRYIRS K.A. (2008) (Eds). *River Futures. An Integrative Scientific Approach to River Repair*. Society for Ecological Restoration International, Island Press, 304 pp.
- BROOKES A. (1988). *Channelized Rivers. Prospectives for Environmental Management*. John Wiley & Sons, 326 pp.
- BUFFAGNI A., ERBA S. & CIAMPITIELLO M. (2005). *Il rilevamento idromorfologici e degli habitat fluviali nel contesto della direttiva europea sulle acque (WFD): principi e schede di applicazione del metodo Caravaggio* - Notiziario dei metodi analitici, 2, Istituto di Ricerca sulle Acque, CNR IRSA, 32–34.
- BUNTE K. & ABT S.R. (2001). *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-74, 428 pp.
- CASTIGLIONI, G.B. & PELLEGRINI, G.B. (a cura di) (2001). *Note illustrative della Carta geomorfologica della Pianura Padana*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., IV. 207 pp.
- CEN (2002). *A Guidance Standard for Assessing the Hydromorphological Features of Rivers*. CEN – TC 230/WG 2/TG 5: N32
- CHANDESRIS A., MENGIN N., MALAVOI J.R., SOUCHON Y., PELLA H., WASSON J.G. (2008). *Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Principes et methodes*, v3.1. Cemagref, Lyon Cedex, 81 pp.
- CHANDESRIS A., MENGIN N., MALAVOI J.R., SOUCHON Y., PELLA H., WASSON J.G. (2009a). *Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Atlas a large echelle*, v2.0. Cemagref, Lyon Cedex, 58 pp.
- CHANDESRIS A., MALAVOI J.R., MENGIN N., WASSON J.G., SOUCHON Y. (2009b). *Hydromorphology auditing: a generalized framework at a nation scale to view streams and rivers in their landscape context*. 7th ISE & 8th HIC Conference, Chile 2009, 9 pp.
- CHURCH M.A. (1983). *Pattern of instability in a wandering gravel bed channel*. In: J.D. Collison & J. Lewin (eds), *Modern and Ancient Fluvial Systems*, IAS, Spec. Publ. 6, 169-180.
- CHURCH M.A. (1992). *Channel Morphology and Typology*. In: P. Callow and Petts, G.E. (Eds), *The Rivers Handbook*, Oxford, Blackwell, 126 – 143.
- CHURCH M.A., MCLEAN D.G. & WOLCOTT J.F. (1987). *River bed gravels: sampling and analysis*. In: C.R. Thorne, J.C. Bathurst & R.D. Hey (eds), *Sediment Transport in Gravel-bed Rivers*, John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, U.K., 43-88.
- CHURCH M., HAM D. & WEATHERLY H. (2001). *Gravel management in lower Fraser River. Final Report for The City of Chilliwack*, <http://www.geog.ubc.ca/fraserriver/publications.html>, 110 pp.
- CIRF (2006). *La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio*. A cura di: Nardini A. & Sansoni G., Mazzanti Editori, Venezia, 832 pp.
- CLARKE S.J., BRUC-BURGESS L., AND WHARTON G. (2003). *Linking form and function: towards an eco-hydromorphic approach to sustainable river restoration*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 13, 439 – 450.

- COLLINS B.D. & DUNNE T. (1989). *Gravel transport, gravel harvesting, and channel-bed degradation in rivers draining the southern Olympic Mountains, Washington, U.S.A.* Environ.Geol.Water Sci., 13 (3), 213-224.
- COLOMBO A. & FILIPPI F. (2009). *La conoscenza delle forme e dei processi fluviali per la gestione dell'assetto morfologico del fiume Po.* Atti del XVIII Congresso della Società Italiana di Ecologia, Parma, 1-3 settembre 2008, in stampa.
- COSTA J.E. (1975). *Effects of agriculture on erosion and sedimentation in Piedmont province, Maryland.* Bull.Geol.Soc.Am., 86, 1281-1286.
- COTTON C.A. (1940). *Classification and correlation of river terraces.* J.Geomorph., 3, 27-37.
- DA DEPO L., DATEI C., & SALANDIN P. (2004). *Sistemazione dei corsi d'acqua.* Cortina editore, Padova, 815 pp.
- D'AGOSTINO V. (2009). *Filtering-retention check dam design in mountain torrents.* In: Conesa-Garcia C. and Lenzi M.A. (Eds), *Check dams. Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams*, in stampa.
- DANIELS R.B. (1960). *Entrenchment of the Willow Creek Drainage Ditch, Harrison County, Iowa.* American Journal of Science, 258, 161-176.
- DOWNS P.W. & THORNE C.R. (1996). *A geomorphological justification of river channel reconnaissance survey.* Trans.Inst.Br.Geogr., NS 21, 455-468.
- DUFOUR S. & PIÉGAY H. (2009). *From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits.* River Research and Applications, 25, 568-581.
- ENVIRONMENT AGENCY (1998). *River Geomorphology: a practical guide.* Environment Agency, Guidance Note 18, National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, London, 56 pp.
- EUROPEAN COMMISSION (2000). *Directive 2000/60 EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy.* Official Journal L 327, 22/12/2000, 73 pp.
- FAIRBRIDGE R.W. (1969). *The Encyclopedia of Geomorphology.* Reinhold Book Corp., 1117-1138.
- FERRO V. (2006). *La sistemazione dei bacini idrografici.* McGraw-Hill, 848 pp.
- FLEISCHHACKER, T. & KERN, K. (2002). *Ecomorphological Survey of Large Rivers.* German Federal Institute of Hydrology, Postfach 200 253, D-56002 Koblenz, 41pp.
- FLORSHEIM J.L., MOUNT J.F. & CHIN A. (2008). *Bank erosion as a desirable attribute of rivers.* BioScience, 58 (6), 519-529.
- FRISSELL, C.A., W.J. LISS, C.E. WARREN, AND M.D. HURLEY. 1986. *A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context.* Environmental Management 10: 199-214.
- GRANT G.E., SWANSON F.J. & WOLMAN M.G. (1990). *Pattern and origin of stepped-bed morphology in high gradient streams, Western Cascades, Oregon.* Bulletin of the Geological Society of America, 102, 340-354.
- GREGORY D.I. (1984). *Response of a meandering river to artificial modifications.* In: C.M.Elliott (ed), *River Meandering*, Proc.Conf.Rivers'83, ASCE, New York, 399-409.
- GREGORY K.J. & PARK C.C. (1974). *Adjustment of river channel capacity downstream from a reservoir.* Water Resources Research, 10 (4) , 870-873.
- GURNELL A.M., PIÉGAY H., SWANSON F.J. & GREGORY S.V. (2003). *Large wood and fluvial processes.* Freshwater Biology, 47, 601-619.
- GURNELL A., TOCKNER K., EDWARDS P. & PETTS G. (2005). *Effects of deposited*

- wood on biocomplexity of river corridors* - Front.Ecol.Environ., 3 (7), 377-382.
- GURNELL A., TUBINO M., TOCKNER K. (2009). *Linkages and feedbacks in highly dynamic alpine fluvial systems*. Aquatic Science, 71(3), 251-252.
 - HAM D.G. & CHURCH M. (2000). *Bed-material transport estimated from channel morphodynamics: Chilliwack River, British Columbia*. Earth Surface Processes and Landforms, 25, 1123-1142.
 - HASSAN M. A. (2005). *Characteristics of gravel bars in ephemeral streams*. J. Sediment. Res., 75, 29 – 42.
 - HASSAN M.A., EGOZI R. & PARKER G. (2006). *Experiments on the effect of hydrograph characteristics on vertical grain sorting in gravel bed rivers*. Water Resources Research, 42.
 - HUPP C.R. (1999). *Relations among riparian vegetation, channel incision processes and forms, and large woody debris*. In: Darby S.E. & Simon A. (Eds), Incised River Channels, John Wiley & Sons, 219-245.
 - HUPP C .R. & OSTERKAMP W.R. (1996). *Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes* - Geomorphology, 14, 277-295.
 - HUPP C.R. & RINALDI M. (2007). *Riparian vegetation patterns in relation to fluvial landforms and channel evolution along selected rivers of Tuscany (Central Italy)* - Annals of the Association of American Geographers, 97 (1), 12-30.
 - INGLIS C.C. (1949). *The behaviour and controls of rivers and canals*. Central Waterpower Irrigation and Navigation Research Station, Poona, India Research Publication 13, 283 pp.
 - ISPRA (2009). *Implementazione della Direttiva 2000/60/CE - Analisi e valutazione degli aspetti idromorfologici*: <http://www.sintai.sinanet.apat.it/view/index.faces>.
 - KAIL J., HERING D. (2009). *The influence of adjacent stream reaches on the local ecological status of Central European mountain streams*. River Research and Applications, 25(5), 537-550.
 - KELLERHALS R. (1982). *Effects of river regulation on channel stability*. In: R.D.Hey, J.C.Bathurst & C.R.Thorne (eds), Gravel-bed Rivers, Wiley, Chichester, 685-715.
 - KELLERHALS R., CHURCH M. & BRAY D.I. (1976). *Classification and analysis of river processes*. J. Hydraul. Div., ASCE, 102, No.HY7.
 - KNOX J.C. (1977). *Human impacts on Wisconsin stream channels*. Annals of the Association of American Geographers, 67, 323-342.
 - KONDOLF G.M. (1994). *Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining*. Landscape and Urban Planning, 28, 225-243.
 - KONDOLF G.M. (1995). *Geomorphological stream channel classification in aquatic habitat restoration: uses and limitations*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 5, 127-141.
 - LADSON, A.R. AND WHITE, L.J. (1999) *An Index of Stream Condition: Reference Manual*. Department of Natural Resources and Environment, Melbourne, April 1999.
 - LADSON, A.R., WHITE, L.J., DOOLAN, J.A., FINLAYSON, B.L., HART, B.T., LAKE, P.S. AND TILLEARD, J.W. (1999) *Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia*. Freshwater Biology, 41: 453-468.
 - LADSON, A.R. AND WHITE, L.J. (2000) *Measuring stream condition*. In: Brizga, S. and Finlayson, B. (eds.) *River Management, The Australasian Experience*. John Wiley and Sons, Chichester. pp. 265-285

- LANE E.W. (1955). *Design of stable channels*. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 120, 1-34.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, ed.) 2000: *Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer – Empfehlung*. Berlin (Kulturbuch-Verlag)
- LAWLER D.M. (1992). *Process dominance in bank erosion systems*. In: P.A.Carling & G.E.Petts (eds), Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives, Wiley, 117-143.
- LENZI M.A., D'AGOSTINO V. & SONDA D. (2000). *Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti. Criteri metodologici ed esecutivi*. Editoriale Bios, 208 pp.
- LENZI M.A., MAO L., & COMITI F. (2006). *Effective discharge for sediment transport in a mountain river: computational approaches and geomorphic effectiveness*. Journal of Hydrology, 326, 257-276.
- LEOPOLD L.B. & WOLMAN M.G. (1957). *River channel patterns: braided, meandering and straight*. US.Geol.Surv., Prof.Paper, 282-B, 39-85.
- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G. & MILLER J.P. (1964). Fluvial processes in geomorphology. Freeman, S. Francisco.
- LIEBAULT F. & PIEGAY H. (2001). *Assessment of channel changes due to long-term bedload supply decrease, Roubion River, France* – Geomorphology, 36, pp. 167-186.
- LU X.X., ZHANG S.R., XIE S.P. & MA P.K. (2007). *Rapid channel incision of the lower Pearl River (China) since the 1990s as a consequence of sediment depletion* – Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, pp. 1897-1906.
- LUPPI L., RINALDI M., TERUGGI L.B., DARBY S.E., NARDI L. (2009). *Monitoring and numerical modelling of riverbank erosion processes: a case study along the Cecina River (Central Italy)*. Earth Surface Processes and Landforms. DOI: 10.1002/esp.1754, Vol.34 (4), 530-546.
- MACKIN J.H. (1948). *Concept of the graded river*. Geol.Soc.Am.Bull., 59, 463-512.
- MALAVOI J.R. & BRAVARD J.P. (2010). *Elements d'hydromorphologie fluviale*. ONEMA, Baume-Les-Dames, France, 224 pp.
- MALAVOI J.R., BRAVARD J.P., PIEGAY H., HEROUIN E., RAMEZ P. (1998). *Determination de l'espace de liberté des cours d'eau*. Guide technique no. 2, SDAGE RMC, 39 pp.
- MCLEAN D.G. & CHURCH M. (1999). *Sediment transport along lower Fraser River. 2. Estimates based on long-term gravel budget*. Water Resources Research, 35 (8), 2549-2559.
- MOLLARD J.D. (1973). *Air photo interpretation of fluvial features*. Proceedings of the Symposium on Fluvial Processes and Sedimentation, Hydrology Symposium No.9, Inland Waters Directorate, Canada Department of the Environment.
- MONTGOMERY D.R. & BUFFINGTON J.M. (1997). *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*. Geological Society of America Bulletin, 109 (5), 596-611.
- MUHAR, S., KAINZ, M. AND M. SCHWARZ 1998. *Erhebung und Bilanzierung flusstypspezifische erhaltener Fließgewässerabschnitte in Österreich*. Österr. Wasser - und Abfallwirtschaft 50, H. 5/6: 119-127.

- NARDINI A., SANSONI G., SCHIPANI I., CONTE G., GOLTARA A., BOZ B., BIZZI S., POLAZZO A., MONACI M. (2008). *Problemi e limiti della Direttiva Quadro sulle Acque. Una proposta integrativa: FLEA (FLuvial Ecosystem Assessment)*. Biologia Ambientale, 22 (2), 3-18.
- NERI (National Environmental Research Institute), 1999. *National Physical Habitat Index*.
- OLLERO OJEDA A., BALLARÍN FERRER D., DÍAZ BEA E., MORA MUR D., SÁNCHEZ FABRE M., ACÍN NAVERAC V., ECHEVERRÍA ARNEDO M.T., GRANADO GARCÍA D., IBISATE GONZÁLEZ DE MATAUCO A., SÁNCHEZ GIL L., SÁNCHEZ GIL N. (2007). *Un indice hydrogeomorfologico (IHG) para la evaluacion del estado ecologico de sistemas fluviales*. Geographicalia, 52, 113-141.
- PALMER M.A., BERNHARDT E.S., ALLAN J.D., LAKE P.S., ALEXANDER G., BROOKS S., CARR J., CLAYTON S., DAHM C.N., SHAH J.F., GALAT D.L., LOSS S.G., GOODWIN P., HART D.D., HASSETT B., JENKINSON R., KONDOLF G.M., LAVE R., MEYER J.L., O'DONNELL T.K., PAGANO L. & SUDDUTH E. (2005). *Standard for ecologically successful river restoration*. Journal of Applied Ecology, 42: 208-217.
- PAOLETTI A., BRAGA G., COLOMBO A., CROCI S., PEDUZZI G.B., SAVAZZI G. (2007). *La gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo inciso del fiume Po*. Acqua Aria n. 2.
- PARKER G., KLINGEMAN P.C., MCLEAN D.G. (1982). *Bed load and size distribution in paved gravel-bed streams*. J.Hydraul.Div. ASCE, 108 (HY4), 544-571.
- PARSONS, M., THOMS, M. AND NORRIS, R., 2002, *Australian River Assessment System:Review of Physical River Assessment Methods — A Biological Perspective*, Monitoring River Heath Initiative Technical Report no 21, Commonwealth of Australia and University of Canberra, Canberra.
- PECORARI E., COMITI F., RIGON E., PICCO L. & LENZI M.A. (2007). *Caratterizzazione e quantificazione del legname in alveo in corsi d'acqua di grandi dimensioni: risultati preliminari sul fiume Piave, Italia*. Quaderni di Idronomia Montana, 27, 477-488.
- PEDERSEN, M.L. & BAATTRUP-PEDERSEN, A. (2003) *Økologisk overvågning i vandløb og på vandløbsnære arealer under NOVANA 2004-2009 (In Danish)*. Teknisk Anvisning fra DMU nr. 21. National Environmental Research Institute. 128 pp.
- PETTS G.E. (1984). *Impounded Rivers: perspective for ecological management*. Wiley-Interscience Publication, 326 pp.
- PIÉGAY H, DARBY SE, MOSSELMAN E, SURIAN N. 2005. *A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion*. River Research and Applications, 21, 773-789.
- RAVEN P.J., HOLMES N.T.H., DAWSON F.H., FOX P.J.A., EVERARD M., FOZZARD I.R., ROUEN K.J. (1998). *River Habitat Quality. The physical character of rivers and streams in the UK and Isle of Man*. River Habitat Survey Report No. 2, 34 pp.
- RINALDI M. (2003). *Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy*. Earth Surface Processes and Landforms, 28 (6), 587-608.
- RINALDI M. (2006). *La prospettiva geomorfologica e le applicazioni nella gestione degli alvei fluviali*. Atti Giornate di Studio: Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra. Sarzana, 24-25 Ottobre 2006, Autorità di Bacino del Fiume Magra, 39-58.
- RINALDI M. (2008). *Schede di rilevamento geomorfologico di alvei fluviali*. Il Quaternario, 21(1B), 353-366.

- RINALDI M. & DAPPORTO S. (2005). *Monitoraggio e analisi dei processi di arretramento e dei meccanismi di instabilità di sponde fluviali*. In: M. Brunelli & P. Farabollini (Eds), Dinamica Fluviale, Atti Giornate di Studio sulla Dinamica Fluviale, Grottammare, Giugno 2002, Ordine dei Geologi Marche, 165-201.
- RINALDI M. & SURIAN N. (2005). *Variazioni morfologiche ed instabilità di alvei fluviali: metodi ed attuali conoscenze sui fiumi italiani*. In: M. Brunelli & P. Farabollini (Eds), Dinamica Fluviale, Atti Giornate di Studio sulla Dinamica Fluviale, Grottammare, Giugno 2002, Ordine dei Geologi Marche, 203-238.
- RINALDI M. & SIMONCINI C. (2006). *Studio geomorfologico del Fiume Magra e del Fiume Vara finalizzato alla gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità* - Autorità di Bacino del Fiume Magra, Giornata di studio: Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti, Sarzana (SP), 24-25 Ottobre 2006, pp. 93-109.
- RINALDI M. & DARBY S.E. (2008). *Modelling river-bank-erosion processes and mass failure mechanisms: progress towards fully coupled simulations*. In: Habersack H., Piégay H. & Rinaldi M. (Eds), Gravel-Bed Rivers 6 - From Process Understanding to River Restoration. Series Developments in Earth Surface Processes, 11, Elsevier, Netherlands, 213-239.
- RINALDI M., CASAGLI N., DAPPORTO S., GARGINI A. (2004). *Monitoring and modelling of pore water pressure changes and riverbank stability during flow events*. Earth Surface Processes and Landforms, 29 (2), 237-254.
- RINALDI M., SIMONCINI C. & SOGNI D. (2005). *Variazioni morfologiche recenti di due alvei ghiaiosi appenninici: il Fiume Trebbia ed il Fiume Vara* - Supplementi di Geogr. Fis. e Dinam. Quat., VII, pp. 313-319.
- RINALDI M., MENGONI B., LUPPI L., DARBY S.E., MOSSELMAN E. (2008). *Numerical simulation of hydrodynamics and bank erosion in a river bend*. Water Resources Research, 44, W09429, doi:10.1029/2008WR007008.
- RINALDI M., TERUGGI L.B., SIMONCINI C., NARDI L. (2008). *Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale*. Il Quaternario, 21(1B), 291-302.
- RINALDI M., SIMONCINI C. & PIÉGAY H. (2009). *Scientific strategy design for promoting a sustainable sediment management: The case of the Magra River (Central-Northern Italy)*. River Research and Applications, DOI: 10/1002/rra.1243, 25, 607-625.
- ROSGEN, D.L. (1994). *A classification of natural rivers*. Catena, Vol. 22, 169-199. Elsevier Science, B.V., Amsterdam.
- RUST B.R. (1978). *A classification of alluvial systems*. In: A.D. Miall (ed), Fluvial Sedimentology, Can.Soc.Petroleum Geol., Memoir 5, 187-198.
- SCHUMM S.A. (1977). *The Fluvial System*. Wiley, New York, 338 pp.
- SCHUMM S.A. (1985). *Patterns of alluvial rivers*. Annual Reviews of Earth and Planetary Science, 13, 5-27.
- SCHUMM S.A. & LICHTY R.W. (1965). *Time, space and causality in geomorphology*. American Journal of Science, 263, 110-119.
- SCHUMM S.A., HARVEY M.D. & WATSON C.C. (1984). *Incised Channels: Initiation, Evolution, Dynamics, and Control*. Water Resources Publication, Littleton, Colorado, 200 pp.
- SEAR D.A. & ARCHER D. (1998). *Effects of gravel extraction on stability of gravel-bed rivers: the Wooler Water, Northumberland, UK*. In: Klingeman, P.C., Beschta, R.L., Komar, P.D., Bradley, J.B. (Eds.), Gravel-bed Rivers in the Environment, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, pp. 415-432.

- SEAR D.A., NEWSON M.D. & BROOKES A. (1995). *Sediment-related river maintenance: the role of fluvial geomorphology*. Earth Surface Processes and Landforms, 20, 629-647.
- SEAR D.A., NEWSON M.D. & THORNE C.R. (2003). *Guidebook of Applied Fluvial Geomorphology*. Defra/Environment Agency Flood and Coastal Defence R&D Programme, R&D Technical Report FD1914, 233 pp.
- SENNATT K.M., SALANT N.L., RENSHAW C.E. & MAGILLIGAN F.J. (2008). *Assessment of methods for measuring embeddedness: application to sedimentation in flow regulated streams*. Journal of American Water Resources Association, 42 (6), 1671-1682.
- SHIELDS F.D. JR., COPELAND R.R., KLINGEMAN P.C., DOYLE M.W. & SIMON A. (2003). *Design for stream restoration*. Journal of Hydraulic Engineering, 575-584.
- SILIGARDI *et al.* (2007) – IFF2007, *Indice di Funzionalità Fluviale. Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata*. Manuale APAT 2007, 321 pp.
- SIMON A. (1989). *A model of channel response in disturbed alluvial channels*. Earth Surf. Process.Landforms 14, 11-26.
- SIMON A. (1992). *Energy, time, and channel evolution in catastrophically disturbed fluvial systems*. Geomorphology, 5, 345-372.
- SIMON A., HUPP C.R. (1986). *Channel widening characteristics and bank slope development along a reach of Cane Creek, West Tennessee*. In: Subitzsky, S. (Ed.), Selected Papers in Hydrologic Sciences, U.S.Geological Survey Water-Supply Paper 2290, pp. 113-126.
- SIMON A. & DARBY S.E. (1997). *Process-form interactions in unstable sand-bed river channels: a numerical modelling approach*. Geomorphology, 21, 85-106.
- SIMON A. & DARBY S.E. (1999). *The nature and significance of incised river channels*. In: Darby S.E. & Simon A. (Eds), *Incised River Channels. Processes, Forms, Engineering and Management*, John Wiley & Sons, 3-18.
- SIMON A. & CASTRO J. (2003). *Measurement and analysis of alluvial channel form*. In: Kondolf G.M. & Piégay H. (Eds), *Tools in Fluvial Geomorphology*, 291 - 322.
- SIMON A. & RINALDI M. (2006). *Disturbance, stream incision, and channel evolution: the roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response*. Geomorphology, 79, 361-383.
- SIMON A., DICKERSON W. & HEINS A. (2004). *Suspended-sediment transport rates at the 1.5-year recurrence interval for ecoregions of the United States: transport conditions at the bankfull and effective discharge?* Geomorphology, 58, 243-262.
- SIMON A., KONDOLF M., SHIELDS F.D. JR., RHOADS B., MCPHILLIPS M. (2007). *Critical evaluation of how the Rosgen classification and associated “natural channel design” methods fail to integrate and quantify fluvial processes and channel response*. Journal of American Water Resources Association, 43 (5), 1117-1131.
- SURIAN N. (2006). *Effects of human impact on braided river morphology: examples from Northern Italy* - In: SAMBROOK SMITH G.H., BEST J.L., BRISTOW C. & PETTS G.E. (Eds.), *Braided Rivers*, IAS Special Publication 36, Blackwell Science, pp. 327-338.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2003). *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy*. Geomorphology, 50 (4), 307-326.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2004). *Channel adjustments in response to human alteration of sediment fluxes: examples from Italian rivers* - In: GOLOSOV V.,

- BELYAEV V. & WALLING D.E. (Eds.), *Sediment transfer through the fluvial system*, IAHS Publ. 288, pp. 276-282.
- SURIAN N. & CISOTTO A. (2007). *Channel adjustments, bedload transport and sediment sources in a gravel-bed river, Brenta River, Italy* - Earth Surf. Process. and Landforms, 32, pp. 1641-1656.
 - SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., AUDISIO C., MARAGA F., TERUGGI L., TURITTO O. & ZILIANI L. (2009a). *Channel adjustments in northern and central Italy over the last 200 years*. In: James L.A., Rathburn S.L., Whittecar G.R. (eds.), *Management and Restoration of Fluvial Systems with Broad Historical Changes and Human Impacts*, Geological Society of America Special Paper 451, in stampa.
 - SURIAN N., MAO L., GIACOMIN M. & ZILIANI L., (2009b). *Morphological effects of different channel-forming discharges in a gravel-bed river*. Earth Surface Processes and Landforms, DOI:10.1002/esp.1798, in stampa.
 - SURIAN N., ZILIANI L., COMITI F., LENZI M.A., MAO L. (2009c). *Channel adjustments and alteration of sediment fluxes in gravel-bed rivers of north-eastern Italy: potentials and limitations for channel recovery*. River Research and Applications, 25, 551-567, DOI: 10.1002/rra.1231.
 - SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., con il contributo di Audisio C., Barbero G., Cibien L., Cisotto A., Duci G., Maraga F., Nardi L., Simoncini C., Teruggi L.B., Turitto O., Ziliani L. (2009d). *Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*. CLEUP, Padova, 78 pp.
 - TERUGGI L.B. & BILLI P. (1998). *Sedimentology of a pseudomeandering river (Cecina R., central Italy)*. Giornale di Geologia 59 (1 – 2): 267 – 272.
 - THORNE, C.R. (1982). *Processes and mechanisms of river bank erosion*. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.R. (Eds), *Gravel-bed Rivers*, Wiley, Chichester, 227-271.
 - THORNE C.R. (1997). *Channel types and morphological classification*. In: C.R. Thorne, R.D. Hey and M.D. Newson (Eds), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, Wiley, 175-222.
 - THORNE C.R. (1998). *Stream Reconnaissance Handbook*. Geomorphological investigation and analysis of river channels, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 133 pp.
 - THORNE C.R. & EASTON K. (1994). *Geomorphological reconnaissance of the River Sence, Leicestershire for river restoration*. The East Midland Geographer, 17, 40-50.
 - THORNE C.R. & SKINNER K.S. (2001). *Geomorphic approach to regional sediment management in engineered and restored fluvial systems*. Final Report, US Army Research, Development and Standardization Group, UK, London, 54 pp.
 - VALETTE L., CHANDESRIS A., MENGIN N., MALAVOI J.R., SOUCHON Y., WASSON J.G. (2008). *Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau SYRAH CE. Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique*. Cemagref, Lyon Cedex (France), 27 pp.
 - WALLERSTEIN N., THORNE C.R. & DOYLE M.W. (1997). *Spatial distribution and impact of large woody debris in northern Mississippi*. In: Wang, S.S.Y., Langendoen, E.J., Shields, F.D. Jr., (Eds.), *Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision, Stabilization, Rehabilitation, Restoration*, Center for the Computational Hydroscience and Engineering, University of Mississippi, Oxford, MS, 145-150.

- WATSON C.C., HARVEY M.D. & GARBRECHT J. (1986). *Geomorphic-hydraulic simulation of channel evolution*. Proceedings of the 4th Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, da 5-21 a 5-30.
- WILCOCK P.R. & SOUTHDARD J.B. (1988). *Experimental study of incipient motion in mixed-size sediment*. Water Resources Research, 24(7), 1137-1151.
- WILLIAMS G.P. (1978). *The case of the shrinking channels – the North Platte and Platte Rivers in Nebraska*. U.S. Geological Survey Circular, 781, 48 pp.
- WILLIAMS G.P. & WOLMAN M.G. (1984). *Downstream effects of dams on alluvial rivers*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 1286, 83 pp.
- WINKLEY B.R. (1982). *Response of the lower Mississippi to river training and realignment*. In: R.D.Hey, J.C.Bathurst and C.R.Thorne (eds), *Gravel-bed Rivers*, Wiley, Chichester, 652-681.
- WINTERBOTTOM S.J. (2000). *Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland* – Geomorphology, 34, 195-208.
- WYZGA B., AMIROWICZ A., RADECKI-PAWLIK A., ZAWIEJSKA J. (2009). *Hydromorphological conditions, potential fish habitats and the fish community in a mountain river subjected to variable human impacts, the Czarny Dunajec, Polish Carpathians*. River Research and Applications, 25(5), 517-536.
- WOHL E.E. (2000). *Mountain rivers*. American Geophysical Union, Washington DC, 320 pp.
- WOHL E.E., TINKLER K.J. (1998). *Rivers over rock: Fluvial processes in bedrock channels*. American Geophysical Union, Washington DC, 323 pp.
- WOLMAN M.G. & MILLER J.P. (1960). *Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes*. Journal of Geology, 68, no.1, 54-74.
- XU JIONGXIN (1997). *Evolution of mid-channel bars in a braided river and complex response to reservoir construction: an example from the middle Hanjiang River, China* – Earth Surf. Process. and Landforms, 22, 953-965.