

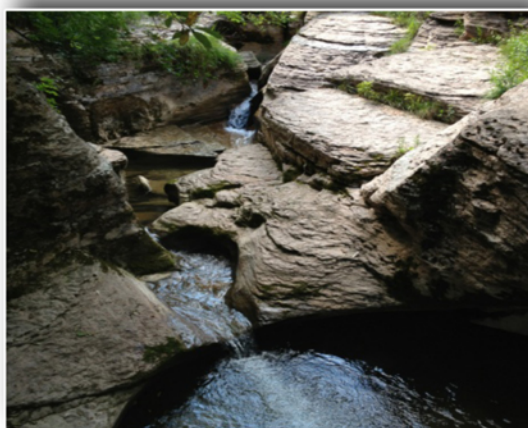


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

IDRAIM

Sistema di valutazione
idromorfologica,
analisi e **m**onitoraggio
dei corsi d'acqua



MANUALI E LINEE GUIDA



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

IDRAIM

Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua

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.

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma
www.isprambiente.gov.it

ISPRA, Manuali e Linee Guida 113/2014
ISBN: 978-88-448-0661-3

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica
ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli
Foto di copertina: Bussetini M., Comiti F., Rinaldi M., Surian N.

Coordinamento editoriale:
Daria Mazzella
ISPRA – Settore Editoria

giugno 2014

Autori

Rinaldi M.⁽¹⁾, Surian N.⁽²⁾, Comiti F.⁽³⁾, Bussettini M.⁽⁴⁾

Con il contributo di

Lastoria B.⁽⁴⁾, Nardi L.⁽¹⁾

Ringraziamenti

Si ringraziano: Stefano Mariani⁽⁴⁾ e Carlo Percopo⁽⁴⁾ per la collaborazione nella revisione del testo, Lorenzo Marchi⁽⁵⁾ e Vincenzo D'Agostino⁽⁶⁾ per le utili indicazioni in merito alla valutazione dei processi di tipo transizionale e non-newtoniano.

⁽¹⁾ Università di Firenze – Dipartimento di Scienze della Terra

⁽²⁾ Università di Padova – Dipartimento di Geoscienze

⁽³⁾ Libera Università di Bolzano – Facoltà di Scienze e Tecnologie

⁽⁴⁾ ISPRA – Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine

⁽⁵⁾ CNR – IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica)

⁽⁶⁾ Università di Padova – Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Citare questo documento come segue: <i>Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussettini M. (2014): IDRAIM – Sistema di valutazione <u>idromorfologica</u>, <u>analisi</u> e <u>monitoraggio</u> dei corsi d'acqua</i> – ISPRA – Manuali e Linee Guida 113/2014. Roma, giugno 2014.
--

INDICE

PREMESSA	1
1. CONCETTI DI BASE DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE	2
1.1 Il sistema fluviale e la connettività dei processi.....	2
1.2 Le scale spaziali	5
1.3 Gli alvei delle zone collinari e montane.....	8
1.4 Gli alvei alluvionali di pianura	10
1.5 Trasporto solido e sedimenti del fondo	14
1.6 Le portate formative	15
1.7 Mobilità laterale ed erosione delle sponde	17
1.8 La vegetazione e i processi fluviali.....	19
1.9 Variazioni morfologiche degli alvei fluviali.....	20
1.10 Attuali conoscenze sui corsi d'acqua italiani.....	24
2. METODI IDROMORFOLOGICI E GEOMORFOLOGICI ESISTENTI	27
2.1 Metodologie di valutazione delle condizioni idromorfologiche dei corsi d'acqua.....	27
2.1.1 Metodi di rilevamento degli habitat fisici.....	27
2.1.2 Metodi di rilevamento degli habitat ripariali	28
2.1.3 Metodi di valutazione delle condizioni morfologiche	28
2.1.4 Metodi di valutazione delle alterazioni del regime idrologico.....	29
2.1.5 Metodi di valutazione della continuità longitudinale dei pesci	30
2.2 Metodi geomorfologici finalizzati alla riqualificazione fluviale.....	30
2.3 Approcci e metodi finalizzati alla zonazione, analisi e/o mitigazione della pericolosità da dinamica morfologica	32
3. STRUTTURA METODOLOGICA	34
3.1 Generalità	34
3.2 Principali caratteristiche del sistema <i>IDRAIM</i>	34
3.3 Le scale spaziali	34
3.4 Le scale temporali	36
3.5 Suddivisione in fasi	37
FASE 1: CARATTERIZZAZIONE DEL SISTEMA FLUVIALE.....	39
4. INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO	40
4.1 Inquadramento generale	40
4.1.1 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico.....	40
4.1.2 Inquadramento climatico e idrologico.....	40
4.1.3 Inquadramento delle aree sorgenti di sedimenti	41
4.1.4 Artificialità e uso del suolo.....	41
4.2 Suddivisione gerarchica del bacino e del reticolo idrografico	41
4.2.1 Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche (step 1)	42
4.2.2 Definizione del grado di confinamento (step 2).....	47
Grado di confinamento (Gc)	47
Indice di confinamento (Ic).....	49
4.2.3 Definizione della morfologia dell'alveo (step 3)	50
Classificazione dei corsi d'acqua non confinati o semiconfinati	58
Indice di sinuosità (Is).....	58
Indice di intrecciamento (Ii).....	61
Indice di anabranching (Ia).....	62
Tipologie basate sulla forma planimetrica.....	63

Classificazione dei corsi d'acqua confinati.....	73
Altri dati per la caratterizzazione morfologica del tratto	74
Risultato dello step 3: suddivisione in base alle morfologie fluviali	76
4.2.4 <i>Suddivisione finale in tratti (step 4)</i>	77
4.2.5 <i>Caratterizzazione e classificazione delle unità morfologiche</i>	82
Classificazione della configurazione del fondo	82
Classificazione complessiva in sotto-tipologie	90
5. CARATTERIZZAZIONE E ANALISI DELLE CONDIZIONI ATTUALI DEL SISTEMA FLUVIALE	93
5.1 Sorgenti e produzione di sedimenti	93
5.2 Processi fluviali nella rete idrografica.....	94
5.2.1 <i>Ricarica di sedimenti</i>	<i>95</i>
5.2.2 <i>Distribuzione spaziale delle morfologie fluviali e fattori di controllo.....</i>	<i>95</i>
5.2.3 <i>Distribuzione spaziale della potenza della corrente.....</i>	<i>96</i>
5.2.4 <i>Bilancio di sedimenti</i>	<i>101</i>
Procedura per il calcolo della portata formativa e della portata solida media annua.....	101
Calcolo del trasporto solido e bilancio di sedimenti attraverso il metodo morfologico.....	103
FASE 2: EVOLUZIONE PASSATA E VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI ATTUALI ..104	
6. ANALISI DELL'EVOLUZIONE PASSATA DEL SISTEMA FLUVIALE	105
6.1 Misura dei principali parametri morfologici e delle relative variazioni	105
6.1.1 <i>Variazioni della configurazione morfologica</i>	<i>105</i>
Indice di sinuosità	106
Indice di intrecciamento.....	106
Indice di anabranching.....	106
6.1.2 <i>Variazioni della larghezza dell'alveo</i>	<i>106</i>
6.1.3 <i>Variazioni della quota del fondo.....</i>	<i>107</i>
6.2 Analisi delle variazioni sul terreno	108
6.2.1 <i>Variazioni complessive della quota del fondo</i>	<i>109</i>
6.2.2 <i>Tendenze attuali della quota del fondo.....</i>	<i>110</i>
6.3 Rappresentazione e classificazione delle variazioni morfologiche e delle tendenze evolutive	111
6.3.1 <i>Rappresentazione delle variazioni morfologiche.....</i>	<i>111</i>
(1) Variazioni in una sezione o tratto	111
(2) Variazioni longitudinali	112
6.3.2 <i>Classificazione delle variazioni morfologiche.....</i>	<i>113</i>
(1) Classificazione delle variazioni morfologiche complessive.....	113
(2) Classificazione delle tendenze attuali.....	114
(3) Classificazione delle traiettorie di evoluzione.....	114
6.4 Analisi delle cause	115
7. VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MORFOLOGICA.....	117
7.1 Condizione di riferimento morfologica	117
7.2 L'Indice di Qualità Morfologica (IQM)	119
7.2.1 <i>Principali caratteristiche del metodo</i>	<i>119</i>
7.2.2 <i>Metodologie di analisi</i>	<i>120</i>
7.2.3 <i>Aspetti trattati e suddivisione in fasi.....</i>	<i>120</i>
7.2.4 <i>Indicatori</i>	<i>122</i>
7.2.5 <i>Compilazione delle schede.....</i>	<i>124</i>
Competenze.....	124
Fonti di informazione e successione delle fasi.....	124
Campi di applicazione.....	126
7.2.6 <i>Attribuzione dei punteggi e sintesi delle informazioni.....</i>	<i>126</i>
7.2.7 <i>Fase di test.....</i>	<i>133</i>

7.2.8	<i>Esempio di applicazione</i>	133
7.3	Individuazione e sintesi delle criticità	140
8.	VALUTAZIONE DELLA DINAMICA MORFOLOGICA	142
8.1	Introduzione	142
8.2	Struttura complessiva di valutazione ed analisi	142
8.3	L'Indice di Dinamica Morfologica (IDM)	143
	Guida alle risposte e compilazione delle schede.....	145
	Attribuzione dei punteggi e definizione dell'IDM.....	145
	Definizione dei sub-indici	146
8.4	La Classificazione di Dinamica di Evento (CDE)	148
8.4.1	<i>Definizione di "evento"</i>	149
8.4.2	<i>Scopo della CDE</i>	150
8.4.3	<i>Valutazione della CDE</i>	151
8.4.4	<i>Classificazione dei tratti</i>	151
8.4.5	<i>Valutazione dell'entità delle variazioni morfologiche attese</i>	152
	Alvei confinati e semiconfinati	152
	Alvei non confinati	153
8.4.6	<i>Valutazione della probabilità di occlusioni</i>	154
8.5	Le fasce fluviali di dinamica morfologica	155
8.5.1	<i>Rassegna di approcci analoghi alla fascia fluviale di dinamica morfologica</i>	155
8.5.2	<i>Definizione delle fasce fluviali di dinamica morfologica e approccio metodologico</i>	157
8.5.3	<i>Procedura per la delimitazione delle fasce fluviali di dinamica morfologica</i>	157
	Ambito fisiografico e morfologia dell'alveo.....	158
	Evoluzione storica.....	158
	Erosione potenziale nel medio termine e probabilità di avulsioni.....	159
	Elementi naturali di confinamento	160
	Opere di difesa e altri elementi antropici	160
	Delimitazione finale della Fdm e Fde	161
8.5.4	<i>Finalità delle fasce e relativo utilizzo</i>	162
	FASE 3: TENDENZE FUTURE	163
9.	MONITORAGGIO MORFOLOGICO	164
9.1	Monitoraggio dell'alveo e del sistema fluviale	164
9.1.1	<i>Monitoraggio degli elementi morfologici naturali</i>	164
	Parametri planimetrici.....	164
	(1) Indice di sinuosità.....	164
	(2) Indice di intrecciamento	166
	(3) Indice di anabranching.....	166
	(4) Morfometria di barre e isole	166
	(5) Sponde in arretramento.....	168
	(6) Ampiezza e continuità piana inondabile.....	169
	Profilo longitudinale	172
	(7) Pendenza del fondo.....	172
	(8) Variazione di quota del fondo	172
	Sezione trasversale.....	174
	(9) Larghezza alveo.....	174
	(10) Profondità alveo.....	175
	(11) Rapporto larghezza / profondità	176
	Sedimenti del fondo	176
	(12) Dimensioni granulometriche del fondo	176
	(13) Strutture del fondo: corazzamento e clogging	178
	Materiale legnoso.....	179
	(14) Abbondanza di materiale legnoso di grandi dimensioni.....	179
	Vegetazione nella fascia perifluviale	181

(15) Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	181
(16) Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde	181
Parametri idrologici	182
(17) Portate liquide.....	182
9.1.2 Monitoraggio degli elementi artificiali.....	182
(18) Dighe	182
(19) Altre opere di alterazione delle portate liquide e/o solide (diversivi o scolmatori, derivazioni, casse di espansione).....	182
(20) Opere trasversali di trattenuta o derivazione	183
(21) Opere trasversali di consolidamento.....	183
(22) Opere di attraversamento.....	183
(23) Difese di sponda	183
(24) Arginature.....	183
(25) Variazioni di tracciato o modifica di forme fluviali nella pianura	184
(26) Variazioni areali della fascia erodibile	184
(27) Rivestimenti del fondo.....	184
(28) Interventi di rimozione di sedimenti e/o ricalibratura dell'alveo	184
(29) Interventi di rimozione del materiale legnoso in alveo.....	185
(30) Taglio di vegetazione nella fascia perifluviale	185
9.1.3 Ulteriori elementi per l'analisi ed il monitoraggio	185
(31) Portate solide	185
(32) Uso del suolo	185
9.2 Monitoraggio della qualità morfologica.....	186
9.2.1 L'Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQM_m).....	186
Uso integrato di IQM_m e IQM	188
9.2.2 Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici.....	188
9.2.3 Monitoraggio ai fini della WFD	189
Monitoraggio di sorveglianza	189
Monitoraggio operativo.....	190
(1) Casi in cui l'artificialità non sia significativamente cambiata	190
(2) Casi di realizzazione o modifica recente di opere	190
Monitoraggio investigativo	191
9.2.4 Valutazione di impatto di opere.....	191
(1) Valutazione di impatto attraverso l' IQM_m	191
(2) Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici.....	191
(3) Quantificazione degli impatti sulle portate solide	192
(4) Modellistica idrodinamica e morfodinamica	192
(5) Modellistica di habitat	192
9.3 Monitoraggio della dinamica morfologica.....	192
(1) Valutazione tramite IDM e CDE	192
(2) Monitoraggio e tendenze temporali di parametri morfologici.....	192
10. PREVISIONE DELL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA.....	193
10.1 Premessa	193
10.2 Metodologie per la previsione dell'evoluzione morfologica degli alvei fluviali	193
10.2.1 Modelli concettuali	193
10.2.2 Modelli empirico / statistici	195
10.2.3 Modelli analitici.....	197
10.2.4 Modelli fisici	198
10.2.5 Modelli numerici.....	198
10.3 Fattori di controllo dell'evoluzione morfologica	200
10.3.1 Cause delle variazioni morfologiche	201
10.3.2 Analisi delle cause e dei fattori di controllo.....	203
10.3.3 Alvei semiconfinati o non confinati fissati artificialmente.....	207
10.3.4 Alvei confinati	208

FASE 4: GESTIONE DEI CORSI D'ACQUA.....	210
11. VALUTAZIONE DELLE POSSIBILI AZIONI DI GESTIONE	211
11.1 Premessa	211
11.2 Rassegna delle possibili azioni per la gestione degli alvei fluviali.....	212
11.3 Individuazione di possibili azioni di miglioramento idromorfologico.....	216
Fase I: Classificazione dello stato ecologico e idromorfologico, definizione delle priorità di azione e selezione dei tratti critici	217
(1) Classificazione dello stato ecologico.....	217
(2) Valutazione della qualità idromorfologica e identificazione dei fattori di alterazione	217
(3) Definizione delle priorità di azione e identificazione delle criticità.....	218
Fase II: Definizione degli scenari di intervento di miglioramento idromorfologico	219
(4) Caratterizzazione del danno potenziale sulla base degli elementi esposti.....	219
(5) Possibili scenari di intervento di miglioramento idromorfologico	220
(6) Valutazione degli effetti di ogni scenario di intervento.....	221
(7) Individuazione dello scenario di intervento ottimale a scala di tratto	222
(8) Valutazione a scala spaziale maggiore	222
11.4 Individuazione di possibili azioni per la mitigazione del rischio	223
Fase I: Classificazione della dinamica morfologica e del rischio da esondazione, definizione delle priorità di azione e selezione dei tratti critici	224
(1) Caratterizzazione del danno potenziale sulla base degli elementi esposti.....	224
(2) Valutazione della dinamica morfologica.....	225
(3) Classificazione del rischio da esondazione.....	225
(4) Definizione delle priorità di azione e identificazione delle criticità.....	225
Fase II: Definizione degli scenari di intervento di mitigazione del rischio	227
(5) Possibili scenari di intervento di mitigazione del rischio	227
(6) Valutazione degli effetti di ogni scenario di intervento.....	228
(7) Individuazione dello scenario di intervento ottimale a scala di tratto	229
(8) Valutazione a scala spaziale maggiore	229
12. PROCEDURA PER L'IDENTIFICAZIONE DEI CORPI IDRICI FORTEMENTE MODIFICATI.....	230
12.1 Corpi idrici fortemente modificati (HMWB).....	230
12.2 Procedura complessiva di identificazione e designazione a HMWB.....	231
12.3 Procedura generale di identificazione preliminare a HMWB	231
12.4 Identificazione preliminare di HMWB	232
12.5 Step 3: Screening.....	233
12.6 Step 6: Valutazione dell'entità delle modifiche idromorfologiche.....	237
12.7 Fasi successive all'identificazione preliminare di HMWB.....	240
BIBLIOGRAFIA.....	241
APPENDICE 1: GUIDA ALLE RISPOSTE - INDICE DI QUALITÀ MORFOLOGICA (IQM).....	1
Generalità e Suddivisione iniziale.....	1
Funzionalità.....	3
Continuità.....	3
F1: Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso.....	3
F2: Presenza di piana inondabile.....	4
F3: Connessione tra versanti e corso d'acqua	8
F4: Processi di arretramento delle sponde.....	9
F5: Presenza di una fascia potenzialmente erodibile.....	10
Morfologia	11
F6: Morfologia del fondo e pendenza della valle.....	11
F7: Forme e processi tipici della configurazione morfologica.....	13
F8: Presenza di forme tipiche di pianura.....	15

F9: Variabilità della sezione.....	16
F10: Struttura del substrato	18
F11: Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni	20
Vegetazione nella fascia perifluviale	21
F12: Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	22
F13: Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde.....	23
<i>Artificialità</i>	24
Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte.....	24
A1: Opere di alterazione delle portate liquide.....	24
A2: Opere di alterazione delle portate solide	27
Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto	31
A3: Opere di alterazione delle portate liquide (diversivi, scolmatori, casse di espansione)	31
A4: Opere di alterazione delle portate solide (briglie di trattenuta, casse in linea, briglie di consolidamento, traverse, diga a valle)	32
A5: Opere di attraversamento (ponti, guadi, tombinature)	34
Opere di alterazione della continuità laterale.....	35
A6: Difese di sponda (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli)	35
A7: Arginature	36
Opere di alterazione della morfologia e/o del substrato.....	37
A8: Variazioni artificiali di tracciato	38
A9: Altre opere di consolidamento (soglie, rampe) e/o di alterazione del substrato (rivestimenti del fondo)	38
Interventi di manutenzione e prelievo.....	39
A10: Rimozione di sedimenti.....	39
A11: Rimozione del materiale legnoso	40
A12: Taglio della vegetazione in fascia perifluviale.....	41
<i>Variazioni morfologiche</i>	42
V1: Variazioni della configurazione morfologica.....	42
V2: Variazioni di larghezza.....	44
V3: Variazioni altimetriche.....	45
Punteggi.....	48
APPENDICE 2: SCHEDA DI VALUTAZIONE IQM PER ALVEI CONFINATI	1
APPENDICE 3: SCHEDA DI VALUTAZIONE IQM PER ALVEI SEMICONFINATI E NON CONFINATI	1
APPENDICE 4: GUIDA ILLUSTRATA ALLE RISPOSTE - pubblicata separatamente	
APPENDICE 5: GUIDA ALLE RISPOSTE - INDICE DI DINAMICA MORFOLOGICA (IDM) 1	
<i>Morfologia e processi</i>	1
M1: Tipologia d'alveo	1
M2: Erodibilità delle sponde.....	2
M3: Erodibilità del fondo.....	4
M4: Processi di arretramento delle sponde	5
M5: Tendenze di larghezza	6
M6: Tendenze altimetriche	7
<i>Artificialità</i>	12
A1: Difese di sponda.....	12
A2: Opere di consolidamento o rivestimento del fondo	13
<i>Variazioni morfologiche</i>	14
V1: Variazione di configurazione morfologica.....	14
V2: Variazione di larghezza.....	15
V3: Variazioni altimetriche.....	16
Punteggi.....	18

APPENDICE 6: SCHEDA DI VALUTAZIONE IDM PER ALVEI SEMICONFINATI E NON CONFINATI	1
APPENDICE 7: GUIDA ALLE RISPOSTE – CLASSIFICAZIONE DI DINAMICA D’EVENTO (CDE).....	1
<i>Fase 1: Variazioni morfologiche.....</i>	<i>1</i>
Indicatori relativi a tratti confinati e semiconfinati.....	1
Instabilità dei versanti adiacenti e degli affluenti.....	1
Tipologie di flusso.....	3
Erodibilità del fondo e delle sponde.....	8
Probabilità di deposizione	9
Tendenza altimetrica	10
Indicatori relativi a conoidi e tratti non confinati.....	14
Conoidi.....	14
Avulsioni e tagli di meandro	15
Erodibilità delle sponde.....	16
Tendenza altimetrica	17
<i>Fase 2: Valutazione della probabilità di occlusioni.....</i>	<i>20</i>
Presenza e tipologia di attraversamenti.....	20
Trasporto di materiale legnoso.....	24
APPENDICE 8: SCHEDA DI VALUTAZIONE CDE PER ALVEI CONFINATI E SEMICONFINATI.....	1
APPENDICE 9: SCHEDA DI VALUTAZIONE CDE PER CONOIDI E ALVEI NON CONFINATI	1

Indice Figure

Figura 1.1 – Il corso d’acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti (da ADBPO, 2008a, modificato da KONDOLF, 1994).	2
Figura 1.2 – Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico (da ADBPO, 2008a, modificato da SEAR <i>et al.</i> , 2003). Zona montana di produzione di sedimenti: (1) frane; (2) alimentazione ed eventuale sbarramento da parte dei sedimenti in alveo; (3) sedimentazione in alveo ed erosione delle sponde. Zona di trasferimento di sedimenti (alta pianura): (4) erosione delle sponde ed accrezione delle barre; (5) costruzione delle sponde per tracimazione. Zona di accumulo di sedimenti (bassa pianura): (6) erosione delle sponde per movimenti di massa; (7) deposizione di sedimenti fini nella piana inondabile; (8) trasporto di <i>wash load</i> dei sedimenti fini al mare.	3
Figura 1.3 – Grado di confinamento e dimensioni dei corsi d’acqua nelle diverse zone del bacino (modificato da BRIERLEY & FRYIRS, 2005 e da CHURCH (1992)).	4
Figura 1.4 – Diagramma schematico del rapporto tra potenza e potenza critica della corrente (modificato da BULL, 1979).	5
Figura 1.5 – Schema dell’approccio gerarchico (<i>hierarchical nested approach</i>) utilizzato nell’ambito del <i>River Styles Framework</i> (modificato da BRIERLEY & FRYIRS (2005)).	7
Figura 1.6 – Classificazione dei corsi d’acqua montani secondo MONTGOMERY & BUFFINGTON (1997). (A) <i>Cascade</i> ; (B) a gradinata (<i>step-pool</i>); (C) letto piano (<i>plane bed</i>); (D) <i>rifle-pool</i> ; (E) <i>dune-ripple</i> .	9
Figura 1.7 – 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>) (da MONTGOMERY & BUFFINGTON (1997)).	9
Figura 1.8 – La forma di un alveo alluvionale come risultato dell’interazione tra variabili guida e condizioni al contorno (da THORNE, 1997).	10
Figura 1.9 – Classificazione dei principali tipi di barre (da KELLERHALS <i>et al.</i> , 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.	11
Figura 1.10 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo SCHUMM (1977).	12
Figura 1.11 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo CHURCH (1992).	13
Figura 1.12 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo ROSEN (1994).	13
Figura 1.13 – Tipologie di trasporto solido.	15
Figura 1.14 – Concetto di <i>portata dominante</i> o <i>efficace</i> secondo WOLMAN & MILLER (1960).	17
Figura 1.15 – Modello concettuale dei processi dominanti di arretramento di sponde fluviali in un sistema fluviale (modificato da LAWLER, 1992 e da RINALDI & DARBY, 2008).	18
Figura 1.16 – Modello concettuale delle risposte di un alveo fluviale ad alterazioni dell’equilibrio dinamico (da LANE, 1955).	21
Figura 1.17 – Modello concettuale di evoluzione di alvei fluviali (CEM: <i>Channel Evolution Model</i>) (modificato da SIMON, 1989 e da RINALDI & SURIAN, 2005).	23
Figura 1.18 – Schema di classificazione delle variazioni morfologiche di fiumi italiani (modificato da SURIAN & RINALDI, 2003).	24
Figura 1.19 – Tipico andamento temporale della quota del fondo in risposta a disturbi antropici durante gli ultimi 100 anni circa osservato per vari fiumi italiani (modificato da SURIAN & RINALDI, 2003 e da RINALDI & SURIAN, 2005).	25
Figura 1.20 – Variazioni temporali della larghezza dell’alveo in 12 corsi d’acqua italiani, calcolate come tasso medio annuo di variazione percentuale rispetto alla larghezza originaria del XIX secolo (da SURIAN <i>et al.</i> , 2009c, modificato).	26
Figura 1.21 – Modello evolutivo relativo ad alcuni casi di studio appenninici (da RINALDI <i>et al.</i> , 2008a, modificato).	26
Figura 3.1 – Suddivisione gerarchica delle scale spaziali.	35
Figura 3.2 – Concetto di traiettoria della morfologia di un corso d’acqua (modificato da DUFOUR & PIÉGAY, 2009).	36

Figura 3.3 – Fasi metodologiche in relazione ai contesti spaziali e temporali del sistema <i>IDRAIM</i>	37
Figura 3.4 – Schema della struttura generale del sistema <i>IDRAIM</i>	38
Figura 4.1 – Suddivisione della seconda sottofase in step.	42
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.	43
Figura 4.3 – Esempio di suddivisione in segmenti del fiume Cecina. Si noti che i segmenti 1 e 4 corrispondono a unità fisiografiche (si veda <i>Figura 4.2</i>), mentre i segmenti 2 e 3 derivano da un'ulteriore suddivisione in base ai caratteri di confinamento nell'attraversamento dell'unità collinare. <i>Segmento 1</i> : collinare montuoso prevalentemente confinato; <i>Segmento 2</i> : collinare con alternanza di tratti confinati e semiconfinati; <i>Segmento 3</i> : collinare semiconfinato – non confinato; <i>Segmento 4</i> : di pianura costiera non confinato.	46
Figura 4.4 – Esempio di suddivisione dei segmenti del fiume Cecina in base al confinamento. 1: Unità collinare-montuosa; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali. A seguito di questo step sono stati individuati preliminarmente 11 tratti.	50
Figura 4.5 – Criteri di classificazione morfologica basati sul tipo di ambito fisiografico, sul confinamento, sulla forma planimetrica e sulla configurazione del fondo. La classificazione morfologica funzionale alla suddivisione in tratti si basa sul numero di canali e sulla forma planimetrica, mentre a un successivo livello di approfondimento si può procedere alla classificazione della configurazione del fondo.	52
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 a un tratto del fiume Tagliamento; (B) Esempio relativo a un tratto del fiume Cecina.	58
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 <i>Figura 4.8</i> , 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).	60
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.	60
Figura 4.9 – Misura dell'indice di intrecciamento.	61
Figura 4.10 – Misura dell'indice di <i>anabranching</i>	62
Figura 4.11 – Alveo rettilineo (F.Chiese).	63
Figura 4.12 – Alveo di tipo sinuoso.	64
Figura 4.13 – Alveo di tipo meandriforme (F.Adda).	65
Figura 4.14 – Alvei con morfologie transizionali: (A) <i>wandering</i> ; (B) sinuoso a barre alternate.....	66
Figura 4.15 – Alveo a canali intrecciati (fiume Tagliamento).	67
Figura 4.16 – Alveo <i>anabranching</i> di tipo anastomizzato. Si riconoscono i canali e le isole inondate a seguito di un evento di piena.	68
Figura 4.17 – Schema delle morfologie fluviali e dei relativi campi di variabilità degli indici morfologici planimetrici. Is : indice di sinuosità Ii : indici di intrecciamento Ia : indice di <i>anabranching</i>	69
Figura 4.18 – Morfologie fluviali e relazioni con i principali parametri di controllo (modificato da <i>RINALDI, 2003</i>). R : Rettilineo; S : Sinuoso; M : Meandriforme; A : <i>Anabranching</i> ; SBA : Sinuoso a barre alternate; W : <i>Wandering</i> ; CI : Canali intrecciati.	70
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.	73
Figura 4.20 – Alvei a canali multipli di ambiente collinare-montuoso. (A) Alveo a canali intrecciati confinato (fiume Bhagirati, India); (B) alveo <i>anabranching</i> confinato (fiume Tayia, Alaska).	74
Figura 4.21 – Riepilogo delle principali tipologie morfologiche basate sul numero di canali (canale singolo o canali multipli) e sugli indici di sinuosità (Is) (non usato per i confinati), di intrecciamento (Ii) e di <i>anabranching</i> (Ia).	74

Figura 4.22 – Esempio di misura di <i>La</i> . I segmenti tratteggiati (1–45) rappresentano le sezioni di misura. Tra le sezioni 17 e 20, la misura <i>La</i> non comprende l'isola (in verde), mentre va inclusa nella misura totale <i>Lt</i> .	76
Figura 4.23 – Esempio di suddivisione del fiume Cecina in 15 tratti ottenuti incrociando i segmenti (step 1), la classificazione del confinamento (step 2) e della morfologia dell'alveo (step 3). 1: Unità collinare-montuosa; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali.	77
Figura 4.24 – Fase di suddivisione iniziale: esempio relativo al fiume Cecina. A conclusione della Fase 1 sono stati individuati 19 tratti. I tratti 2.1, 2.2 e 2.3 derivano dalla suddivisione di un precedente tratto sulla base di forti variazioni dell'indice di confinamento (ovvero della larghezza della pianura), mentre i tratti 2.4 e 2.5 derivano dalla confluenza di un importante affluente. 1: unità collinare-montuosa; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali.	80
Figura 4.25 – Principali morfologie a scala di unità in alvei alluvionali a pendenza elevata (modificato da HALWAS & CHURCH, 2002). Questa classificazione non prevede i “run”, unità di raccordo tra <i>step</i> e <i>pools</i> con caratteristiche idrodinamiche molto simili a quelle delle <i>glide</i> , ma di dimensioni minori.	83
Figura 4.26 – Morfologie a scala di unità in alvei alluvionali e semi-alluvionali. (1) <i>Cascade</i> (o rapida a gradini); (2, 3) <i>rapids</i> (o rapida a scivolo; alcune sotto-unità definite come <i>transverse ribs</i> sono indicate dalla freccia); (4) <i>riffle</i> ; (5) serie di <i>steps</i> alternati a <i>pools</i> , con assenza di unità <i>run</i> ; (6) <i>log step</i> ; (7) <i>glide</i> (indicato dalla freccia, in primo piano un <i>riffle</i>); (8) <i>glide</i> ; (9) <i>pool</i> a valle di rapida in roccia (<i>bedrock cascade</i>).	84
Figura 4.27 – (A) Alveo in roccia a pendenza relativamente modesta su substrato di arenaria (Arizona, USA). Nella pozza in primo piano è presente comunque del sedimento. (B) alveo in roccia a pendenza elevata su rocce calcaree nelle Prealpi Bellunesi, con frequenti pozze.	85
Figura 4.28 – Esempi di tratti colluviali. (A) Alveo colluviale in Val d'Oten (Dolomiti Bellunesi); (B) particolare di un tratto colluviale nelle Dolomiti di Sesto.	86
Figura 4.29 – Morfologie di alvei alluvionali a scala di tratto (modificato da MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997).	87
Figura 4.30 – Alvei a gradinata. (A) Alveo a gradinata riconducibile alla tipologia <i>cascade</i> , torrente Maso di Spinelle, Trento. (B) Alveo a gradinata riconducibile alla categoria <i>step-pool</i> , rivo di Caserine, Trento.	88
Figura 4.31 – Alvei a letto piano. (A) Morfologia a letto piano dominata da unità di <i>glide</i> (fiume Isonzo, Slovenia). (B) Morfologia a letto piano con unità a “ <i>rapids</i> ” (torrente Perino, Piacenza). Per livelli di piena ordinaria gli allineamenti di massi (<i>transverse ribs</i> , che appaiono come piccoli <i>steps</i> in condizioni di magra) vengono completamente sommersi.	89
Figura 4.32 – Alvei a <i>riffle-pool</i> . (A) Alveo a <i>riffle-pool</i> (fiume Piave, Belluno) visto da monte verso valle. In primo piano si vede un <i>pool</i> , con a valle un <i>riffle</i> (pelo libero regolare, tirante maggiore). (B) Alveo a <i>riffle-pool</i> (torrente Sentino, Marche).	89
Figura 4.33 – Alveo non confinato a dune su substrato sabbioso (Rivo di Caserine). Sulle dune sono sovrimposte delle increspature più piccole (<i>ripples</i>). Il canale presenta una certa sinuosità, e per questo le increspature sono curvilinee.	90
Figura 4.34 – Alveo a fondo artificiale sistemato con briglie ad interdistanza ridotta (T. Pramper, Belluno).	90
Figura 4.35 – Suddivisione in sotto-tipi morfologici. Alvei artificiali. (0) A fondo artificiale. Alvei confinati a canale singolo. (1) In roccia; (2) colluviale a sedimenti grossolani - misti; (3) colluviale a sedimenti misti; (4) <i>cascade</i> ; (5) a gradinata; (6) letto piano; (7) <i>riffle-pool</i> . Alvei alluvionali semiconfinati o non confinati a canale singolo, confinati/semi-/non confinati transizionali o a canali multipli. (8) a canali intrecciati ghiaioso; (9) a canali intrecciati con isole; (10) <i>anabranching</i> ghiaioso (equiv. ai tipi 3, 5 o 6 secondo NANSON & KNIGHTON (1996)); (11) <i>wandering</i> ; (12) sinuoso a barre alternate ghiaioso; (13) Rettilineo-sinuoso ghiaioso; (14) meandriforme ghiaioso; (15) a canali intrecciati sabbioso; (16) sinuoso a barre alternate sabbioso; (17) rettilineo-sinuoso sabbioso; (18) meandriforme sabbioso; (19) <i>anabranching</i> sabbioso (equiv. ai tipi 2 o 4 secondo NANSON & KNIGHTON (1996)); (20) rettilineo-sinuoso limoso; (21) meandriforme limoso; (22) anastomizzato (equiv. al tipo 1 secondo NANSON & KNIGHTON (1996)).	92
Figura 5.1 – Mappa dell'indice di connettività applicata ai bacini Strimm-Gadria (Provincia Autonoma di Bolzano) (da CAVALLI ET AL. 2013), utilizzando come <i>sink</i> la sezione di chiusura del bacino (A) e il reticolo idrografico principale (B).	94
Figura 5.2 – Distribuzione spaziale della pendenza e della larghezza dell'alveo e della pianura alluvionale lungo il corso del fiume Cecina.	95

Figura 5.3 – Andamenti della potenza e della potenza unitaria della corrente lungo il Fiume Magra confrontati con la distribuzione spaziale della pendenza, della classe di confinamento (C: confinato; SC: semiconfinato; NC: non confinato) e della morfologia dell'alveo (CS: canale singolo; R: rettilineo; S: sinuoso; SBA: sinuoso a barre alternate; W: wandering; CI: canali intrecciati).....	99
Figura 5.4 – Andamento della pendenza del pelo libero al variare dei 5 intervalli spaziali selezionati.	100
Figura 5.5 – Confronto tra potenza e potenza unitaria della corrente calcolata con i due diversi dettagli.	100
Figura 5.6 – Esempio di bilancio di sedimenti per i fiumi Vara e Magra (modificato da <i>RINALDI et al., 2009</i>) realizzato attraverso l'applicazione delle equazioni di trasporto solido di Shields (1), Schoklitsch (2), Parker (3) e Meyer-Peter & Müller (4).	103
Figura 6.1 – Misura della quota media del fondo dell'alveo da sezione topografica e formula per il calcolo della quota media pesata.	108
Figura 6.2 – Variazioni in una sezione o tratto. A: Variazioni dell'indice di intrecciamento in un tratto del Fiume Tagliamento nel corso degli ultimi 200 anni; B: Variazioni di larghezza in un tratto del Fiume Panaro (modificato da <i>RINALDI et al., 2008a</i>). C: Variazioni di quota del fondo in una sezione del Fiume Arno (modificato da <i>RINALDI & SIMON, 1998</i>).	112
Figura 6.3 – Variazioni di quota del fondo e larghezza in due tratti del Fiume Magra (modificato da <i>RINALDI et al., 2008a</i>).	112
Figura 6.4 – Confronto di profili longitudinali del Fiume Arno (modificato da <i>AGNELLI et al., 1998</i>).	113
Figura 6.5 – Variazione spazio-temporale della larghezza dell'alveo del Fiume Trebbia (modificato da <i>PELLEGRINI et al., 2008</i>).	113
Figura 6.6 – Classificazione delle traiettorie passate e attuali. T1: assenza di variazioni; T2: variazioni senza inversione di tendenza; T3: variazioni con inversione di tendenza.	115
Figura 6.7 – Esempio di diagramma schematico che mette in evidenza le relazioni cause (impatti antropici) effetti (variazioni morfologiche) in un contesto di evoluzione temporale (Magra e Vara: da <i>RINALDI, 2009</i> . Le date relative alle varie fasi si riferiscono agli anni delle principali cartografie o foto aeree analizzate).	116
Figura 7.1 – Traiettoria di evoluzione e condizione di riferimento. Qualunque condizione di riferimento intesa come precisa configurazione morfologica è un punto arbitrariamente scelto lungo la traiettoria di evoluzione.	119
Figura 7.2 – Schema degli aspetti considerati e delle relative scale spaziali.	121
Figura 8.1 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle variazioni morfologiche (Fase 1) in tratti confinati e semiconfinati.	153
Figura 8.2 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle variazioni morfologiche (Fase 1) in tratti non confinati.	154
Figura 8.3 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle probabilità da occlusioni (Fase 2) (per tutte le tipologie di alveo).	154
Figura 8.4 – Definizione della fascia dei meandri attraverso l'analisi storica (modificata da <i>MALAVOI et al., 1998</i>).	159
Figura 9.1 – Morfometria di barre ed isole. Misura della lunghezza delle barre laterali (<i>l_{bl}</i>), lunghezza delle barre longitudinali (<i>l_{blo}</i>), area delle isole (<i>A_i</i>) e rispettive densità (<i>Db_l</i> , <i>Db_{lo}</i> , <i>D_i</i>), queste ultime ottenute <i>Good Ecological Potential</i> dividendo il numero per la lunghezza <i>l_{tr}</i> del tratto.....	167
Figura 9.2 – Misura della Lunghezza di sponde in arretramento (<i>l_{sa}</i>).	169
Figura 9.3 – Misura del Tasso di arretramento delle sponde (<i>T_{as}</i>). 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).	169
Figura 9.4 – Misura dell'ampiezza (<i>A_p</i>) e della continuità longitudinale (<i>C_p</i>) della piana inondabile. L'area in verde rappresenta la piana inondabile. L'ampiezza si ricava dalla media delle misure effettuate per le sezioni dalla 1 alla 17.	172
Figura 9.5 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQ_f) e del relativo Tasso di variazione (Δq_f) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto con tendenza unica all'incisione.	173
Figura 9.6 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQ_f) e del relativo Tasso di variazione (Δq_f) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto caratterizzato da 3 sottotratti a tendenze diverse.	174

Figura 9.7 – Esempio di conteggio di <i>LW</i> 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 in diametro (<i>LW</i>). 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 (<i>A</i>) da misurare ed utilizzare per il calcolo della densità areale di <i>LW</i> è quella compresa tra le linee verdi.....	180
Figura 10.1 – Scenari futuri di variazione morfologica in accordo con le differenti strategie di gestione dei sedimenti. L'intensità relativa delle variazioni di larghezza e di quota del fondo sono calcolate in riferimento alla morfologia di fine XIX sec.–inizio XX sec.. Vengono mostrate differenti traiettorie di evoluzione recente: A: variazione morfologica intensa; B: variazione morfologica moderata; C: variazione morfologica lieve o assente. S1–S4: possibili condizioni finali (da S1 = massima variazione morfologica a S4 = ulteriore restringimento/abbassamento del fondo) (modificato da <i>SURIAN et al. (2009e)</i>).....	195
Figura 10.2 – Traiettoria di evoluzione della morfologia dell'alveo del fiume Tagliamento e fattori di controllo nel corso degli ultimi 200 anni (modificato da <i>ZILIANI & SURIAN, 2012</i>).....	204
Figura 10.3 – Percorso schematico di valutazione degli scenari evolutivi futuri in alvei non confinati mobili.....	205
Figura 10.4 – Percorso di valutazione degli scenari evolutivi futuri. (1) Ricostruzione della traiettoria di evoluzione passata.....	206
Figura 10.5 – Percorso di valutazione degli scenari evolutivi futuri. (2) Analisi delle cause e dei fattori di controllo. A: Copertura forestale del bacino idrografico: fattore progressivo (iniziale riduzione della copertura, cui segue una fase di aumento); B: escavazione di sedimenti: fattore discontinuo temporaneo.	206
Figura 10.6 – Percorso di valutazione degli scenari evolutivi futuri. (3) Valutazione dei possibili scenari futuri nello scenario “non intervento”. A e B come in <i>Figura 10.5</i>	207
Figura 11.1 – Struttura schematica dei due percorsi finalizzati all'individuazione delle possibili azioni di gestione.	212
Figura 11.2 – Struttura schematica della <i>Fase I</i> del percorso di individuazione delle possibili azioni di miglioramento idromorfologico.	217
Figura 11.3 – Struttura schematica della <i>Fase II</i> del percorso di individuazione dei possibili interventi di miglioramento idromorfologico.	219
Figura 11.4 – Struttura schematica della <i>Fase I</i> del percorso di individuazione dei possibili interventi di mitigazione del rischio.	224
Figura 11.5 – Struttura schematica della <i>Fase II</i> del percorso di individuazione dei possibili interventi di mitigazione del rischio.	227
Figura 12.1 – Fasi previste dal <i>CIS</i> per l'identificazione e designazione dei <i>HMWB</i>	231
Figura 12.2 – Diagramma di flusso per l'identificazione preliminare degli <i>HMWB</i> (<i>ISPRA, 2009</i>).....	232
Figura 12.3 – Esempi di corpi idrici potenzialmente ricadenti nel caso 1 previsto in <i>Tabella 12.1</i>	235
Figura 12.4 – Esempi di corpi idrici potenzialmente ricadenti nel caso 2 previsto in <i>Tabella 12.1</i>	235
Figura 12.5 – Esempi di corpi idrici potenzialmente ricadenti nel caso 3 (e anche nel caso 2) descritto in <i>Tabella 12.1</i>	235
Figura 12.6 – Esempi di opere trasversali che possono determinare per i corpi idrici <i>immediatamente a valle</i> di esse le condizioni di cui al caso 4 previsto in <i>Tabella 12.1</i> . A sinistra diga, a destra briglia di trattenuta non colmata.....	235
Figura 12.7 – Esempio di opera trasversale (a sinistra) che potrebbe determinare le condizioni di cui al caso 5 previsto in <i>Tabella 12.1</i> . Il corpo idrico a monte di briglie di trattenuta non colmate o di traverse fluviali, o comunque contenente almeno una di queste strutture, viene considerato potenzialmente <i>HMWB</i> se l'estensione del tratto reso artificialmente lenticò dalle opere stesse (a destra) è dominante rispetto alla lunghezza del corpo idrico (> 50%).	236
Figura 12.8 – Esempi di notevoli alterazioni del substrato attribuibili a forti alterazioni idrologiche (caso 6): <i>clogging</i> (a sinistra) e corazzamento anomalo (a destra).	236
Figura 12.9 – Esempio di alterazioni indotte dai rilasci periodici delle centrali idroelettriche (<i>hydropeaking</i>) che possono determinare il caso 7 previsto nella <i>Tabella 12.1</i> . Nella foto di sinistra il corpo idrico è soggetto al deflusso minimo vitale (<i>DMV</i>), mentre nella foto di destra la situazione è alterata dalla presenza	

dell'*hydropedaling* (oscillazioni periodiche di portata). La variazione di portata, data la sezione relativamente stretta e compatta del corpo idrico, si riflette in un aumento notevole della velocità media della corrente e degli sforzi tangenziali al fondo.236

Figura 12.10 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 1.237

Figura 12.11 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 2.238

Figura 12.12 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 4.238

Figura 12.13 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 5.238

Figura 12.14 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 6.239

Figura 12.15 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 8.239

Figura 12.16 – Diagramma di flusso per la designazione definitiva degli *HMWB* (ISPRA, 2009).240

Indice Figure Appendice 1

Figura A1.1 – Diagramma schematico delle interazioni tra indicatori a supporto della classificazione di *F2*.7

Figura A1.2 – Diagramma di flusso dell'indicatore *A1*.26

Figura A1.3 – Diagramma di flusso dell'indicatore *A2* per l'ambito *montano*.30

Figura A1.4 – Diagramma di flusso dell'indicatore *A2* per l'ambito *collinare - di pianura*.30

Indice Figure Appendice 5

Figura A5.1 – Scheda di supporto per il riconoscimento di evidenze sul terreno delle tendenze altimetriche (da *SURIAN et al., 2009b*).11

Indice Figure Appendice 7

Figura A7.1 – Variazioni morfologiche molto rilevanti associate all'instabilità dei versanti (a sinistra, alveo visto da valle) e di una colata detritica lungo un affluente che ha determinato uno sbarramento temporaneo (a destra, visto da monte).3

Figura A7.2 – Distribuzione del numero di Melton (a) e dell'inclinazione del conoide (od alveo lungo il conoide, b) nei bacini da colata (*debris flow*) e da trasporto al fondo (*fluvial*). I bacini da piena di detrito sono stati fatti ricadere in questa analisi nei bacini di tipo "*fluvial*". Il riquadro (c) spiega il significato dei grafici: *Q2* rappresenta la mediana, *Q1* e *Q3* il 25° e 75° quartile rispettivamente, e gli estremi i valori minimi e massimi escludendo gli outlier. Da *BERTRAND et al. (2013)*.5

Figura A7.3 – Separazione tra bacini soggetti a colata detritica (in grassetto, sopra la linea) e quelli soggetti a trasporto di fondo (incluse piene di detrito, sotto la linea). Nell'equazione, *S* rappresenta l'inclinazione (in gradi) del conoide, *R* il numero di Melton, ed *e* il numero di Nepero. Da *BERTRAND et al. (2013)*.6

Figura A7.4 – Alvei soggetti a colate detritiche (visti da monte verso valle). A sinistra, si noti in particolare il deposito laterale ("argine") a forma di cuspidi con abbondante presenza di matrice fine e di massi alla sommità. A destra, il confinamento dei versanti impedisce la formazione di argini laterali, ma si nota invece la mancanza di organizzazione del substrato in alveo. La pendenza è > 10%.7

Figura A7.5 – Alvei (visti da valle verso monte) soggetti durante eventi eccezionali a processi classificabili come piene di detrito (*debris flood*). La situazione molto più caotica raffigurata a sinistra deriva da un evento recente di magnitudo molto elevata, in un tratto meno confinato dai versanti rispetto a quello della foto di destra. Le pendenze sono comprese tra 7% e 10%.7

Figura A7.6 – Alvei (visti da valle verso monte) soggetti recentemente ad eventi di piena "eccezionale" con processi classificabili come trasporto al fondo, seppure sicuramente con intensità importanti. L'alveo presenta in entrambi i casi delle barre granulometricamente ben segregate e stratificate (pendenze dei tratti 1-3%).7

Figura A7.7 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle variazioni morfologiche in tratti non confinati.14

Figura A7.8 – Diagramma di flusso per la classificazione della probabilità di occlusioni.20

Figura A7.9 – Le quattro tipologie di attraversamento. I ponti del tipo 1 possono anche essere a campata unica se le dimensioni della luce sono entrambe (larghezza ed altezza) relativamente ridotte.22

Figura A7.10 – Tombinatura occlusa da trasporto di sedimento (colata detritica) con conseguente avulsione.22

Figura A7.11 – Ponti del tipo 1: a sinistra, ad arcate con una pila in alveo. Sulle sponde si vede il materiale legnoso che lo aveva ostruito completamente; a destra, a campata unica, con sia altezza che larghezza insufficienti.	23
Figura A7.12 – Ponti del tipo 2: a sinistra, con pile in alveo, di sufficiente ampiezza per non causare ostruzioni nel caso di trasporto di legno non intenso (immagine tratta da http://tribunatreviso.gelocal.it); a destra, a campata unica con impalcato di altezza teoricamente sufficiente ma con luce di ampiezza troppo ridotta con trasporto intenso di materiale legnoso (si ringrazia per foto la Provincia di La Spezia).	23
Figura A7.13 – Ponte del tipo 3 (Ponte della Vittoria, F. Piave presso Belluno).	23
Figura A7.14 – Esempio di moto congestionato di materiale legnoso.	25

Indice Tabelle

Tabella 1.1 – Schema delle relazioni tra zone del bacino, dimensioni e grado di confinamento degli alvei fluviali.	4
Tabella 1.2 – Schema riepilogativo dei processi fluviali influenzati dalla presenza di vegetazione viva e da detriti legnosi.	19
Tabella 2.1 – Principali metodi di rilevamento di habitat fisici.	28
Tabella 2.2 – Principali metodi per il rilevamento di habitat ripariali.....	28
Tabella 2.3 – Principali metodi per la valutazione delle condizioni morfologiche.	29
Tabella 2.4 – Principali metodi di valutazione dell’alterazione del regime idrologico.	29
Tabella 2.5 – Esempi di metodi e/o indici per la valutazione idromorfologica.	30
Tabella 2.6 – Metodi e procedure per una valutazione complessiva delle condizioni del corso d’acqua e/o finalizzati alla riqualificazione fluviale.	31
Tabella 4.1 – Principali unità fisiografiche.	44
Tabella 4.2 – Definizione delle classi di confinamento sulla base del grado e dell’indice di confinamento.	49
Tabella 4.3 – Differenze tra le varie morfologie fluviali in termini di indici di sinuosità, intrecciamento e <i>anabranching</i> (in grassetto i valori di soglia dei parametri caratterizzanti, quando definibili) oppure in termini di altre caratteristiche morfologiche distintive.	71
Tabella 4.4 – Morfologie fluviali preferenziali in relazione ai principali ambiti fisiografici di pianura in Italia...	72
Tabella 4.5 – Morfologie di alvei alluvionali a scala di unità e a scala di tratto.	86
Tabella 7.1 – Valutazione dello stato morfologico dei corsi d’acqua: suddivisione in categorie e aspetti trattati.	121
Tabella 7.2 – Lista degli indicatori e relativi campi di applicazione. C: confinati; SC: semiconfinati; NC: non confinati; CI/W: canali intrecciati e <i>wandering</i> ; G: grandi (L > 30 m).....	123
Tabella 7.3 – Punteggi relativi agli indicatori di funzionalità.	127
Tabella 7.4 – Punteggi relativi agli indicatori di artificialità.....	127
Tabella 7.5 – Punteggi relativi agli indicatori di variazioni morfologiche.	128
Tabella 7.6 – Riepilogo dei massimi punteggi per le principali tipologie. F = funzionalità; A = artificialità; V = variazioni; P = piccoli; G = medio-grandi.	128
Tabella 7.7 – Classi di qualità morfologica.....	129
Tabella 7.8 – 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.....	140
Tabella 8.1 – Tipici campi di applicazione degli strumenti di valutazione ed analisi della dinamica morfologica. IDM e fasce fluviali sono comunque applicabili anche ai tratti confinati.	143
Tabella 8.2 – Lista degli indicatori per la valutazione dell’IDM.....	144
Tabella 8.3 – Punteggi relativi agli indicatori di Dinamica Morfologica. [DL]: Punteggio attribuito alla Dinamica Laterale; [DV]: Punteggio attribuito alla Dinamica Verticale.	145
Tabella 8.4 – Riepilogo dei massimi punteggi per le principali tipologie. P = corsi d’acqua di piccole dimensioni per i quali non è possibile applicare gli indicatori basati su misure condotte su immagini telerilevate; G = corsi d’acqua di dimensioni medio-grandi per i quali è possibile applicare tutti gli indicatori.....	146
Tabella 8.5 – Classi e relativi punteggi dell’Indice di Dinamica Morfologica.....	146
Tabella 8.6 – Punteggi relativi al sub-indice di Esondazione Indotta.	148
Tabella 8.7 – Classificazione della Dinamica di Evento (4 classi, da “molto elevata” a “bassa”) ottenuta in base all’incrocio tra entità delle variazioni morfologiche e probabilità che si verifichino occlusioni principalmente ad opera del materiale legnoso.....	151
Tabella 8.8 – Rassegna bibliografica di pubblicazioni, italiane e straniere, nelle quali sono stati utilizzati approcci simili a quello di fascia fluviale di dinamica morfologica.....	156
Tabella 8.9 – Schema riassuntivo dell’integrazione dei diversi aspetti per giungere alla definizione della FDM e FDE. Elemento prioritario sta ad indicare che l’elemento è vincolante nella delimitazione della fascia, mentre	

non prioritario indica che l'elemento va considerato ma non influisce sulla delimitazione finale che dipenderà dagli altri elementi.	161
Tabella 9.1 – Metodologie e scansione spaziale per il monitoraggio degli aspetti morfologici. G: di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).....	165
Tabella 9.2 – Principali caratteristiche di <i>IQM</i> e <i>IQM_m</i>	187
Tabella 9.3 – Lista degli indicatori per i cui punteggi sono definite funzioni matematiche per la valutazione attraverso l' <i>IQM_m</i>	187
Tabella 9.4 – Tipi di monitoraggio ai fini della WFD e relative metodologie applicabili.	189
Tabella 10.1 – Sintesi delle principali caratteristiche di modelli previsionali in Geomorfologia Fluviale (modificato da <i>DARBY & VAN DE WIEL, 2003</i> e da <i>ZILIANI, 2011</i>).....	194
Tabella 10.2 – Equazioni per la previsione della configurazione morfologica (modificata da <i>BRIDGE, 1993</i> e da <i>THORNE, 1997</i>). (*): unità di misura Sistema Internazionale	196
Tabella 10.3 – Principali modelli numerici morfodinamici.	199
Tabella 10.4 – Possibili cause di instabilità di un alveo fluviale (modificato da <i>SCHUMM, 1999</i>).	202
Tabella 11.1 – Sintesi delle principali tipologie di azioni e interventi di miglioramento della qualità idromorfologica e relativi effetti.	213
Tabella 11.2 – Sintesi delle principali tipologie di azioni e interventi di mitigazione del rischio da esondazione e da dinamica morfologica e relativi effetti.	214
Tabella 11.3 – Azioni prioritarie in base allo stato ecologico e idromorfologico.	218
Tabella 11.4 – Esempio di Tabella risultante dallo <i>step 5</i>	221
Tabella 11.5 – Struttura schematica della Tabella riepilogativa di valutazione delle variazioni nei vari scenari di intervento. I giudizi sintetici (0: nessun effetto; +: aumento; -: riduzione) corrispondono, quando possibile, a valutazioni quantitative basate sugli indici o su altri parametri analizzati.	222
Tabella 11.6 – Azioni prioritarie in base al rischio idraulico e alla dinamica morfologica.....	226
Tabella 11.7 – Esempio di Tabella risultante dallo <i>step 5</i>	228
Tabella 11.8 – Struttura schematica della Tabella riepilogativa di valutazione delle variazioni nei vari scenari di intervento. I giudizi sintetici (0: nessun effetto; +: aumento; -: riduzione) corrispondono, quando possibile, a valutazioni (quantitative) basate sugli indici o su altri parametri analizzati.	229
Tabella 12.1 – Criteri utilizzati nella fase di <i>screening</i>	234

Indice Tabelle Appendice 1

Tabella A1.1 – Relazioni tra campi di pendenze e morfologia del fondo attesa.	12
Tabella A1.2 – Definizione delle classi dell'indicatore <i>A1</i>	26
Tabella A1.3 – Definizione delle classi in ambito montano in funzione della tipologia di opera e dell'area sottesa dall'opera rispetto all'area sottesa dal tratto.	29
Tabella A1.4 – 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.	29
Tabella A1.5 – Definizione delle classi in funzione della lunghezza degli argini vicini e a contatto (in % rispetto alla lunghezza totale di entrambe le sponde).	37
Tabella A1.6 – Definizione delle morfologie contigue e non contigue nelle variazioni di configurazione morfologica. Morfologie: <i>R</i> = rettilineo, <i>S</i> = sinuoso, <i>M</i> = meandriforme, <i>SBA</i> = sinuoso a barre alternate, <i>W</i> = <i>wandering</i> , <i>CI</i> = canali intrecciati, <i>A</i> = <i>anabranching</i> ; ⇔ = passaggio in entrambi i sensi. Classe: <i>B</i> = passaggio a morfologia contigua; <i>C</i> = passaggio a morfologia non contigua.	44

Indice Tabelle Appendice 5

Tabella A5.1 – Definizione delle morfologie contigue e non contigue nelle variazioni di configurazione morfologica. Morfologie: <i>R</i> = rettilineo, <i>S</i> = sinuoso, <i>M</i> = meandriforme, <i>SBA</i> = sinuoso a barre alternate, <i>W</i> = <i>wandering</i> , <i>CI</i> = canali intrecciati, <i>A</i> = <i>anabranching</i> ; ⇔ = passaggio in entrambi i sensi. Classe: <i>B</i> = passaggio a morfologia contigua; <i>C</i> = passaggio a morfologia non contigua.	15
--	----

Indice Tabelle Appendice 7

Tabella A7.1 – Classificazione delle tipologie di trasporto solido ai fini della presente metodologia.	4
Tabella A7.2 – Classi di erodibilità del fondo.	8
Tabella A7.3 – Classi di erodibilità delle sponde. Le percentuali di lunghezza si intendono valutate su entrambe le sponde (ovvero sulla lunghezza totale di esse).	9
Tabella A7.4 – Classificazione combinata di erodibilità fondo-sponde da utilizzare nel caso di trasporto in massa o transizionale (<i>Figura A7.1</i>).	9
Tabella A7.5 – Equazioni predittive per la capacità di trasporto al fondo in alvei ghiaiosi e ad alta pendenza.	13
Tabella A7.6 – Variazioni morfologiche attese nel caso di tratti non confinati su conoide.	15
Tabella A7.7 – Classi di erodibilità delle sponde in tratti non confinati. Le percentuali di lunghezza si intendono valutate su entrambe le sponde.	17
Tabella A7.8 – Classificazione delle variazioni morfologiche del tratto (IV Lievi; III Medie, II Forti, I Molto Forti) derivante dall'analisi congiunta dell'erodibilità delle sponde e della tendenza altimetrica nei tratti non confinati. *la classe di variazioni "molto forti" si applica solo agli alvei in ambito collinare o montano con pendenza > 1%.	19
Tabella A7.9 – Classi di intensità di trasporto del materiale legnoso.	25

PREMESSA

Il presente Manuale comprende la definizione delle procedure e dei metodi 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.

Il progetto **IDRAIM** nasce nel 2008, in risposta alla necessità da parte di ISPRA di disporre di strumenti geomorfologici come base per la gestione dei corsi d’acqua. La prima fase del progetto (2008 – 2010) si è focalizzata sullo sviluppo di uno strumento di valutazione e monitoraggio della qualità morfologica finalizzato all’implementazione della Direttiva Quadro Acque. Questa prima fase ha portato allo sviluppo dell’Indice di Qualità Morfologica (*IQM*), il quale rappresenta uno degli strumenti operativi della metodologia **IDRAIM**. Tale indice è stato adottato in Italia attraverso il Decreto del Ministro dell’Ambiente n. 260/2010, che stabilisce quali siano i metodi per la classificazione dello stato biologico, chimico e idromorfologico dei corpi idrici. La seconda fase del progetto (2010 – 2014) ha riguardato l’implementazione di altri strumenti di supporto alla Direttiva Quadro Acque, quali l’Indice di Qualità Morfologica per il monitoraggio (*IQMm*) e la procedura per l’identificazione dei corpi idrici fortemente modificati, nonché lo sviluppo della metodologia complessiva **IDRAIM** e di strumenti finalizzati alla valutazione della pericolosità connessa alla dinamica morfologica dei corsi d’acqua.

Il presente volume rappresenta, quindi, il seguito del “Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d’acqua” ([RINALDI et al., 2011a](#)), il quale descrive solamente la procedura di valutazione morfologica prevista dalla Direttiva 2000/60/CE. Per l’analisi e la valutazione delle variazioni del regime idrologico si rimanda invece a quanto riportato in [ISPRA \(2011\)](#).

Il gruppo di lavoro comprende:

- Massimo RINALDI, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, responsabile della ricerca;
- Nicola SURIAN, Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova;
- Francesco COMITI, Facoltà di Scienze e Tecnologie, Libera Università di Bolzano;
- Martina BUSSETTINI, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma;
- Laura NARDI, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze;
- Barbara LASTORIA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma.

Hanno inoltre preso parte a varie fasi della ricerca:

- Carolina ZURI (Università di Firenze)
- Enrico MARCHESE (Libera Università di Bolzano)

1. CONCETTI DI BASE DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE

La Geomorfologia Fluviale può essere sinteticamente definita come lo “studio dei processi di produzione, flusso e 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](#), [WOHL et al., 2013](#)).

1.1 Il sistema fluviale e la connettività dei processi

Il sistema fluviale che fa parte di un bacino idrografico può essere idealmente suddiviso in tre zone secondo 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 a un nastro trasportatore: una sua funzione essenziale è quella di trasferire sedimenti dalle zone di origine (versanti) verso le zone di recapito finale del sistema ([Figura 1.1](#)). Tuttavia, le tre categorie di processi agiscono, in misura diversa, in ogni tratto del sistema fluviale, in particolar modo nei tratti in cui il corso d'acqua è di tipo alluvionale a fondo mobile, dove si realizzano continui scambi di sedimenti tra le sponde e il fondo ([Figura 1.2](#)).

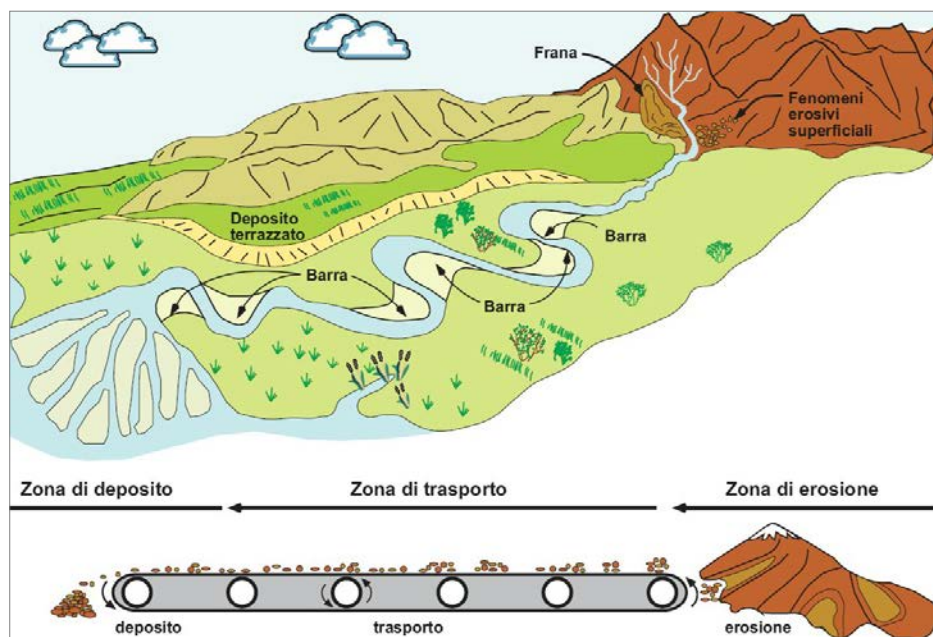


Figura 1.1 – Il corso d'acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti (da [ADBPO, 2008a](#), modificato da [KONDOLF, 1994](#)).

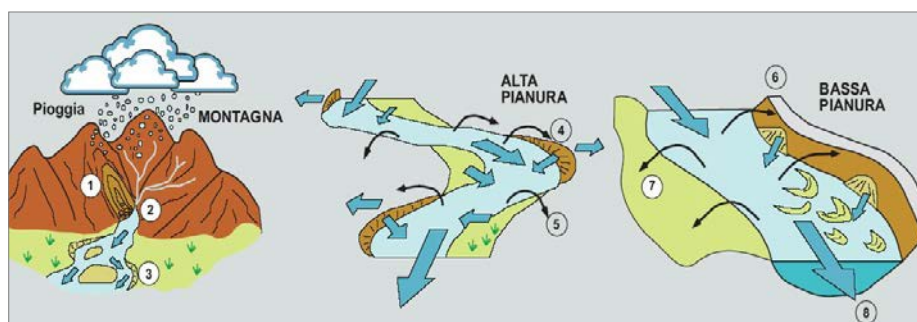


Figura 1.2 – Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico (da [ADBPO, 2008a](#), modificato da [SEAR et al., 2003](#)). Zona montana di produzione di sedimenti: (1) frane; (2) alimentazione ed eventuale sbarramento da parte dei sedimenti in alveo; (3) sedimentazione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

La suddivisione del sistema in zone e processi dominanti riflette anche altre caratteristiche fisiche dei corsi d'acqua, quali il confinamento e le dimensioni ([Tabella 1.1](#)). Infatti, si possono distinguere tre situazioni in base al grado di confinamento dei corsi d'acqua ([Figura 1.3](#)): (1) nella zona collinare - montuosa 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.

[BULL \(1979\)](#) ha ipotizzato che i processi dominanti nelle porzioni diverse di un bacino idrografico (erosione del fondo, erosione laterale, sedimentazione) dipendano dal rapporto tra *potenza della corrente* (*stream power*) disponibile per trasportare sedimenti e *potenza critica* (*critical power*), la quale rappresenta la soglia di innesco del trasporto solido. Secondo tale modello ([Figura 1.4](#)), le zone di testata delle porzioni montane del bacino sono caratterizzate da una potenza disponibile generalmente superiore alla potenza critica e il processo dominante è rappresentato dall'erosione del fondo, mentre nelle zone di bassa pianura la potenza disponibile è inferiore a quella critica, di conseguenza la sedimentazione diventa il processo dominante.

Per quanto riguarda le dimensioni dei corsi d'acqua, esse aumentano sistematicamente attraverso il sistema fluviale al crescere dell'area di drenaggio e quindi delle portate liquide. [CHURCH \(1992\)](#) propone uno schema di suddivisione degli alvei scalandone la larghezza rispetto al diametro medio dei sedimenti presenti sul fondo. In base a tale criterio, si possono distinguere: (1) *alvei di piccole dimensioni* o *corsi d'acqua piccoli* (*small channels*), con il fondo costituito da materiale grossolano e larghezza compresa tra 1 e 10 volte circa le particelle presenti sul fondo; (2) *alvei di medie dimensioni* o *corsi d'acqua intermedi* (*intermediate channels*), quando la larghezza dell'alveo è superiore a 10 volte le particelle presenti sul fondo, ma possono essere ancora influenzati da sbarramenti naturali di sedimenti o di tronchi che possono occupare una porzione significativa della loro sezione (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 dei 20÷30 m e portate formative a partire da circa 20÷50 m³/s).

Tabella 1.1 – 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>)			

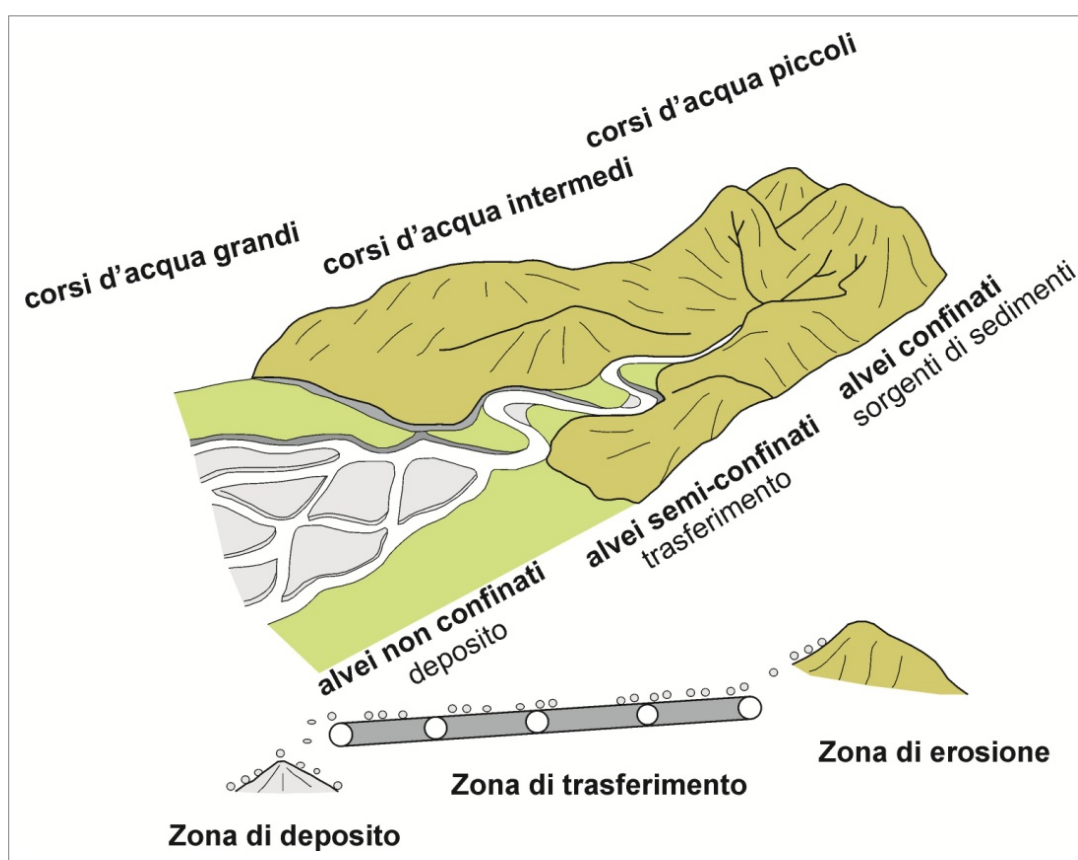


Figura 1.3 – Grado di confinamento e dimensioni dei corsi d'acqua nelle diverse zone del bacino (modificato da [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#) e da [CHURCH \(1992\)](#)).

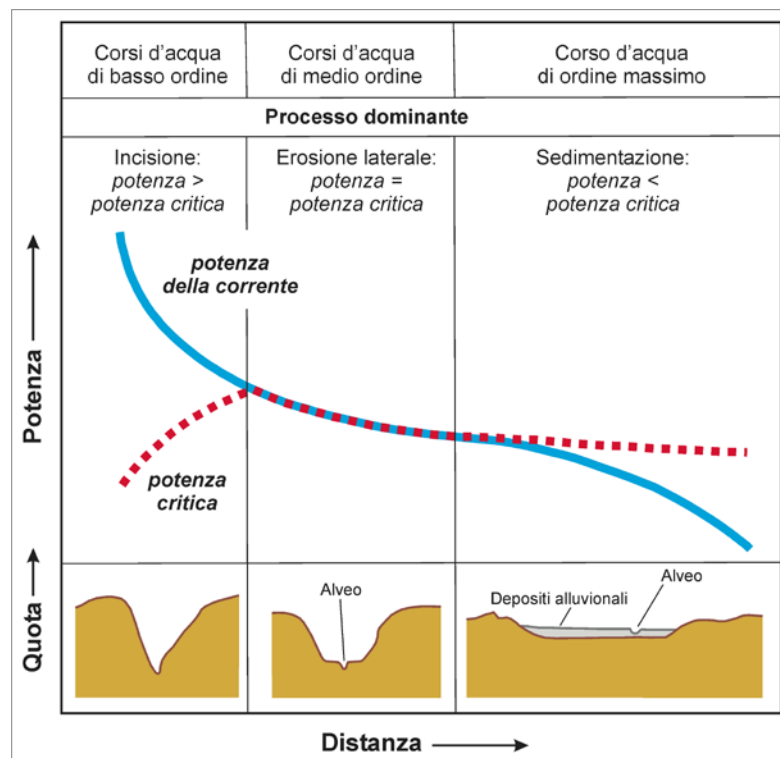


Figura 1.4 – Diagramma schematico del rapporto tra potenza e potenza critica della corrente (modificato da [BULL, 1979](#)).

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 la continuità laterale e verticale determinata dai processi fisici. Vari concetti in ecologia fluviale (si veda, ad es., il *River Continuum Concept*, il *Flood Pulse Concept*, ecc.) mettono in evidenza come la connettività ecologica sia 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 e il corso d'acqua all'interno della zona iporreica, che è sempre presente quando il fondo dell'alveo è costituito da sedimenti permeabili.

1.2 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 1.5](#)).

Il *bacino idrografico*, e 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*) che sono rappresentate dall'energia del rilievo, dalle pendenze, dalla topografia e dalla 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 spesso utile operare un'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.).

A 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, come ad esempio il grado di confinamento, le dimensioni e la morfologia del corso d'acqua.

All'interno di ogni tratto, si possono identificare le *unità geomorfologiche* (*geomorphic unit*), le quali vanno a determinare l'assemblaggio tipico di forme che caratterizzano la morfologia fluviale. 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.).

A 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.

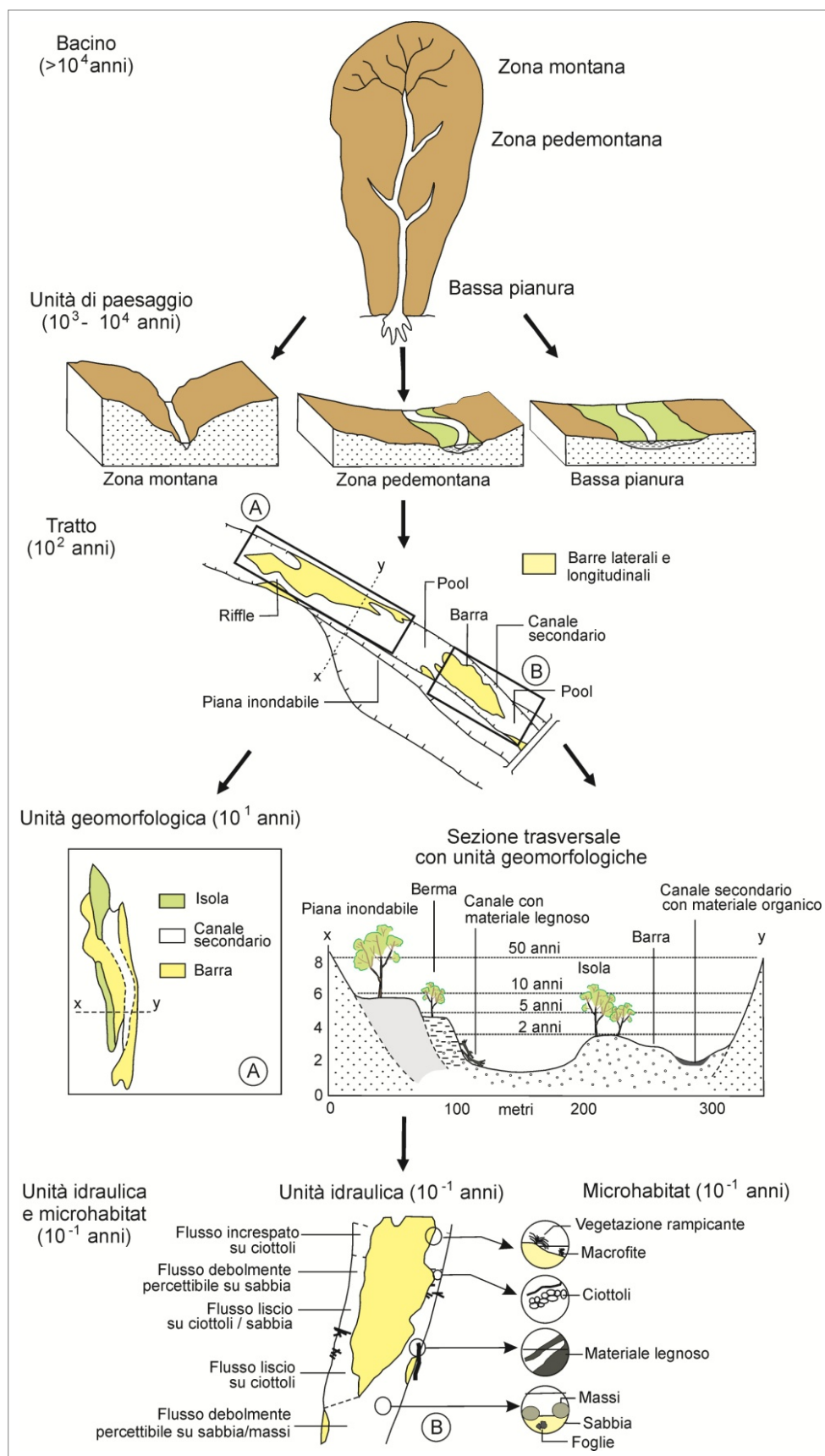


Figura 1.5 – Schema dell’approccio gerarchico (*hierarchical nested approach*) utilizzato nell’ambito del *River Styles Framework* (modificato da [BRIERLEY & FRYIRS \(2005\)](#)).

1.3 Gli alvei delle zone collinari e montane

Gli alvei della zona medio - alta del bacino idrografico sono di dimensioni da piccole a intermedie, generalmente presentano pendenze relativamente elevate e 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 ([CHURCH, 2013](#)).

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* (detto *alluvionale* o anche *alluviale*), 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 e 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 1.6](#)). 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 e alimentazione di sedimenti ([Figura 1.7](#)), 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*). I torrenti a letto piano riflettono in genere una condizione di equilibrio tra capacità di trasporto e alimentazione di sedimenti oppure, in caso il letto presenti un certo grado di corazzamento (si veda di seguito la definizione), possono essere associabili a una condizione di eccesso di capacità di trasporto ([DIETRICH et al., 1989](#)).

Agli alvei in roccia e 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.

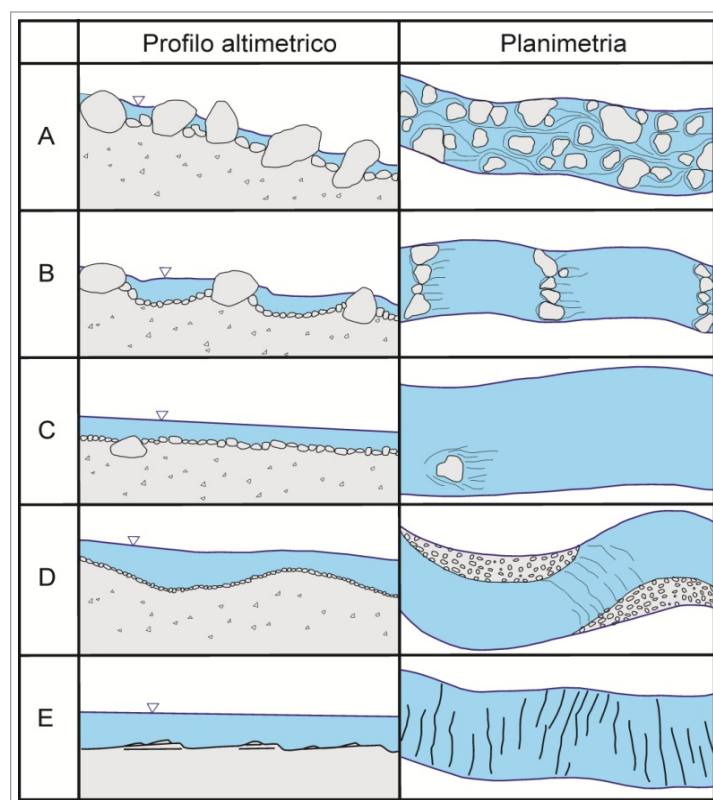


Figura 1.6 – Classificazione dei corsi d’acqua montani secondo [MONTGOMERY & BUFFINGTON \(1997\)](#). (A) Cascade; (B) a gradinata (*step-pool*); (C) letto piano (*plane bed*); (D) riffle-pool; (E) dune-ripple.

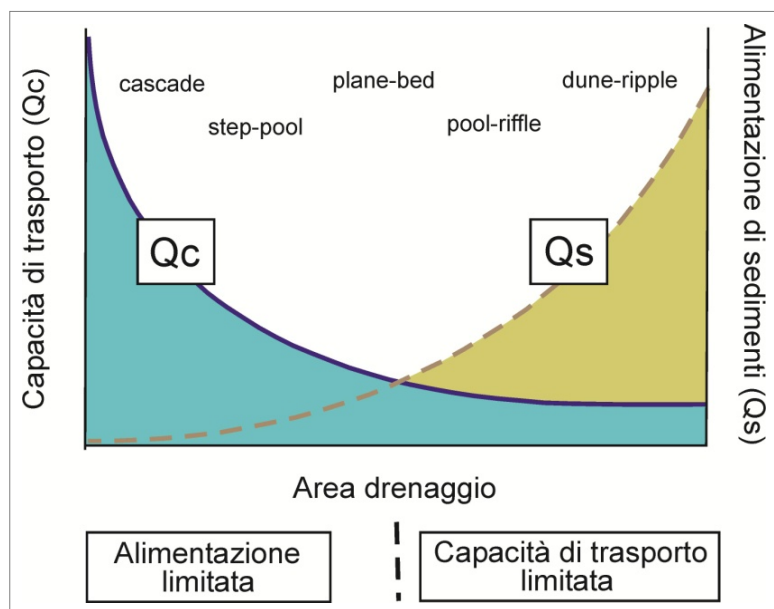


Figura 1.7 – Morfologie dei corsi d’acqua montani in relazione alle condizioni di capacità di trasporto (*transport capacity*) e di alimentazione di sedimenti (*sediment supply*) (da [MONTGOMERY & BUFFINGTON \(1997\)](#)).

1.4 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 plano-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 1.8](#)).

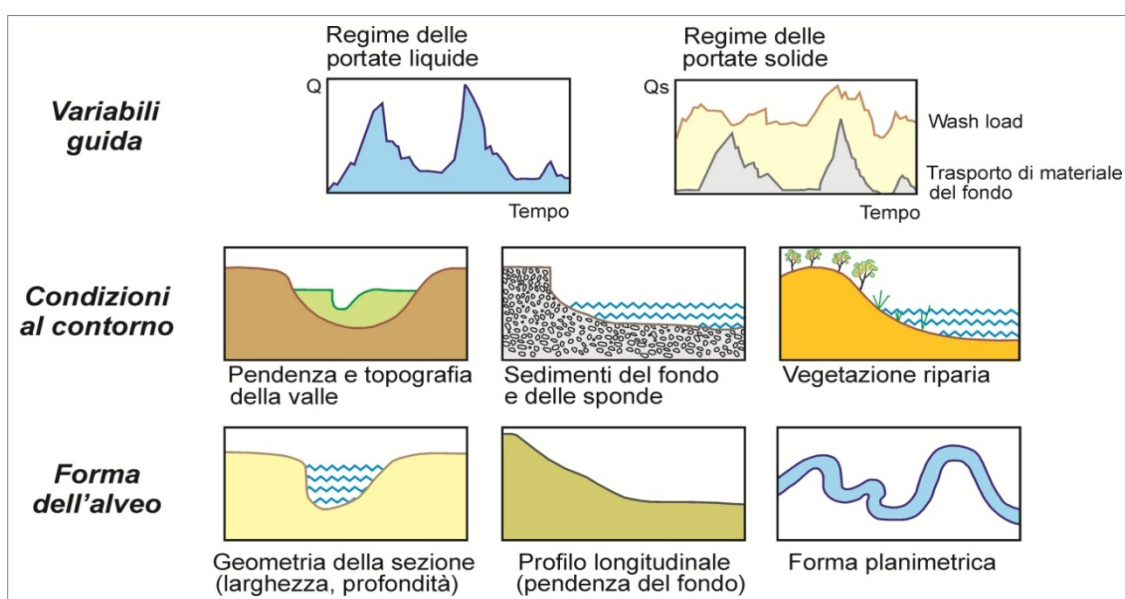


Figura 1.8 – La forma di un alveo alluvionale come risultato dell'interazione tra variabili guida e condizioni al contorno (da [THORNE, 1997](#)).

La forma planimetrica del corso d'acqua è determinata da una combinazione di forme che si assemblano 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 1.9](#)), 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 e 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).

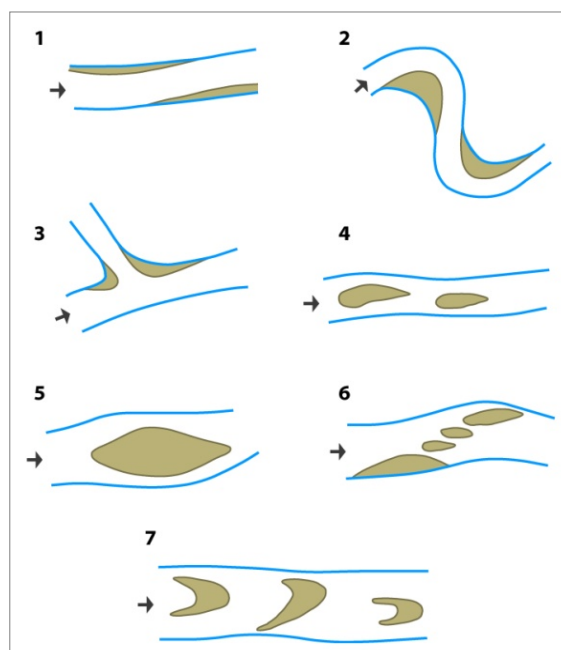


Figura 1.9 – Classificazione dei principali tipi di barre (da [KELLERHALS et al., 1976](#)). 1. Barre laterali; 2. Barre di meandro; 3. Barre di confluenza; 4. Barre longitudinali; 5. Barre a losanga; 6. Barre diagonali; 7. Barre linguoidi o dune.

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, in condizioni di equilibrio dinamico, la piana inondabile è normalmente soggetta a 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 a eventi alluvionali (a differenza della piana inondabile che è una superficie soggetta a 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 a inondazioni per tempi di ritorno anche molto superiori (ad es., “*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 plano-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 assemblano 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*) e *a canali intrecciati* (*braided*), altre numerose classificazioni si sono succedute nel tempo, privilegiando la forma planimetrica e 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 e 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 1.10](#)).

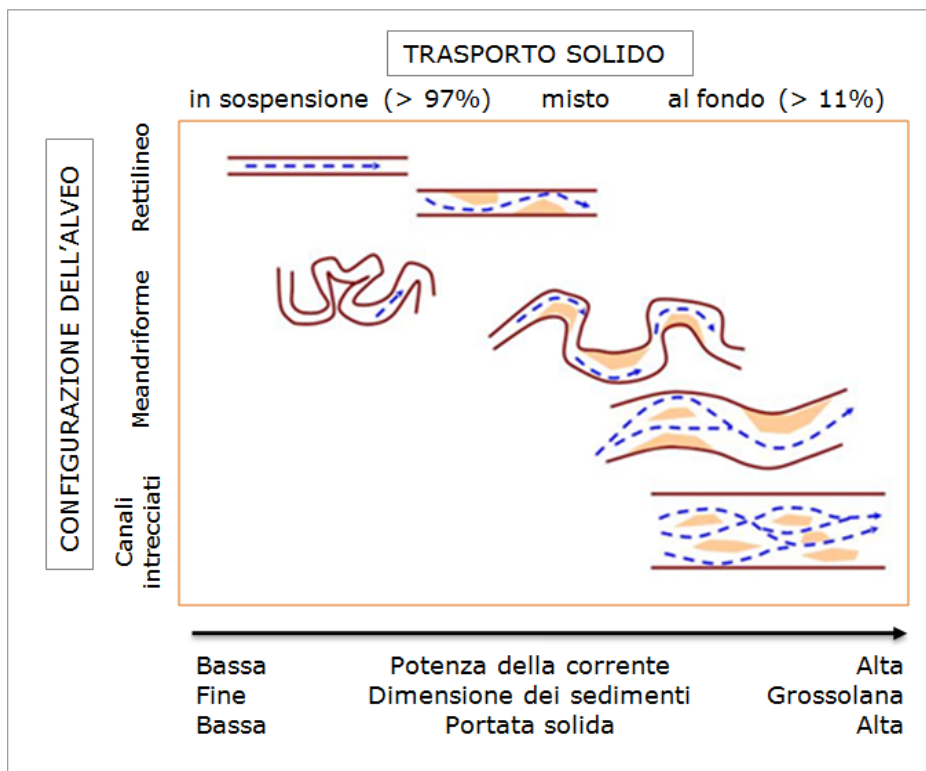


Figura 1.10 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo [SCHUMM \(1977\)](#).

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 e approfondite dallo stesso [SCHUMM \(1985\)](#), che ripropone uno schema più articolato rispetto al precedente dello stesso autore, e in maniera simile da [CHURCH \(1992\)](#) ([Figura 1.11](#)). Quest'ultimo autore è uno dei primi a introdurre il termine di *wandering* per indicare morfologie di transizione tra alvei meandriformi e 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 1.12](#)), 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, e include anche gli alvei confinati (torrenti montani) che normalmente vengono classificati con criteri differenti (come descritto precedentemente).

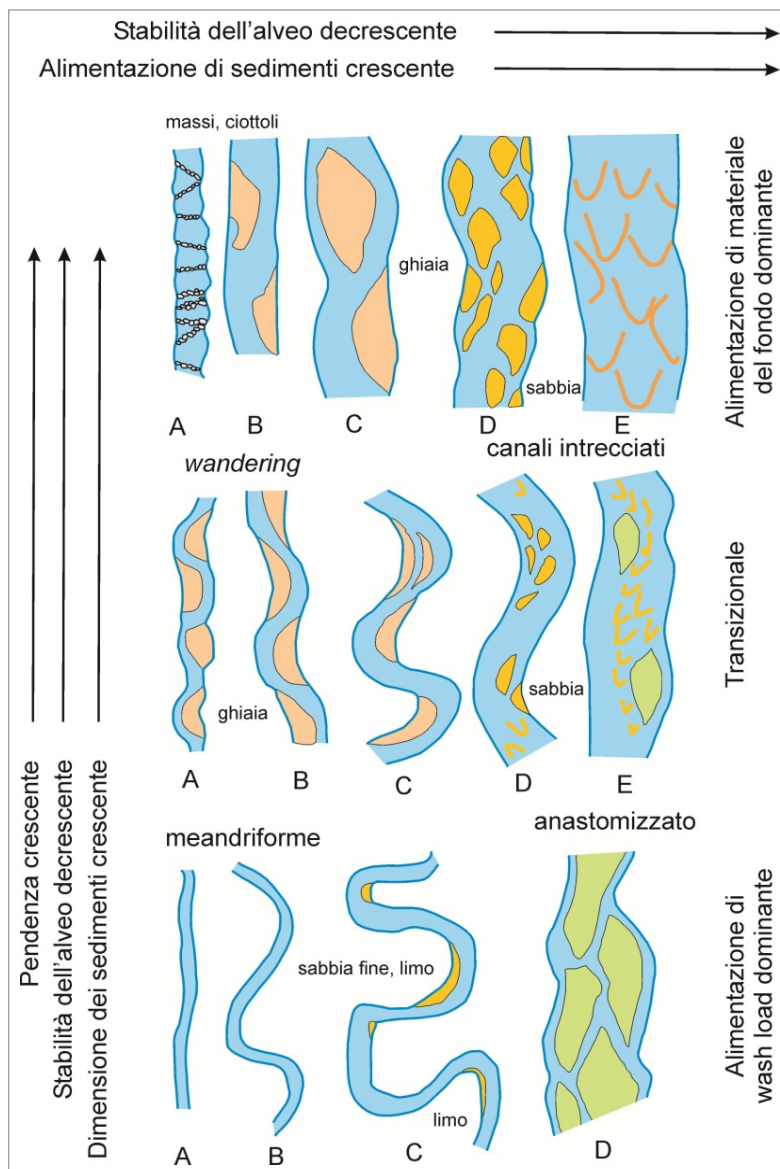


Figura 1.11 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo [CHURCH \(1992\)](#).

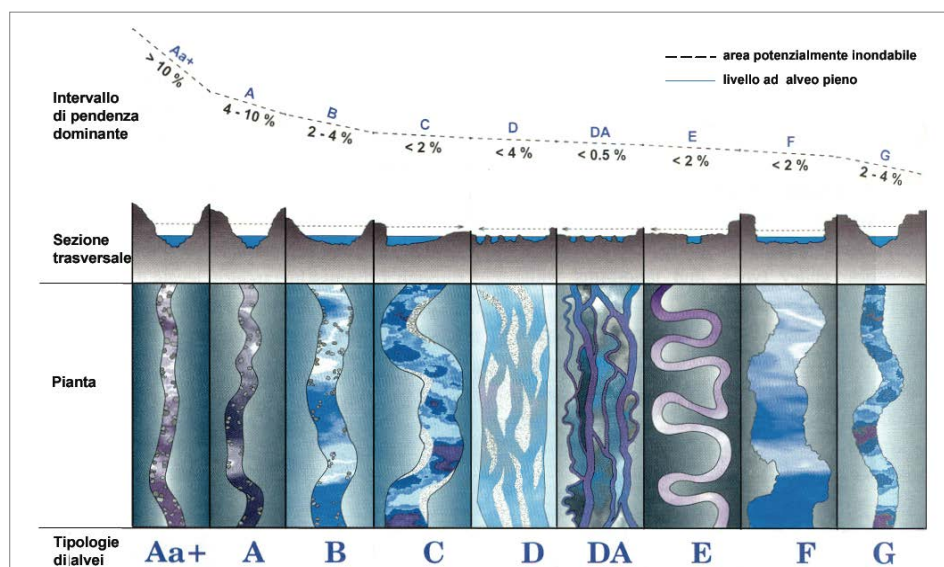


Figura 1.12 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo [ROSGEN \(1994\)](#).

È infine da segnalare l'introduzione relativamente recente del termine *anabranching* per indicare alvei a canali multipli separati a isole vegetate o comunque stabili, che dividono il flusso in più rami fino alle portate in condizioni formative ([NANSON & KNIGHTON, 1996](#); [MAKASKE, 2001](#); [NANSON, 2013](#); [FULLER et al., 2013](#)). Esistono diverse sotto-tipologie di *anabranching*, che variano da sistemi a bassa energia con sedimenti coesivi fino ad alvei ghiaiosi ad alta energia. I corsi d'acqua indicati dagli autori precedenti come anastomizzati rappresentano una di queste sotto-tipologie, ossia gli *anabranching* associati a condizioni di bassa energia.

1.5 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 1.13](#)): il *wash load* (trasporto per dilavamento) e 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 in 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.

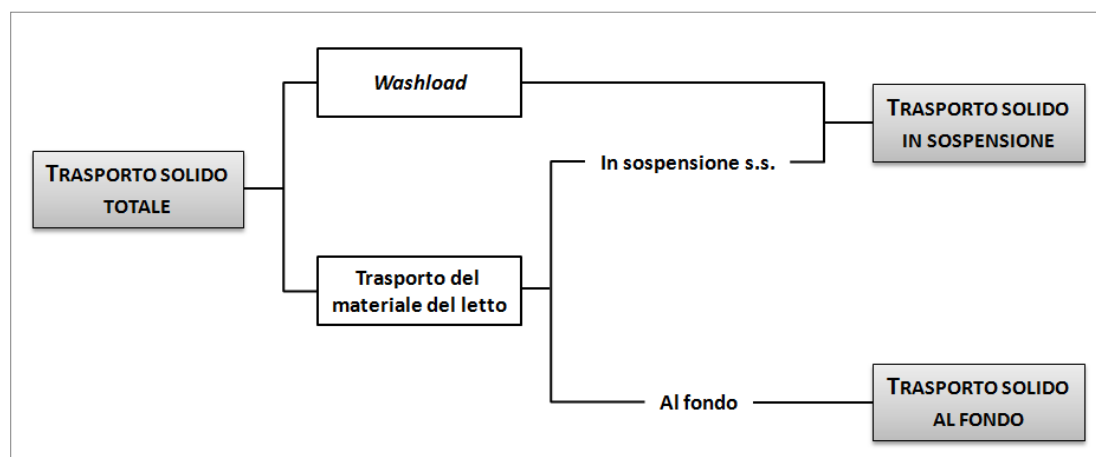


Figura 1.13 – Tipologie di trasporto solido.

Lo studio dei caratteri sedimentari di un alveo fluviale, e 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 e 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*) e un *sottostrato* (*subarmour*).

Il corazzamento è stato attribuito, almeno originariamente, a 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 & SOUTHARD, 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 a 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 a 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 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.

1.6 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 così 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” e 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 a 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 a identificare con la quota della pianura inondabile “attiva” o “moderna” (*active* o *modern floodplain*), cioè della superficie pianeggiante formata dal corso d’acqua nelle presenti condizioni di regime (a differenza del terrazzo che corrisponde a 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 c’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 una variazione nel tempo della dimensione stessa dell’alveo. In assenza di una nuova piana inondabile costruitasi dopo la fase di incisione, la portata ad alveo pieno va a identificarsi con la massima portata contenuta in alveo, a partire dalla quale la corrente inizia a inondare un terrazzo. In questi casi, la portata ad alveo pieno può essere associata a tempi di ritorno anche ben superiori ai 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 c’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 in seguito fornita da [WOLMAN & MILLER \(1960\)](#), i quali impostarono il problema in termini di prodotto tra magnitudo e frequenza delle portate liquide ([Figura 1.14](#)). 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 a 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 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.

Riepilogando, la portata formativa e la portata dominante 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, sebbene 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* (operativamente il valore della portata con tempi di ritorno di $1.5 \div 2$ 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 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.

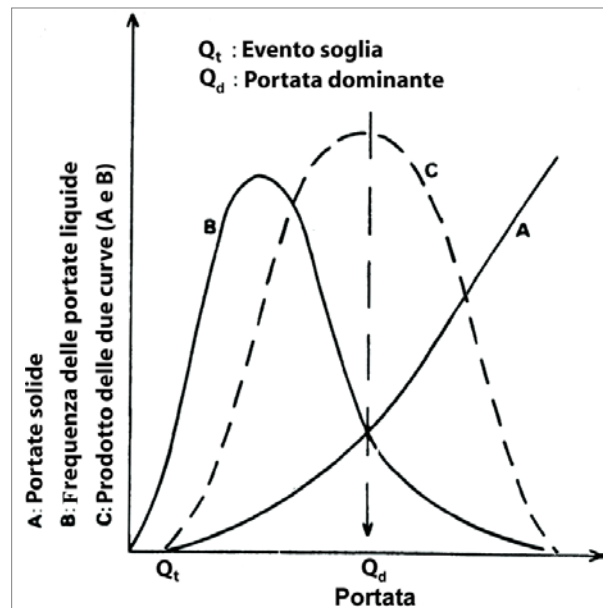


Figura 1.14 – Concetto di *portata dominante* o *efficace* secondo [WOLMAN & MILLER \(1960\)](#).

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 $1.5 \div 2$ 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 a 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 solitamente assumere 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, e una più elevata che modella i canali secondari, le barre più alte e le isole) ([SURIAN et al., 2009a](#)). 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 a eventi di piena ordinaria e straordinaria ([LENZI et al., 2006](#)).

1.7 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 a 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 di 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 e un movimento del materiale di sponda a

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.

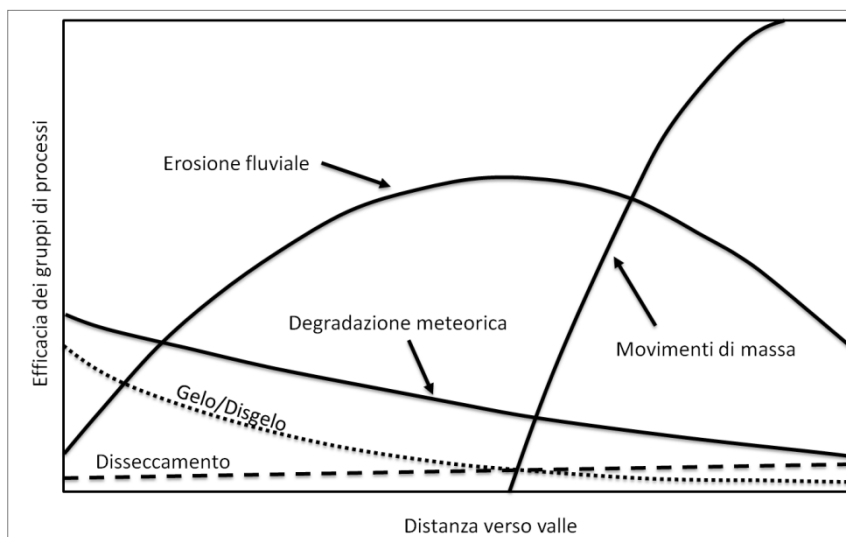


Figura 1.15 – Modello concettuale dei processi dominanti di arretramento di sponde fluviali in un sistema fluviale (modificato da [LAWLER, 1992](#) e da [RINALDI & DARBY, 2008](#)).

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 1.15](#)): (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 e 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 \(1992\)](#)), 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 es., sui conoidi allo sbocco in pianura). Alla scala di tratto, diventano più importanti fattori quali la composizione della sponda e la vegetazione presente, e le tensioni tangenziali. Queste tensioni sono 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), e 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 a 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](#)).

1.8 La vegetazione e 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 1.4](#)) 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 e 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 1.2](#)).

Tabella 1.2 – 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:
- Resistenza al moto - Parziale ostruzione sezione - Erosione per contrazione sezione - Effetti su trasporto solido - Sedimentazione - Creazione isole, avulsioni, ecc.	- Effetti idrologici - Effetti meccanici
MATERIALE LEGNOSO MORTO IN ALVEO	
PROCESSI IN ALVEO:	PROCESSI SPONDE:
- Resistenza al moto - Parziale ostruzione sezione - Erosione per contrazione sezione o diversione flusso - Trasporto solido (per flottazione) - Sedimentazione - Creazione isole, avulsioni, ecc.	- Erosioni localizzate - Sedimentazioni localizzate

Interagendo con i vari processi fluviali, la vegetazione svolge 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 e 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.

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 presente all'interno di un corso d'acqua, corrispondente a rami e tronchi di alberi, 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., 2003b](#)), distinguendo tra: (1) meccanismi di produzione e 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., 2003b](#); [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 sito o autoctoni (*bank input*, *log step*); (b) combinazioni di elementi in sito e trasportati (*valley jam*, *flow deflection jam*); (c) trasportati (*debris flow/flood jam*, *bench jam*, *bar apex jam*, *meander jam*, *log rafts*, *unstable debris*).

1.9 Variazioni morfologiche degli alvei fluviali

La scelta della scala temporale cui far riferimento per lo studio dei fenomeni di instabilità e il concetto stesso di instabilità hanno da sempre rappresentato un argomento di interesse e 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" e 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 e 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 $\Omega (= \gamma QS)$ 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 1.16](#)):

$$Q S \approx Q_s D_{50}$$

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

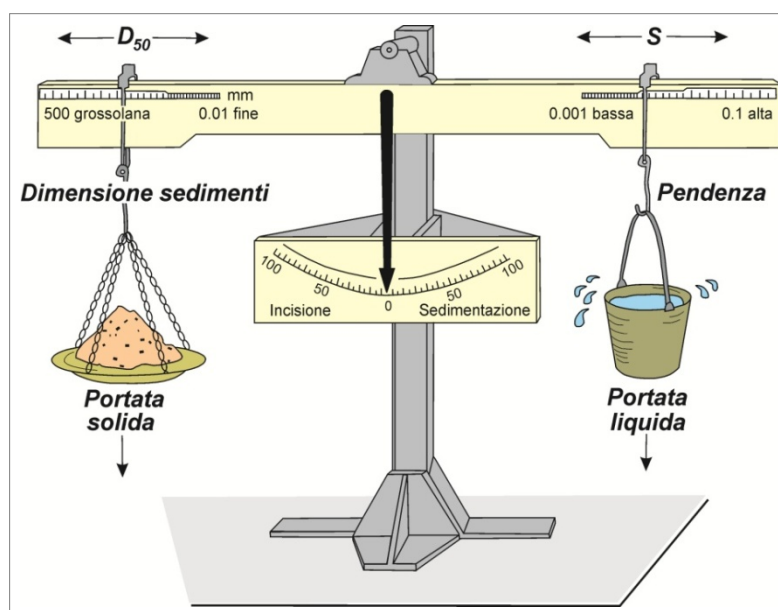


Figura 1.16 – Modello concettuale delle risposte di un alveo fluviale ad alterazioni dell'equilibrio dinamico (da [LANE, 1955](#)).

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 e 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 es., 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 e 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 es., 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 es., a monte e a valle di una briglia).

Esiste un'ampia letteratura internazionale relativa alle risposte di un sistema fluviale a disturbi e 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 a 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:

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

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, Q_s 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) a 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 a 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 1.17](#)) è stato sviluppato per descrivere l'evoluzione di fiumi del West Tennessee (USA) soggetti a 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 e 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 e alla tendenza verso il raggiungimento di un nuovo equilibrio dinamico (*stadio VI*).

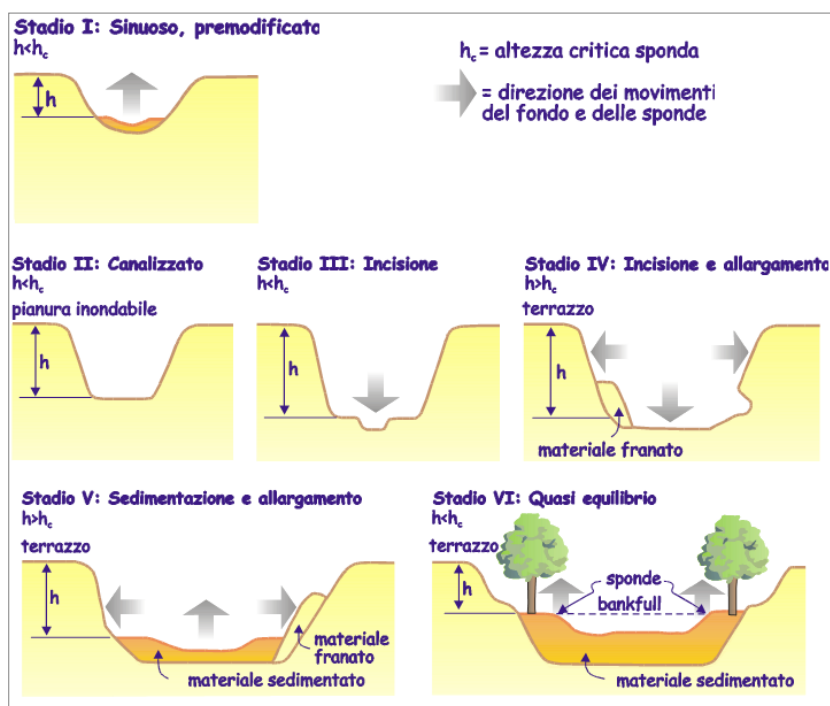


Figura 1.17 – Modello concettuale di evoluzione di alvei fluviali (CEM: *Channel Evolution Model*) (modificato da [SIMON, 1989](#) e da [RINALDI & SURIAN, 2005](#)).

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 1.3](#)) 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).

1.10 Attuali conoscenze sui corsi d'acqua italiani

Nel corso degli ultimi secoli, e 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 es., 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 es., da un alveo a canali intrecciati a un alveo di tipo *wandering* o, addirittura, a canale singolo – [Figura 1.18](#)).

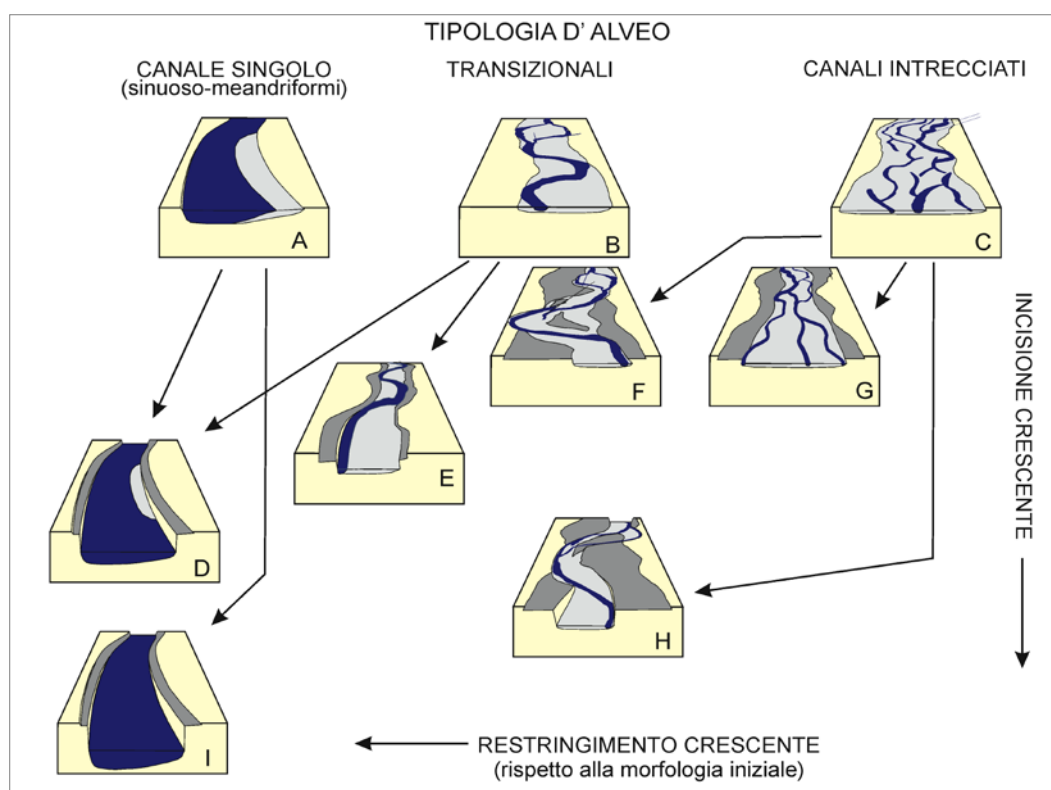


Figura 1.18 – Schema di classificazione delle variazioni morfologiche di fiumi italiani (modificato da [SURIAN & RINALDI, 2003](#)).

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., 2009d](#)). 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 1.19](#)).

Simili variazioni morfologiche dell'alveo si sono verificate anche in corsi d'acqua di altri paesi europei e non, 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.

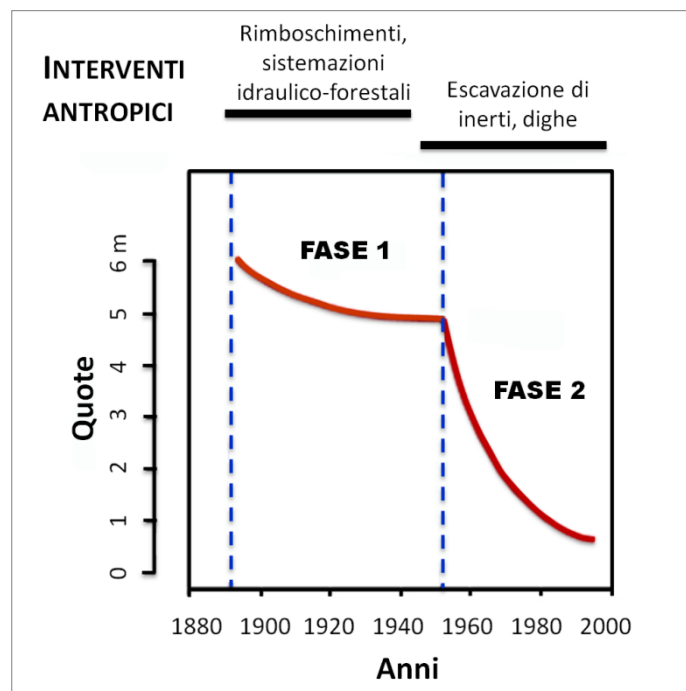


Figura 1.19 – Tipico andamento temporale della quota del fondo in risposta a disturbi antropici durante gli ultimi 100 anni circa osservato per vari fiumi italiani (modificato da [SURIAN & RINALDI, 2003](#) e da [RINALDI & SURIAN, 2005](#)).

Le ricerche più recenti ([SURIAN & RINALDI, 2004](#); [RINALDI et al., 2005](#); [SURIAN, 2006](#); [RINALDI & SIMONCINI, 2006](#); [SURIAN & CISOTTO, 2007](#), [SURIAN et al., 2009d](#)) 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 ([Figura 1.20](#)). In tutti i casi tali processi non hanno comunque "compensato" le variazioni indotte dalla fase precedente.

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 1.21](#) rappresenta tale tipo di evoluzione per alcuni alvei fluviali appenninici (Magra, Vara, Cecina, Panaro: [RINALDI et al., 2008a](#)).

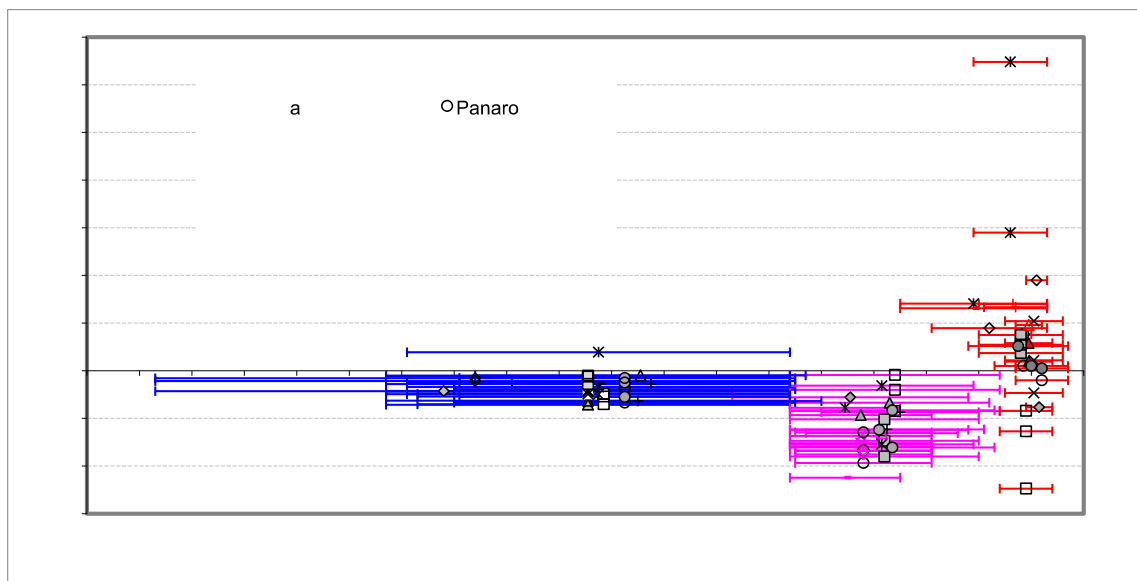


Figura 1.20 – Variazioni temporali della larghezza dell'alveo in 12 corsi d'acqua italiani, calcolate come tasso medio annuo di variazione percentuale rispetto alla larghezza originaria del XIX secolo (da [SURIAN et al., 2009c](#), modificato).

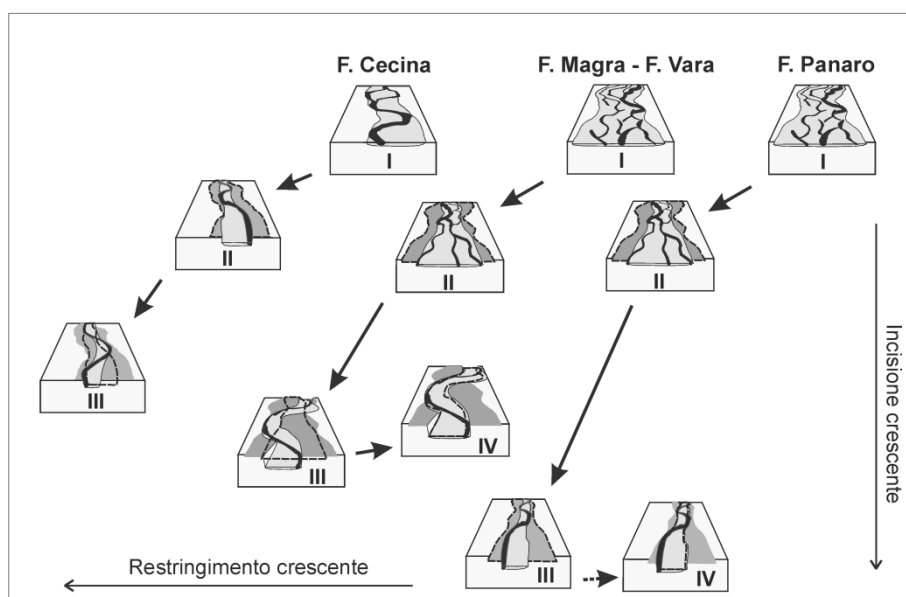


Figura 1.21 – Modello evolutivo relativo ad alcuni casi di studio appenninici (da [RINALDI et al., 2008a](#), modificato).

2. METODI IDROMORFOLOGICI E GEOMORFOLOGICI ESISTENTI

In questo capitolo viene riportato uno stato dell'arte delle metodologie esistenti, nel campo dell'idromorfologia e della geomorfologia fluviale, finalizzate alla valutazione delle condizioni idromorfologiche, alla riqualificazione fluviale e/o alla mitigazione della pericolosità dovuta alla dinamica fluviale.

2.1 Metodologie di valutazione delle condizioni idromorfologiche dei corsi d'acqua

Esiste un'ampia varietà di metodi di valutazione idromorfologica, con notevoli differenze in termini di obiettivi, scale spazio-temporali e approcci utilizzati. Un'ampia revisione bibliografica di tali metodologie è stata recentemente realizzata nell'ambito del progetto europeo FP7 REFORM – *REstoring rivers FOR effective catchment Management* ([RINALDI et al., 2013a](#)), della quale si riporta di seguito una sintesi (si veda anche il sito <http://wiki.reformrivers.eu>). Partendo da precedenti rassegne sull'argomento ([FERNANDEZ et al., 2011](#); [RAVEN et al., 2002](#); [WEISS et al., 2008](#)), sono stati revisionati 139 metodi, dei quali sono state sintetizzate le principali caratteristiche, indicatori, vantaggi e limiti. A tal fine, i metodi esistenti sono stati raggruppati in cinque categorie: (1) rilevamento degli habitat fisici (*physical habitat assessment*); (2) rilevamento degli habitat ripariali (*riparian habitat assessment*); (3) valutazione delle condizioni morfologiche (*morphological assessment*); (4) valutazione delle alterazioni del regime idrologico (*hydrological regime alteration assessment*); (5) valutazione della continuità longitudinale dei pesci (*longitudinal fish continuity assessment*).

2.1.1 Metodi di rilevamento degli habitat fisici

In campo internazionale sono stati sviluppati da diversi anni numerosi metodi e indici 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*) o, più recentemente, di valutazione degli habitat fisici (*physical habitat assessment*). In [Tabella 2.1](#) si elencano alcuni dei principali metodi rientranti in questa categoria.

Sebbene la caratterizzazione degli habitat sia utile dal punto di vista ecologico, l'uso di questa categoria di metodi ai fini della comprensione dei processi e delle cause di alterazione è soggetto a una serie di limiti ([FRYIRS et al., 2008](#)), tra i quali: (1) la scala spaziale di indagine (coincidente con il “sito”, con una lunghezza di poche centinaia di metri) che è generalmente inadeguata per un'accurata diagnosi e comprensione delle alterazioni morfologiche, dato che le condizioni fisiche di un sito sono condizionate da processi e cause a più larga scala; (2) l'impiego limitato di strumenti (quali GIS e immagini) che permetterebbero un'analisi a scale spazio-temporali più ampie; (3) l'uso di una percezione temporale statica, con una mancanza di considerazione dei processi fisici e delle variazioni morfologiche; (4) l'uso di condizioni di riferimento basate sull'analisi statistica di dati ottenuti da siti di riferimento e la tendenza a definire lo stato elevato come condizione di massima diversità di unità morfologiche, senza riconoscere il fatto che la struttura di alcune tipologie fluviali può essere molto semplice ([FRYIRS, 2003](#)).

Tabella 2.1 – Principali metodi di rilevamento di habitat fisici.

DENOMINAZIONE	STATO	RIFERIMENTO
Victorian Index of Stream Condition (ISC)	Australia	LADSON et al. (1999)
Australian River Assessment System (AusRivAS) – Physical Assessment Module	Australia	PARSONS et al. (2002)
National Physical Habitat Index (NPHI)	Danimarca	NERI (1999)
Danish Stream Habitat Index (DSHI)	Danimarca	PEDERSEN et al. (2003)
QUALPHY	Francia	DENORTIER & GOETGHEBEUR (1996)
SEQ-Physique (SEQ-P)	Francia	AGENCES DE L'EAU (1998)
CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau (CARHYCE)	Francia	ONEMA (2010)
Stream Habitat Survey (LAWA-FS and LAWA-OS)	Germania	LAWA (2000), LAWA(2002)
River Habitat Survey (RHS)	Gran Bretagna	RAVEN et al. (1997)
River Hydromorphology Assessment Technique (RHAT)	Irlanda	MURPHY & TOLAND (2012)
Core assessment of river habitat value and hydromorphological conditions (CARAVAGGIO)	Italia	BUFFAGNI et al. (2005)
River Hydromorphological Monitoring (MHR)	Polonia	ILNICKI et al. (2009)
Index for the assessment of fluvial habitat in Mediterranean rivers (IHF)	Spagna	PARDO et al. (2002)
US EPA Rapid Assessment Method (HABSCORE)	USA	BARBOUR et al. (1999)

2.1.2 Metodi di rilevamento degli habitat ripariali

Questa categoria può essere considerata un sottotipo della precedente, ma si tratta di metodi sviluppati in maniera specifica per caratterizzare gli habitat e la vegetazione delle zone riparie. Alcuni metodi rappresentativi di questa categoria sono quelli elencati in [Tabella 2.2](#). Analogamente ai metodi di rilevamento degli habitat fisici, essi forniscono generalmente un censimento della variabilità e delle caratteristiche della vegetazione e degli habitat utile per una caratterizzazione dello stato ecologico del corpo idrico, ma sono soggetti a molte delle limitazioni della categoria precedente.

Tabella 2.2 – Principali metodi per il rilevamento di habitat ripariali.

DENOMINAZIONE	STATO	RIFERIMENTO
Rapid Appraisal of Riparian Conditions (RARC)	Australia	DIXON et al. (2005)
Buffer Strip Index (BSI) e Wild State Index (WSI)	Italia	BRAIONI & PENNA (1998)
Índice de vegetación de ribera/Qualitat del Bosc de Ribera (QBR)	Spagna, Grecia	MUNNÉ & PRAT (1998)
Riparian Forest Evaluation (RFV)	Spagna	MAGDALENO et al. (2010)
Riparian Quality Index (RQI)	Spagna	GONZÁLEZ DEL TÁNAGO & DE JALÓN (2011)

2.1.3 Metodi di valutazione delle condizioni morfologiche

Si tratta di metodi attraverso i quali viene effettuata una valutazione delle condizioni morfologiche del corso d'acqua. Alcuni esempi di metodi rientranti in questa categoria sono quelli riportati in

Tabella 2.3. Il punto di forza di questi metodi è l'uso di un approccio geomorfologico più robusto tale da consentire una considerazione dei processi ad appropriate scale spazio-temporali. Tra i principali limiti si richiamano i seguenti: (1) i processi e le variazioni morfologiche sono generalmente difficoltosi da analizzare e valutare; (2) per il motivo precedente, l'applicazione pratica di alcuni di tali metodi da parte di agenzie pubbliche ai fini dell'implementazione della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (WFD) può risultare difficoltosa, richiedendo una buona conoscenza dell'argomento e degli approcci utilizzati; (3) la definizione delle condizioni di riferimento da un punto di vista morfologico può presentare varie difficoltà.

Tabella 2.3 – Principali metodi per la valutazione delle condizioni morfologiche.

DENOMINAZIONE	STATO	RIFERIMENTO
River Styles Framework (RSF)	Australia	BRIERLEY & FRYIRS (2005)
Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (SYRAH-CE)	Francia	CHANDESRIIS et al. (2008)
Protocole AURAH-CE Audit RAPide de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (AURAH-CE)	Francia	VALETTE et al. (2010)
Fluvial Audit (FA)	Gran Bretagna	ENVIRONMENT AGENCY – UK (1998)
Indice di Qualità Morfologica (IQM) – Morphological Quality Index (MQI)	Italia	RINALDI et al. (2011)
Methodology for the Assessment of River Hydromorphological Quality (RHQ)	Polonia	WYŻGA et al. (2009)
Morphological Impact Assessment Method (River-MImAS)	Scozia	UK TAG on WFD (2008)
Índice hidrogeomorfológico – Hydro-Geomorphologic Index (IHG)	Spagna	OLLERO et al. (2007)
Watershed Assessment of River Stability and Sediment Supply (WARSSS)	USA	ROSGEN (2006)

2.1.4 **Metodi di valutazione delle alterazioni del regime idrologico**

Si tratta di metodi appositamente sviluppati per valutare lo scostamento del regime idrologico rispetto a condizioni inalterate. La maggior parte dei metodi europei si basa sugli Indicatori di Alterazione Idrologica (IHA) proposti da [RICHTER et al. \(1996\)](#) e da [POFF et al. \(1997\)](#).

Tabella 2.4 – Principali metodi di valutazione dell'alterazione del regime idrologico.

DENOMINAZIONE	STATO	RIFERIMENTO
Indice di Alterazione del Regime Idrologico (IARI)	Italia	ISPRA (2011)
Indices de Alteración Hidrológica en Ríos – Indicators of Hydrologic Alteration in Rivers (IAHRIS)	Spagna	MARTÍNEZ SANTA-MARÍA & FERNANDEZ YUSTE (2010)
HIDRI – Protocolo 3: Cumplimiento de caudales de mantenimiento (QM-HIDRI)	Spagna	MUNNÉ et al. (2006)
The Indicators of Hydrologic Alteration	USA	RICHTER et al. (1996)
Hydrological Condition Assessment	USA	OWEB (2000)

Alcuni esempi sono elencati in [Tabella 2.4](#). Il maggior pregio di questi metodi è l'uso di indicatori robusti basati su analisi quantitative o sull'uso di modelli fisicamente basati. Tuttavia, la necessità di disporre di serie storiche di dati idrologici relativamente lunghe può rappresentare una forte limitazione nell'applicazione di tali metodi, soprattutto in corpi idrici privi di stazioni di misura delle portate liquide.

2.1.5 Metodi di valutazione della continuità longitudinale dei pesci

Si tratta di metodi utilizzati per valutare il grado di alterazione della continuità longitudinale per la fauna ittica causata dalla presenza di barriere. Nella maggior parte dei casi, si tratta di semplici inventari delle opere trasversali esistenti, contenenti informazioni sulla loro ubicazione, dimensioni e altre caratteristiche rilevanti. Il principale limite di questo approccio consiste nel fatto che la valutazione della continuità longitudinale della fauna ittica è un argomento complesso, che richiederebbe una conoscenza, oltre che delle barriere presenti, anche di altri fattori quali la variabilità di specie presenti, il regime idrologico, ecc. Alcuni esempi di metodi rientranti in questa categoria sono quelli riportati in [Tabella 2.5](#).

Tabella 2.5 – Esempi di metodi e/o indici per la valutazione idromorfologica.

DENOMINAZIONE	STATO	RIFERIMENTO
River Barrier dataset (RDB) – Detailed River Network DRN)	Gran Bretagna	ENVIRONMENT AGENCY – UK (2010)
Information sur la Continuité Ecologique (ICE)	Francia	BAUDOIN (2011)
Référentiel national des Obstacles à l’Ecoulement (ROE)	Francia	BAUDOIN (2011)
Barrier assessment standard methodology (BA) – Querbauwerke-Information System (QuIS)	Germania	DUMONT (2005)
Empirical assessment of passability of weirs (EAPW)	Olanda	WINTER & VAN DENSEN (2001)
Índice de Conectividad Fluvial (ICF-HIDRI)	Spagna	MUNNÉ et al. (2006)
Fish migration barrier assessment protocol (FMBAP)	USA	KEMP & O’HANLEY (2010)

2.2 Metodi geomorfologici finalizzati alla riqualificazione fluviale

In questo paragrafo vengono brevemente richiamate varie metodologie finalizzate all’individuazione e definizione di possibili interventi di miglioramento morfologico, mitigazione degli impatti e/o riqualificazione fluviale.

Si tratta pertanto di metodi piuttosto variegati, sia come impostazione generale che come finalità e applicazioni specifiche. Si includono, a titolo di esempio, anche alcuni casi più significativi di manuali (*guidebook*) che riportano procedure di analisi di carattere multidisciplinare finalizzate alla riqualificazione fluviale. Alcuni esempi sono riportati in [Tabella 2.6](#), cui segue una breve descrizione dei metodi più significativi.

Natural Channel Design

La domanda per progetti di riqualificazione fluviale è enormemente cresciuta in USA nel corso degli ultimi decenni, ma allo stesso tempo il mondo accademico americano non è riuscito a riempire il divario scientifico esistente sull’argomento tale da supportare questa crescita. In questo contesto, si è assistito all’affermazione dell’approccio pratico di Rosgen, diffusosi nell’ambito di un ampio numero di agenzie locali, statali e federali, nonostante la forte opposizione del mondo accademico e scientifico che ne contesta la mancanza di basi scientifiche adeguate (si veda, ad es., [SIMON et al., 2007](#)).

La metodologia di Rosgen, descritta in dettaglio in [USDA-NRCS \(2005\)](#), è conosciuta come *Natural Channel Design* (NCD), e include una combinazione di metodi analogici, empirici e analitici. La metodologia complessivamente comprende le seguenti otto fasi: (I) *Obiettivi della riqualificazione*; (II) *Relazioni regionali e locali*; (III) *Valutazione del corso d’acqua/bacino*; (IV) *Variare la gestione complessiva*; (V) *Riqualificazione/Progettazione di un alveo naturale (NCD)*; (VI) *Progettazione di strutture di stabilizzazione e miglioramento di habitat per la fauna ittica*; (VII) *Implementazione*; (VIII) *Monitoraggio e piano di manutenzione*.

Tabella 2.6 – Metodi e procedure per una valutazione complessiva delle condizioni del corso d’acqua e/o finalizzati alla riqualificazione fluviale.

DENOMINAZIONE	RIFERIMENTO
Natural Channel Design (NCD)	USDA-NRCS (2005) , ROSGEN (2006)
Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*	FISRWG (1998)
Rehabilitating Australian Streams*	LWRRDC-CRCHH (1999)
Channel Restoration Design for Meandering Rivers	SOAR & THORNE (2001)
Design for Stream Restoration	SHIELDS et al., 2003
River Styles Framework	BRIERLEY & FRYIRS (2005)
La Riqualificazione Fluviale in Italia*	NARDINI & SANSONI (2006)

(*) *manuali o linee guida a carattere multidisciplinare.*

Il metodo Rosgen di NCD include anche un pacchetto software ([RIVERMorph LLC, 2003](#)) appositamente sviluppato per supportare la fase di raccolta dei dati e per effettuare i calcoli necessari richiesti dalla procedura.

La forte opposizione da una parte del mondo scientifico e accademico americano deriva dal ritenerlo un approccio semplicistico privo di basi scientifiche adeguate (si veda, ad es., [KONDOLF, 1995](#); [SIMON et al., 2007](#)). Tale approccio è principalmente criticato in quanto basato sulla descrizione delle forme piuttosto che sulla comprensione dei processi (*form-based vs process-based approach*), in altre parole per il fatto che non fa uso di un reale approccio geomorfologico che parta dalla comprensione dei processi, delle variazioni passate e delle cause.

Design for Stream Restoration

In contrapposizione al NCD di Rosgen, vari autori (si veda, ad es., [COPELAND, 1994](#); [SHIELDS, 1996](#); [COPELAND & HALL, 1998](#); [COPELAND et al., 2001](#); [SHIELDS et al., 2003](#)) hanno promosso e sviluppato un approccio fisicamente basato e più robusto dal punto di vista scientifico. Si tratta dell’applicazione della cosiddetta “teoria del regime”, attraverso l’impiego di metodi fisici e analitici per la previsione e l’eventuale progettazione di un alveo stabile (*stable channel design*). Per comodità, tale approccio è qui riferito come *Design for Stream Restoration*, in riferimento alla più recente sintesi sull’argomento di [SHIELDS et al., \(2003\)](#). Si possono distinguere le seguenti fasi nel percorso di progettazione di un alveo stabile: (1) Fase di pianificazione (*planning*) che comprende la definizione degli obiettivi e la valutazione degli habitat, la valutazione della stabilità dell’alveo, e la determinazione della portata di progetto e delle dimensioni dei sedimenti del letto; (2) Fase di progettazione (*design*) che comprende la definizione delle variabili di progetto e dell’approccio progettuale (*threshold channels o active bed channels*), la definizione del tracciato dell’alveo e dei dettagli geometrici, e le verifiche di stabilità.

River Styles Framework

Si tratta di una procedura metodologica piuttosto articolata di analisi geomorfologica di un sistema fluviale, sviluppata in Australia da [BRIERLEY & FRYIRS \(2005\)](#), che enfatizza fortemente la comprensione dei processi di aggiustamento morfologico, delle cause, delle variazioni passate, e delle tendenze evolutive attuali e future. È organizzata in quattro fasi, ognuna delle quali a sua volta suddivisa in una serie di *step*, come sinteticamente riportato di seguito.

- Fase 1 Valutazione di base a scala di bacino delle caratteristiche morfologiche dei corsi d’acqua. Si suddivide il reticolo idrografico in segmenti e tratti e si classificano in base alle loro condizioni naturali (confinamento e morfologia) e tenendo conto dei condizionamenti antropici.
- Fase 2 Valutazione a scala di bacino delle condizioni attuali e dell’evoluzione morfologica. Si valutano le condizioni in cui si trovano i corsi d’acqua sulla base sia della funzionalità attuale che delle variazioni passate e dell’artificialità.
- Fase 3 Valutazione del potenziale di recupero morfologico e delle possibili condizioni future. Si studiano le traiettorie di evoluzione, si ipotizza quali possano essere le tendenze future e si interpreta il potenziale di recupero dei corsi d’acqua.

Fase 4 Implicazioni per la gestione. Si delineano le azioni che si possono intraprendere per la conservazione dei tratti in buone condizioni e/o per il recupero morfologico dei tratti degradati.

2.3 Approcci e metodi finalizzati alla zonazione, analisi e/o mitigazione della pericolosità da dinamica morfologica

Rispetto alla valutazione idromorfologica e alla riqualificazione fluviale, nell'ambito delle quali l'approccio geomorfologico fornisce un contributo rilevante, l'analisi della pericolosità è tuttora condotta prevalentemente attraverso metodologie di tipo idraulico, finalizzate nella maggior parte dei casi all'individuazione e zonazione delle aree inondabili. Tuttavia, negli ultimi anni sta emergendo in maniera crescente la necessità di integrare tale approccio con lo studio dei processi di dinamica morfologica, quali mobilità laterale, trasporto solido, erosione o sedimentazione del fondo. In questo paragrafo sono brevemente richiamati alcuni approcci e metodologie che tengono conto di questi aspetti.

1. La fascia di mobilità funzionale e la fascia potenzialmente erodibile. Un nuovo approccio, sviluppato a partire dagli anni '90, è quello di definire una fascia dove il corso d'acqua possa esplicare liberamente la sua mobilità laterale e le sue tendenze evolutive. Tale concetto è innovativo rispetto alla zonazione delle aree inondabili in quanto privilegia i processi di dinamica fluviale rispetto ai fenomeni di inondazione tradizionalmente trattati nella maggior parte dei casi. Esso trova la sua formalizzazione e applicazione soprattutto in Francia, come riportato nel testo di [MALAVOI et al. \(1998\)](#) che introduce il concetto di "spazio di libertà" o anche "fascia di mobilità funzionale". Successivamente, [PIÉGAY et al. \(2005\)](#) utilizzano il termine di "fascia potenzialmente erodibile", analizzando i possibili metodi che si possono utilizzare per la sua delimitazione. Un analogo approccio proposto negli USA è quello della delimitazione delle "zone di migrazione del corso d'acqua" ([RAPP & ABBE, 2003](#)).

Questi metodi richiedono un'analisi storica attraverso la quale individuare la fascia interessata dalle divagazioni laterali del corso d'acqua nel passato, integrata con un'analisi delle possibili tendenze future, basata sui tassi di erosione laterale registrati nel corso degli ultimi anni.

2. Il Flood Risk Management Research Consortium (FRMRC) (UK). Il FRMRC è un consorzio di ricerca nell'ambito del quale si sviluppano metodologie per l'analisi e la gestione dei rischi di inondazione (per maggiori dettagli si veda <http://www.floodrisk.org.uk/>). In particolare, una componente del consorzio si occupa delle problematiche relative alla dinamica dei sedimenti, attraverso lo sviluppo di nuovi strumenti analitici. Un esempio è la realizzazione di un "tool box" di metodi e di modelli (*Toolbox of sediment transport and transfer analysis methods and models*) ([WALLERSTEIN, 2006](#)) finalizzato all'analisi della dinamica dei sedimenti a supporto della gestione sostenibile dei rischi di inondazione in UK. Tra i metodi presenti in questo "tool box" si possono ad esempio annoverare lo *Stream Power Screening Tool*, il *River Energy Auditing Scheme (REAS)* e il *Sediment Impact Assessment Method (SIAM)*.

3. Mitigazione del rischio idraulico attraverso l'uso delle pianure inondabili. In alternativa al tradizionale approccio di difesa dal rischio idraulico attraverso interventi strutturali, si registra negli ultimi anni uno sforzo crescente nel promuovere l'uso delle pianure inondabili come misura di difesa naturale dalle piene, ottimizzando allo stesso tempo altre funzioni ecologiche per obiettivi di conservazione e riqualificazione. Alcuni esempi dell'adozione di questo approccio sono i programmi "Room for the River" (Paesi Bassi) e "Making Space for Water" (Inghilterra) ([MOSS & MONSTADT, 2008](#)), e il progetto 'EU Ecoflood – Towards natural flood reduction strategies' ([BLACKWELL & MALTBY, 2006](#)).

4. Analisi degli scenari di evento. Negli ultimi anni si sta diffondendo in ambito alpino l'utilizzo di metodi probabilistici ([MAZZORANA & FUCHS, 2010](#)) per la determinazione degli scenari di evento di piena ([MAZZORANA et al., 2013](#)) da utilizzarsi in combinazione con approcci deterministici classici (modellazione idrodinamica-morfodinamica). Questo approccio mira a includere esplicitamente nella mappatura della pericolosità anche quei processi di dinamica morfologica altamente stocastici, quali sono il trasporto dei sedimenti (specialmente su alte pendenze) e di materiale legnoso durante fenomeni di elevata magnitudo ([MAZZORANA et al., 2011](#)). Si è reso infatti evidente da analisi post-evento come la sola modellazione numerica non sia sufficiente a prevedere cosa succederà durante

l'evento, e come sia quindi necessario stimare, anche soltanto in termini qualitativi, gli effetti di quei processi morfologici anche localizzati (difficilmente modellizzabili, ma altamente probabili - per es., ostruzione di ponti), che possono grandemente influenzare la dinamica dell'inondazione.

3. STRUTTURA METODOLOGICA

3.1 Generalità

Il sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua, denominato *IDRAIM*, è stato realizzato con l'**obiettivo** di sviluppare una metodologia complessiva di analisi e di supporto alla gestione dei processi geomorfologici nei corsi d'acqua, tenendo conto in maniera integrata di obiettivi di qualità e di sicurezza, ai sensi della Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (Water Framework Directive o WFD) e della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE (Floods Directive o FD), di seguito riferite "come Direttive".

Il metodo sviluppato intende costituire una procedura sistematica e strutturata su come affrontare i vari aspetti geomorfologici, a integrazione di altre componenti (quali, ad es., gli aspetti idraulici ed ecologici), per poter giungere a fornire il supporto scientifico e conoscitivo per una gestione integrata dei corsi d'acqua.

Seppure costruito su basi scientifiche solide, è da tener presente che si tratta di una **metodologia applicativa**, tale da poter essere utilizzabile da parte degli enti responsabili dell'implementazione delle Direttive e dei piani di gestione e della gestione dei corsi d'acqua.

3.2 Principali caratteristiche del sistema *IDRAIM*

Sono di seguito elencate alcune delle principali caratteristiche di *IDRAIM*.

- (1) Il sistema fornisce le basi fisiche e una serie di procedure attraverso le quali consentire una comprensione dei processi di dinamica morfologica a scala di bacino.
- (2) La metodologia utilizzata si focalizza sugli aspetti di **dinamica morfologica**, pertanto non va intesa come un sistema di analisi di tutti gli aspetti necessari per la gestione dei corsi d'acqua. Ad esempio, non sono inclusi quegli aspetti necessari per la gestione delle risorse idriche (superficiali e sotterranee), la qualità dell'acqua, gli ecosistemi, il paesaggio, e la fruizione.
- (3) La **scala temporale** di analisi è quella degli ultimi 100–150 anni, ovvero un orizzonte sufficientemente ampio per tener conto adeguatamente dei processi geomorfologici e delle loro variazioni.
- (4) Il sistema *IDRAIM* nasce per rispondere alle esigenze derivanti dalle Direttive Quadro Acque e Alluvioni, ma non è esclusivo per tali scopi. La metodologia può, infatti, essere impiegata anche per studi con obiettivi specifici quali, ad esempio, la riqualificazione fluviale, la gestione dei sedimenti, o la mitigazione dei pericoli da dinamica morfologica.
- (5) Si tratta di uno strumento metodologico flessibile a seconda delle finalità per le quali viene impiegato, in cui ogni componente può essere affrontata per **livelli di approfondimento crescenti**, tenendo conto degli obiettivi e delle esigenze specifiche. È precisato, durante le varie fasi del metodo, dove sussistono delle interazioni con altri aspetti e dove sono richiesti approfondimenti, anche con approcci differenti.
- (6) I **metodi** utilizzati per la valutazione della qualità e della dinamica morfologica presentano un'analoga e coerente impostazione. Essi possono essere utilizzati insieme o anche separatamente, secondo l'esigenza di analizzare entrambi gli aspetti o uno solo di essi.
- (7) I due aspetti di **qualità morfologica** e **pericolosità da dinamica morfologica** sono tenuti concettualmente separati, ma una delle finalità del metodo è di fare emergere le conflittualità e individuare le possibili azioni per tenere conto dei diversi obiettivi.

3.3 Le scale spaziali

Per quanto riguarda le **scale spaziali** di analisi, è adottato un approccio di **suddivisione gerarchica** (*hierarchical nested approach*) ([FRISSEL et al., 1996](#); [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)), consistente nel fatto che ogni unità esercita un controllo sul carattere e comportamento dell'unità di ordine gerarchicamente inferiore (*top-down explanation*), ed è allo stesso tempo utile per identificare e interpretare il carattere e il comportamento dell'unità gerarchicamente superiore (*bottom-up constructivist*) ([BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)). Seguendo tale approccio, il sistema *IDRAIM* fa riferimento alle seguenti **unità spaziali**, in ordine gerarchico decrescente ([Figura 3.1](#)).

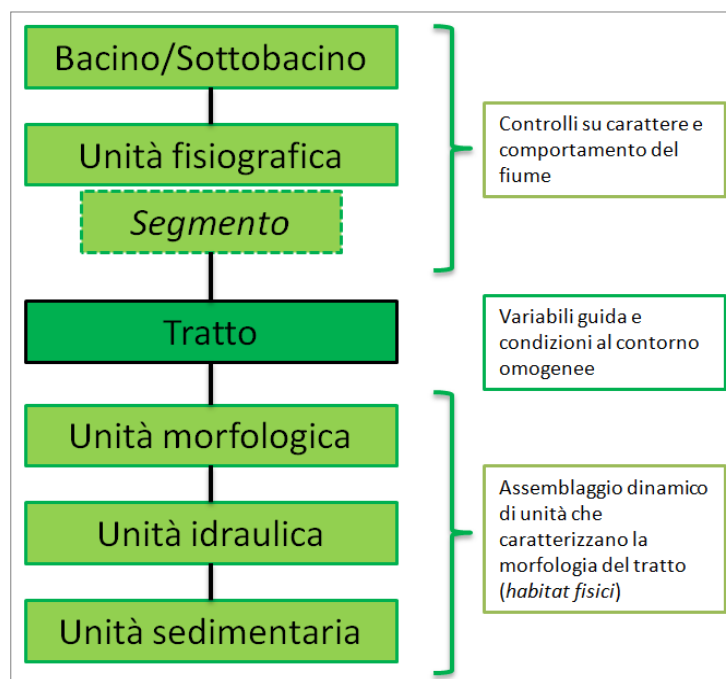


Figura 3.1 – Suddivisione gerarchica delle scale spaziali.

1. **Bacino idrografico.** Il bacino idrografico, o il sottobacino sotteso dalla porzione di corso d'acqua presa in esame, rappresenta l'unità spaziale fondamentale di partenza.
2. **Unità fisiografica.** Le unità fisiografiche (corrispondenti alle *landscape units* secondo [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)) sono aree relativamente omogenee all'interno del bacino per caratteristiche morfologico-fisiografiche (area montuosa, collinare, pianura intermontana, bassa pianura, ecc.). All'interno di ogni unità fisiografica, è possibile individuare uno o più segmenti. Il **segmento** (*segment* o *valley sector*) costituisce un "macrotratto" relativamente omogeneo, che viene definito dai limiti dell'unità fisiografica all'interno della quale si colloca e da altre eventuali forti variazioni idrologiche (affluenti di dimensioni molto rilevanti) e/o evidenti discontinuità di confinamento (ad es., passaggio da porzioni non confinate-semiconfinate a porzioni completamente confinate).
3. **Tratto.** Il tratto (*reach*) rappresenta l'unità spaziale fondamentale. La suddivisione in tratti si basa su vari aspetti, quali il grado di confinamento, la morfologia dell'alveo, le principali discontinuità idrologiche, e la presenza di elementi antropici molto rilevanti (ad es., dighe o tratti fortemente artificializzati).
4. **Unità morfologica.** La morfologia di un tratto è determinata dalla presenza e dall'associazione delle varie unità morfologiche che costituiscono una certa configurazione morfologica (barra, canale, isola, *riffle*, *pool*, ecc.) (*geomorphic units* secondo [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)). Al fine di caratterizzare l'associazione completa delle unità presenti in un tratto, è possibile fare riferimento a un sottotratto (o 'sito'). Per alvei a canale singolo, quest'ultimo 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.
5. **Unità idraulica e unità sedimentaria.** All'interno di una stessa unità morfologica, è possibile individuare porzioni con caratteristiche idrauliche e di tipologia di substrato relativamente omogenee. Si tratta di unità spaziali di piccole dimensioni ed estremamente dinamiche, le quali determinano le caratteristiche e la diversità degli habitat fisici presenti. L'unità morfologica coincide con il *mesohabitat*, mentre le unità idrauliche e sedimentarie vanno a definire i cosiddetti *microhabitat*.

Un altro aspetto rilevante legato alle scale spaziali 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**.

3.4 Le scale temporali

Le **scale temporali** di analisi considerate nel campo della Geomorfologia Fluviale variano, anche considerevolmente, a seconda degli aspetti e delle relative scale spaziali che si vanno a indagare, nonché degli obiettivi dello studio. In linea generale, si possono definire le seguenti scale temporali:

- **Scala geologica** ($10^4 \div 10^6$ anni), 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).
- **Scala storica** ($10^2 \div 10^3$ anni), utile per comprendere la morfologia dei corsi d'acqua in tempi storici, i tipi di sistemazioni, e altri tipi di controlli antropici a cui sono stati soggetti.
- **Media scala temporale** (ultimi $100 \div 150$ anni), la scala più importante per identificare e comprendere l'attuale forma dei corsi d'acqua, a seguito di variazioni morfologiche planimetriche (alveo ristretto o allargato) o altimetriche (alveo inciso o aggradato). 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**, che 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**, che è una scala poco significativa per l'interpretazione delle forme e dei processi evolutivi, mentre può avere qualche effetto temporaneo sulle caratteristiche granulometriche e/o vegetazionali locali, in funzione degli eventi verificatisi durante l'ultimo ciclo stagionale.

Ai fini dell'analisi delle condizioni idromorfologiche, è di fondamentale importanza riconoscere il carattere estremamente dinamico dei caratteri morfologici del corso d'acqua, in risposta alle continue oscillazioni delle variabili di controllo. Tale variabilità è ben sintetizzata dal concetto di **traiettoria** della morfologia del corso d'acqua ([BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#); [DUFOUR & PIÉGAY, 2009](#)) rappresentato in [Figura 3.2](#).

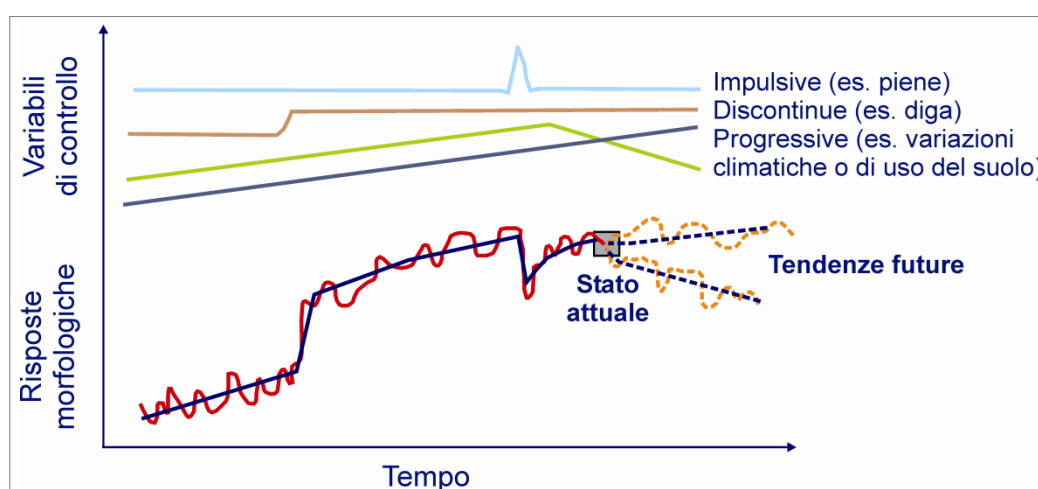


Figura 3.2 – Concetto di traiettoria della morfologia di un corso d'acqua (modificato da [DUFOUR & PIÉGAY, 2009](#)).

La componente temporale è esplicitamente tenuta in conto nel sistema *IDRAIM*, attraverso l'applicazione del concetto di traiettoria e con particolare riferimento all'analisi delle variazioni

durante gli ultimi 100÷150 anni (media scala temporale) e alle tendenze future in un orizzonte temporale dell'ordine dei prossimi 50 anni circa.

3.5 Suddivisione in fasi

La struttura complessiva del sistema *IDRAIM* si articola in quattro fasi ([Figura 3.3](#) e [Figura 3.4](#)):

- Fase 1** Viene suddiviso il reticolo per la definizione delle varie unità spaziali, attraverso l'approccio di suddivisione spaziale gerarchica, seguito da una caratterizzazione e analisi delle condizioni attuali del sistema fluviale, riguardante la distribuzione spaziale dei fattori di controllo e i processi di produzione, trasporto e deposito di sedimenti.
- Fase 2** Si valutano la traiettoria di evoluzione passata e le condizioni attuali dei corsi d'acqua.
- Fase 3** Si valutano gli scenari futuri sulla base delle possibili tendenze evolutive.
- Fase 4** Le conoscenze acquisite nelle precedenti fasi vengono applicate ai fini della gestione dei corsi d'acqua.

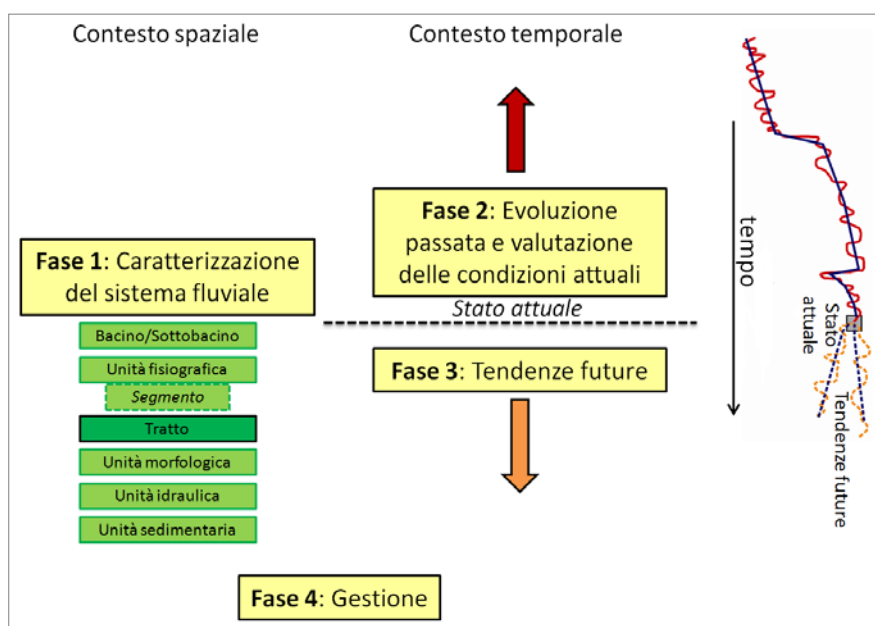


Figura 3.3 – Fasi metodologiche in relazione ai contesti spaziali e temporali del sistema *IDRAIM*.

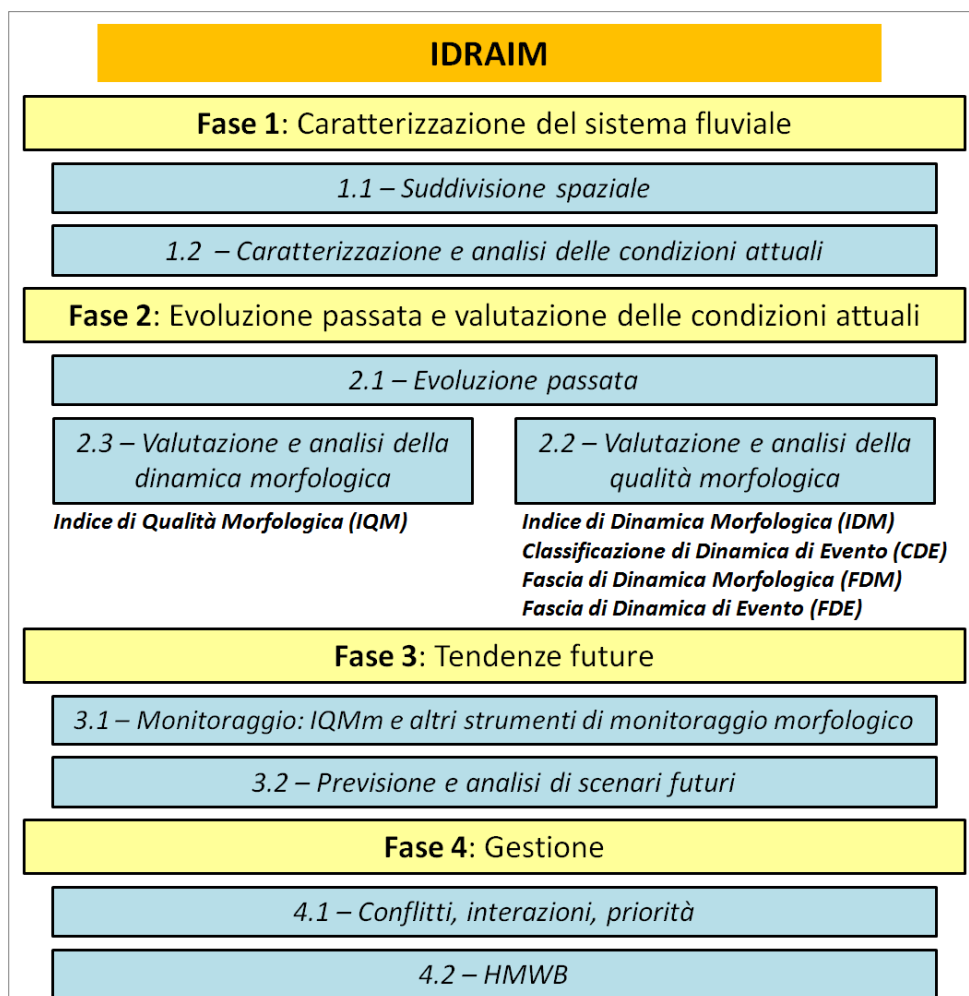


Figura 3.4 – Schema della struttura generale del sistema *IDRAIM*.

FASE 1: CARATTERIZZAZIONE DEL SISTEMA FLUVIALE

La *Fase 1* della metodologia è finalizzata a fornire una caratterizzazione del bacino idrografico e del sistema fluviale, attraverso un inquadramento complessivo del bacino, una suddivisione in unità spaziali attraverso l'applicazione di un approccio gerarchico, e un'analisi dei fattori che controllano le morfologie e i processi fluviali e della loro distribuzione all'interno del bacino. Si possono pertanto distinguere tre sottofasi ([Figura I](#)), come descritto dettagliatamente nei capitoli successivi.



Figura I – Suddivisione della *Fase 1* in sottofasi.

4. INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO

4.1 Inquadramento generale

Questa prima parte si basa sui dati e sul materiale bibliografico disponibili, e ha lo scopo di fornire un inquadramento generale del bacino di studio e del reticolo idrografico. Attraverso tale fase, viene acquisito materiale bibliografico, dati e informazioni che sono richiesti successivamente per varie applicazioni e per comprendere i possibili condizionamenti fisici sul carattere, sul comportamento e sulla distribuzione spaziale delle morfologie dei corsi d'acqua in esame. Il grado di approfondimento e i parametri specifici considerati in questa prima fase di caratterizzazione variano anche in funzione della scala spaziale di applicazione (ad es., scala regionale o studio di un singolo bacino di dimensioni limitate).

4.1.1 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico

Attraverso la consultazione di carte geologiche e geomorfologiche, si ricavano informazioni generali sulle litologie prevalenti e sulle caratteristiche geomorfologiche del bacino. Gli aspetti idrogeologici possono essere importanti anche nell'ottica della caratterizzazione del tipo di interazione tra corpi idrici superficiali e sotterranei. Sono compresi i seguenti aspetti:

1. *Inquadramento fisiografico/morfometrico*. Possono essere analizzati vari parametri quali, ad esempio, l'area del bacino e dei sottobacini, l'energia del rilievo (differenza tra quota massima e minima nel bacino), le curve ipsografiche del bacino e dei sottobacini, la lunghezza e la pendenza delle aste fluviali. È utile acquisire i modelli digitali del terreno (DEM) eventualmente disponibili, i quali possono fornire utili informazioni per varie applicazioni successive.
2. *Geologia*. Ai fini delle successive considerazioni e valutazioni relative alla produzione di sedimenti, è importante effettuare una distinzione e quantificazione delle aree del bacino con affioramento del substrato e con depositi quaternari. È utile raggruppare le rocce del substrato almeno in due macro-classi, rocce più resistenti (dure) e più facilmente erodibili (tenere). Tale valutazione può essere effettuata utilizzando carte geologiche in scala 1:100.000 o 1:50.000.
3. *Tettonica*. È utile delineare le strutture tettoniche principali, che possono avere dei controlli sull'impostazione del reticolo idrografico, e delle faglie attive (zone dove la produzione di sedimenti può essere maggiore in occasione di eventi sismici).
4. *Geomorfologia*. Occorre disporre di un quadro complessivo dell'evoluzione geomorfologica dell'area, in particolare a partire dall'ultima espansione glaciale, e dei processi attuali (oltre ai processi fluviali, individuare quali altri processi sono diffusi nel bacino, ad es. gravitativi, glaciali, carsismo).
5. *Idrogeologia*. In ambito di pianura è importante la conoscenza dei rapporti fiume-falda. In ambito collinare/montano le conoscenze idrogeologiche sono generalmente più scarse, e sono probabilmente meno rilevanti ai fini del metodo. Tuttavia, studi esistenti che riportino schemi e meccanismi di circolazione idrica sotterranea possono fornire utili informazioni.

4.1.2 Inquadramento climatico e idrologico

La conoscenza delle caratteristiche climatiche e del regime idrologico è particolarmente importante sia per la caratterizzazione dei corsi d'acqua che per le successive analisi della dinamica morfologica. Sono compresi i due seguenti aspetti:

1. *Inquadramento climatico*. Si caratterizzano i principali aspetti climatici (temperature medie, minime e massime, ecc.) nelle varie porzioni del bacino.
2. *Inquadramento idrologico*. Comprende il regime delle precipitazioni e delle portate liquide nelle varie porzioni del bacino (facendo riferimento alle stazioni di misura con un numero sufficientemente ampio di dati). I dati pluviometrici e idrometrici possono essere sintetizzati ricavando i valori medi dei parametri più significativi (per es., precipitazione media annua, portate medie e massime) o possono permettere di costruire diagrammi relativi alle variazioni mensili o stagionali (per es., portate medie mensili). I parametri più significativi relativi al regime delle portate liquide possono essere successivamente determinati per i vari segmenti e/o tratti in cui è

suddiviso il reticolo. I dati di portata possono inoltre essere utilizzati successivamente per ricostruire le curve di durata delle portate, finalizzate ad esempio alla stima delle portate formative, alla ricostruzione della potenza della corrente e dei bilanci di sedimenti. Eventuali serie storiche di dati di precipitazione e/o portata in stazioni rappresentative possono essere utili per verificare l'esistenza di variazioni temporali delle condizioni idrologiche (ad es., riduzione delle portate formative), da poter mettere in relazione con l'evoluzione morfologica dei corsi d'acqua.

4.1.3 Inquadramento delle aree sorgenti di sedimenti

In questa fase si ricava un primo quadro generale sulle zone del bacino con maggiore produzione dei sedimenti, in relazione ad esempio alle litologie presenti, sui tipi di processi dominanti che la determinano (colate detritiche incanalate, erosione al piede di falde detritiche, ecc.) e sul loro grado di attività. Tale parte sarà ampiamente approfondita nella fase successiva ([CAPITOLO 5](#)).

4.1.4 Artificialità e uso del suolo

Analogamente al punto precedente, è importante in questa prima fase avere alcune informazioni di carattere generale a scala di bacino relativamente all'uso del suolo prevalente e alla presenza di tratti fluviali fortemente artificializzati. A tal fine, è utile acquisire i dati sull'uso del suolo e sulla copertura vegetale relativi al database *CORINE Land Cover*.

In questa fase si cominciano inoltre a raccogliere le informazioni disponibili (da catasti opere, ecc.) relative alle opere esistenti nel bacino, con particolare riferimento alle opere trasversali che inducono discontinuità nel flusso di sedimenti e legname.

Inquadramento generale

Riepilogando, la fase di inquadramento generale si basa sull'acquisizione e consultazione del materiale esistente. Generalmente, le informazioni e i dati possono essere ricavati da varie fonti, quali: (a) letteratura esistente (pubblicazioni scientifiche, libri, tesi); (b) relazioni relative a studi e progetti condotti per conto di agenzie pubbliche; (c) database pubblici disponibili presso le agenzie; (d) dati climatici, pluviometrici e idrometrici disponibili presso Servizi idrografici e Agenzie regionali; (e) carte tematiche e database GIS disponibili.

Il prodotto finale di questa fase è una sintetica descrizione dei vari aspetti trattati. Vengono riportate le principali fonti bibliografiche relative agli studi esistenti su tali argomenti e tabelle riepilogative dei dati esistenti (ad es., stazioni di misura e anni di funzionamento). La relazione può essere corredata da figure e grafici (ad es., schema geologico, uso del suolo) ricavate dal materiale bibliografico esistente. È inoltre opportuna l'acquisizione di tutti i dati in formato digitale, che possono poi essere utilizzati anche in fasi successive dello studio. In particolar modo, è utile l'acquisizione dei dati e delle cartografie disponibili in formato GIS, compresi i modelli digitali del terreno (DEM) eventualmente disponibili.

4.2 Suddivisione gerarchica del bacino e del reticolo idrografico

Questa seconda sottofase ha lo scopo di effettuare una suddivisione gerarchica del bacino e del reticolo idrografico. Facendo riferimento allo schema di suddivisione gerarchica in scale spaziali ([CAPITOLO 3](#)), tale fase è a sua volta articolata in quattro step, come rappresentato in [Figura 4.1](#). La fase di suddivisione porta alla delimitazione dei tratti, funzionali alle valutazioni e analisi successive. A seguito della suddivisione in tratti, si può eventualmente procedere (per alcuni tratti rappresentativi delle diverse morfologie presenti nel bacino) a un'ulteriore caratterizzazione al livello gerarchicamente inferiore delle unità morfologiche.

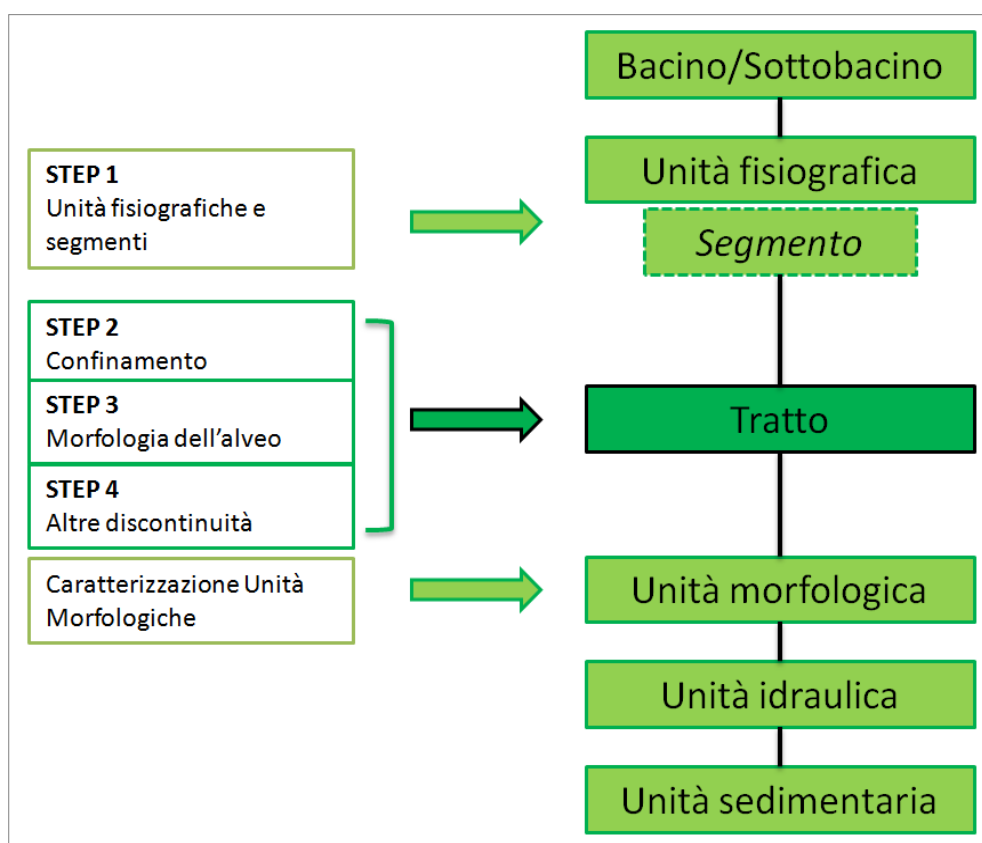


Figura 4.1 – Suddivisione della seconda sottofase in step.

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). Si suggerisce pertanto di partire con una **suddivisione iniziale di tentativo**, avendo già dall'inizio presenti i criteri relativi a ognuno dei 4 step, per poi perfezionarla progressivamente.

4.2.1 Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche (step 1)

Scopo: effettuare una prima suddivisione in macro-aree (unità fisiografiche) e macro-tratti (segmenti).

Informazioni/dati necessari di base: informazioni su litologie prevalenti e sulle caratteristiche fisiografiche e geomorfologiche, profili longitudinali dei corsi d'acqua.

Metodi: consultazione di carte geologiche, geomorfologiche, topografiche e DEM, telerilevamento/GIS.

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

Descrizione: sulla base delle informazioni raccolte nell'inquadramento generale, con particolare riferimento alle caratteristiche litologiche, fisiografiche e geomorfologiche, sono individuate le principali **unità fisiografiche** attraversate dai corsi d'acqua in esame ([Figura 4.2](#)). I profili longitudinali (costruiti dalle carte topografiche disponibili), soprattutto per il corso d'acqua principale e i maggiori affluenti, possono fornire indicazioni utili, sia per la suddivisione in segmenti che, soprattutto, per la successiva suddivisione in tratti (si veda in seguito).

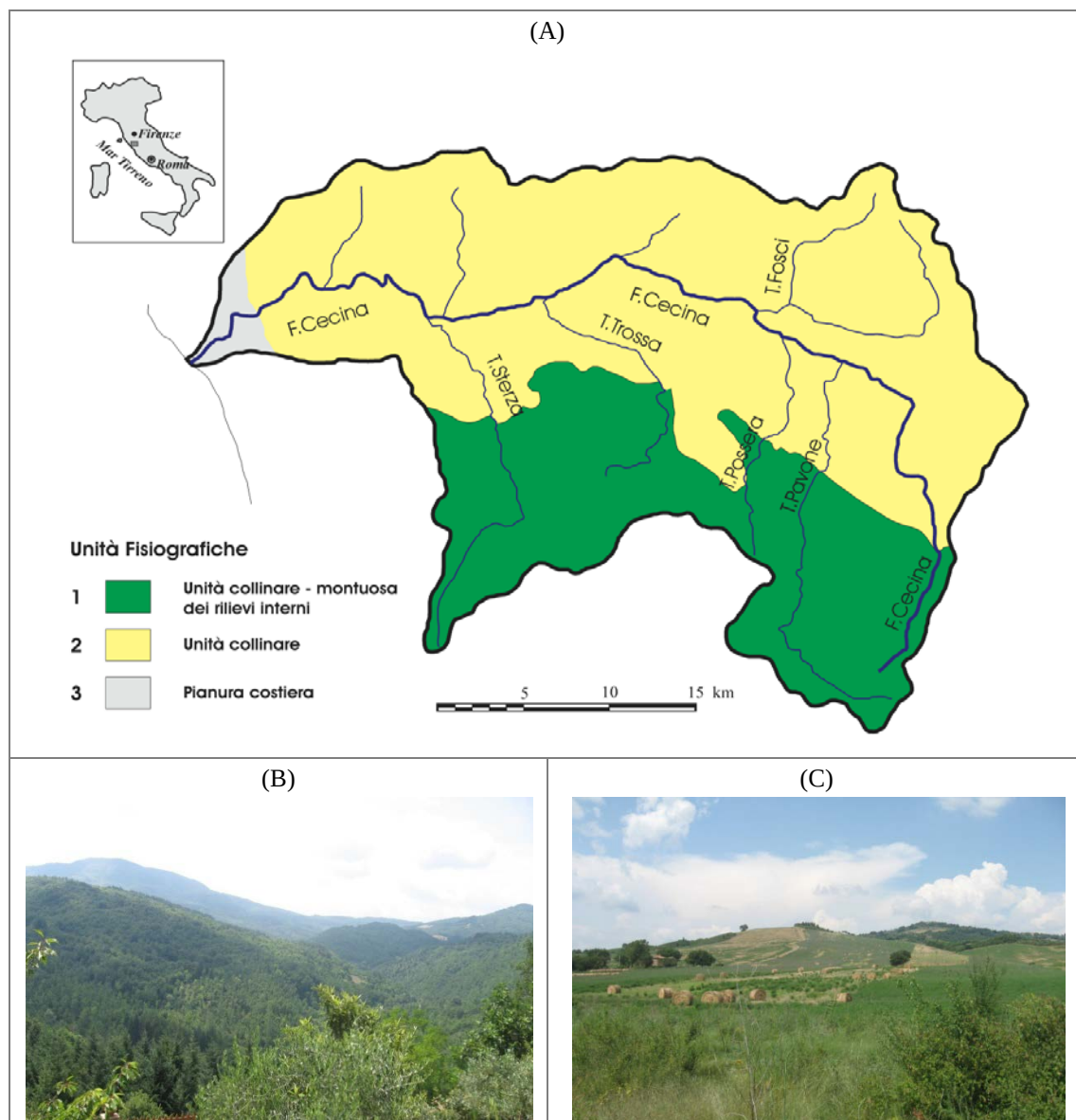


Figura 4.2 – Esempio di suddivisione del bacino del fiume Cecina (Toscana meridionale) in unità fisiografiche. (A) Definizione delle unità fisiografiche; (B) Foto panoramica relativa all’unità collinare-montuosa; (C) Foto relativa all’unità collinare.

Le **unità fisiografiche** derivano dalla combinazione di vari fattori, quali il rilievo, le quote topografiche, la geologia, la copertura vegetale, e rappresentano quindi delle macro-aree con caratteristiche fisiche relativamente omogenee. I principali fattori che vengono presi in considerazione sono i seguenti:

- (1) Fattori topografici. Si distinguono innanzitutto aree prevalentemente montuose (quote superiori a 600 m s.l.m.), collinari (quote inferiori a 600 m s.l.m.) e di pianura. L’energia del rilievo, ovvero la pendenza dei versanti, è anche utile a delineare queste aree con diverse caratteristiche topografiche (ad es., le aree montuose sono generalmente caratterizzate da pendenze dei versanti più elevate). Esempi di unità fisiografiche possono essere le aree montuose, le aree collinari, le pianure intermontane, le pianure basse e/o costiere.
- (2) Geologia. In molti casi le caratteristiche topografiche già riflettono un controllo geologico (ad es., aree montuose associate a litotipi più duri e aree collinari a litotipi più erodibili), mentre in altri casi le litologie possono determinare un’ulteriore suddivisione delle unità precedentemente individuate. Le litologie presenti nel bacino possono essere raggruppate in alcune macro-classi, ad esempio rocce più resistenti, rocce più erodibili, successioni marine o fluvio-lacustri pliocenico-quadernarie. In alcuni casi può essere utile distinguere all’interno di una macro-classe dei domini litologici qualora essi siano nettamente distinti e nel caso si ritenga che possano esercitare un

significativo controllo sui processi fluviali (ad es., zone con affioramenti di rocce sedimentarie carbonatiche rispetto a zone caratterizzate da rocce magmatiche e/o metamorfiche), evitando tuttavia un'eccessiva frammentazione del bacino.

In ambito nazionale, una suddivisione di partenza 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 e isole) e non sono da considerarsi come un elenco esaustivo, ma come un primo orientamento. Esse sono riconducibili, ai fini delle fasi successive, a vari **ambiti fisiografici**: (1) montano (o montuoso) (*M*); (2) collinare (*C*); (3) di pianura (*P*).

È possibile altresì definire unità fisiografiche in ambito misto, ad esempio un'unità in ambito montuoso – collinare (*CM*) o anche collinare – di pianura (*CP*). Un esempio tipico di quest'ultimo caso è rappresentato dalle conche intermontane, spesso costituite da pianure terrazzate e fasce collinari di depositi fluvio-lacustri.

Tabella 4.1 – Principali unità fisiografiche.

DENOMINAZIONE	NOTE
Settore Alpino e Pianura Padana	
Aree montuose alpine	Aree a quote elevate, con valli frequentemente ereditate da forme glaciali.
Aree montuose e collinari prealpine	Comprendono la fascia montuosa e collinare prealpina, inclusi i rilievi collinari corrispondenti agli apparati morenici (anfiteatri morenici).
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).
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 e Isole	
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.
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.
Aree intermontane appenniniche	Pianure (conche) intermontane di origine tettonica, frequenti sul versante appenninico tirrenico. Possono eventualmente comprendere pianure terrazzate e fasce collinari di depositi fluvio-lacustri.
Rilievi interni	Rilievi interni del versante tirrenico collinari o montuosi (compresa fascia di vulcanismo vulsino-campano) e rilievi della Sardegna.
Alta pianura (o pianura prossimale)	Pianura con maggiore pendenza, generalmente a partire dagli apici dei conoidi fino alla loro base.
Bassa pianura (o pianura distale)	Pianura a minore pendenza. Comprende la pianura costiera.

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 es., 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 e 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 sono inglobate nell'unità collinare entro la quale si inseriscono, andando a costituire eventualmente un'unità mista collinare-pianura).
- Le pianure costiere del settore appenninico e 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 principalmente dei seguenti aspetti:

- (1) **Configurazione del fondovalle** in termini di confinamento, ovvero di discontinuità nella presenza ed estensione di pianura alluvionale. Si distinguono (i) porzioni caratterizzate da presenza continua di pianura (tratti non confinati e/o semiconfinati) (caso del segmento 3 nell'es. in [Figura 4.3](#)), (ii) porzioni caratterizzate da assenza continua di pianura (tratti confinati), (iii) porzioni caratterizzate da presenza discontinua di pianura, ossia da un'alternanza di tratti non confinati e/o semiconfinati e di tratti confinati (caso del segmento 2 nell'es. in [Figura 4.3](#)). In alcuni casi, soprattutto nelle porzioni collinari montane dei principali corsi d'acqua, si può tener conto anche delle principali variazioni di direzione della valle legate a controlli tettonico-strutturali.
- (2) Notevoli **discontinuità di pendenza** nel profilo longitudinale del corso d'acqua (soprattutto nelle porzioni più alte del bacino); tali discontinuità in genere (ma non sempre) si riflettono in un cambio di unità fisiografica.
- (3) Notevoli **variazioni di portata** a causa di affluenti molto importanti, relativamente alla dimensione complessiva del bacino (di norma si può considerare il caso in cui l'affluente abbia un'area del sottobacino di almeno un terzo dell'area totale del bacino).

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 a un'unità fisiografica.
3. In ambito collinare-montuoso, ogni corso d'acqua deve corrispondere almeno a un segmento. Non esiste pertanto un limite inferiore di lunghezza dei segmenti.
4. Per quanto riguarda 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. La configurazione del fondovalle (continuità o meno di pianura) ([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), le variazioni più significative della pendenza del fondo o della portata 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 l'**area di drenaggio** sottesa (valutata al limite di valle del segmento) e la **pendenza media della valle**.

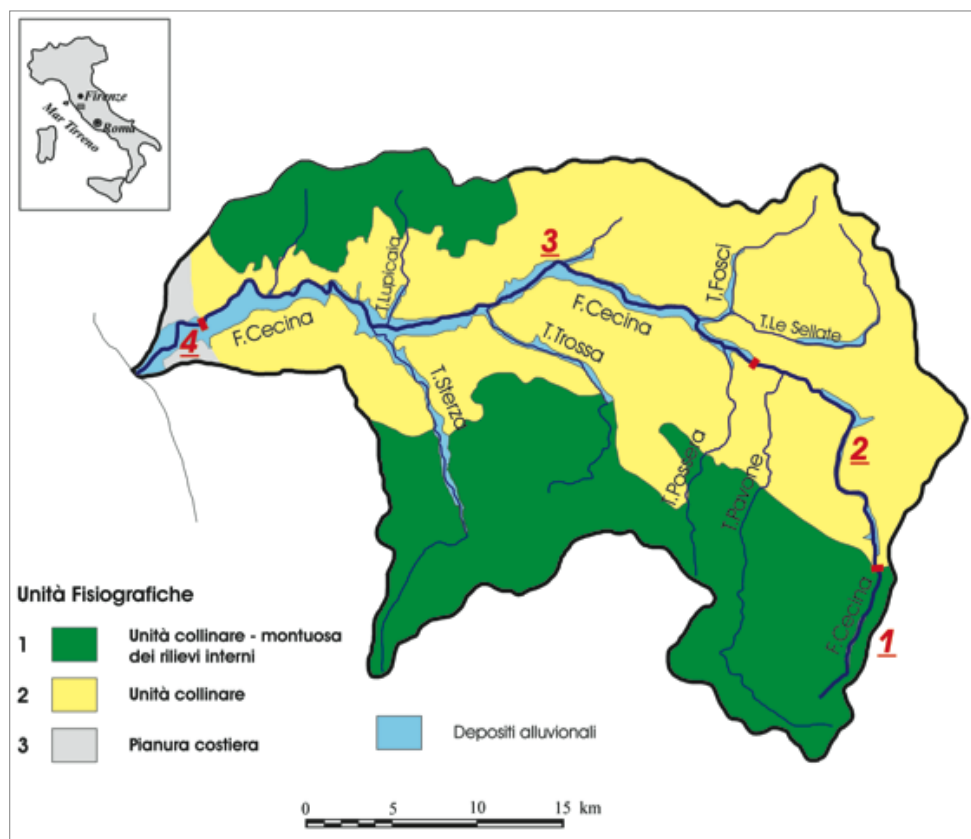


Figura 4.3 – Esempio di suddivisione in segmenti del fiume Cecina. Si noti che i segmenti 1 e 4 corrispondono a unità fisiografiche (si veda [Figura 4.2](#)), mentre i segmenti 2 e 3 derivano da un'ulteriore suddivisione in base ai caratteri di confinamento nell'attraversamento dell'unità collinare. *Segmento 1*: collinare montuoso prevalentemente confinato; *Segmento 2*: collinare con alternanza di tratti confinati e semiconfinati; *Segmento 3*: collinare semiconfinato – non confinato; *Segmento 4*: di pianura costiera non confinato.

4.2.2 Definizione del grado di confinamento (step 2)

Scopo: attraverso questo step vengono caratterizzate in dettaglio le condizioni di confinamento, procedendo a una 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 a due grandezze, il **grado di confinamento** e l'**indice di confinamento**.

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. Esso corrisponde alla percentuale di lunghezza del corso d'acqua con sponde non a contatto con la pianura, bensì con versanti, depositi di frana, conoidi di affluenti, terrazzi fluviali antichi o depositi glaciali. 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 come la massima ampiezza della regione fluviale di indagine (si veda [paragrafo 3.2](#)). Essa coincide con una superficie costituita da sedimenti alluvionali che può potenzialmente risentire, seppure occasionalmente, di uno o di entrambi i principali tipi di processi geomorfologici che determinano la continuità laterale (erosione, esondazione). Tale superficie di norma è identificabile nella Carta Geologica con le “*Alluvioni attuali*” o “*Alluvioni oloceniche*”.

Si precisa che i terrazzi che determinano il confinamento sono sempre quelli antichi (olocenici e pleistocenici): **i terrazzi connessi all'incisione recente dell'alveo (ultimi 50–100 anni)** non determinano confinamento, o meglio **non concorrono nel definire il grado di confinamento** (si veda di seguito per ulteriori chiarimenti su questo aspetto).

Relativamente ai terrazzi non legati all'incisione recente, il criterio cronologico non va tuttavia applicato in senso rigido, in quanto in alcuni casi sono necessarie alcune considerazioni di tipo altimetrico (legate alle condizioni di inondabilità) e/o sulle caratteristiche di erodibilità dei sedimenti (che condizionano i processi di erosione). Ad esempio, si possono richiamare i seguenti casi particolari:

- (1) Un terrazzo olocenico ma non attribuibile a incisione recente, con un dislivello di 10–15 m rispetto all'alveo attuale e costituito da sedimenti sufficientemente cementati evidentemente non fa parte della pianura alluvionale in quanto completamente disconnesso.
- (2) Al contrario, un terrazzo pleistocenico separato da un dislivello di pochi metri dall'alveo che può essere ancora inondabile, seppure con tempi di ritorno elevati, può essere incluso nella pianura.

Un caso particolare è quello di un terrazzo determinato da un'**incisione recente** che abbia causato un **affioramento del substrato**, in quanto le sponde potrebbero essere costituite da sedimenti meno erodibili, e quindi considerabili come elementi di confinamento. Tuttavia, anche in questi casi, le “*Alluvioni attuali*” o “*Alluvioni oloceniche*” sono tuttora da considerare come pianura, ossia come elementi di non confinamento laterale, e il tratto di corso d'acqua sarà quindi classificato come non confinato. In altri termini, nel caso di affioramento del substrato a causa di incisione recente attribuibile a fattori antropici, si fa riferimento alla condizione precedente alle alterazioni che ne hanno determinato il parziale confinamento nel substrato.

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 la 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 la 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. 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, depositi di frana, conoidi di affluenti, terrazzi fluviali antichi o depositi glaciali. 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 e altimetrica. Il confinamento può inoltre essere determinato dalla presenza di corpi di frana, falde detritiche e depositi glaciali (morene).
2. Alveo semiconfinato (o parzialmente confinato): pianura discontinua. Le sponde sono a contatto con pianura alluvionale per una lunghezza compresa tra il 10 e 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 es., 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, sul 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 a un criterio aggiuntivo basato sulla larghezza relativa della pianura, ovvero a 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*, in cui l'indice è compreso tra 1 e 1,5;
- *confinamento medio*, in cui l'indice è compreso tra 1,5 e un valore k ;
- *confinamento basso*, in cui l'indice è maggiore di k ;

dove il valore di k , che permette di separare le classi di confinamento medio e basso, è definito a seconda della morfologia fluviale come segue:

- $k = 5$ per alvei a canale singolo, compresi i sinuosi a barre alternate, e per alvei *anabranching*;
- $k = 2$ per alvei a canali intrecciati e *wandering*.

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

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

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 e 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 preliminarmente in tratti ([Figura 4.4](#)).

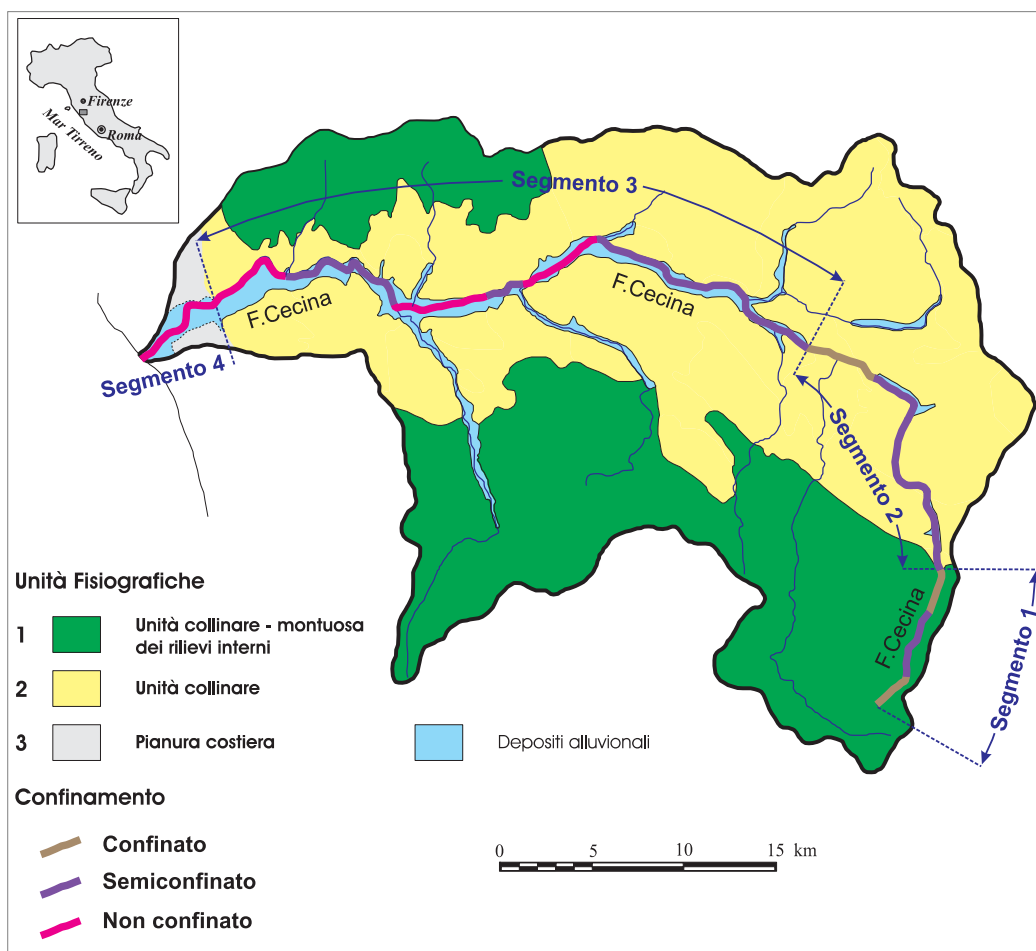


Figura 4.4 – Esempio di suddivisione dei segmenti del fiume Cecina in base al confinamento. 1: Unità collinare-montuosa; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali. A seguito di questo step sono stati individuati preliminarmente 11 tratti.

4.2.3 Definizione della morfologia dell'alveo (step 3)

Scopo: attraverso questo step si procede a una definizione delle morfologie fluviali presenti.

Informazioni/dati necessari: ambito fisiografico, confinamento, indice di sinuosità, indice di intrecciamento, indice di *anabranching*, 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**, a un **primo livello di classificazione** si distingue tra alvei a canale singolo (non ulteriormente classificati) e alvei a canali multipli o transizionali. Durante la fase di valutazione sul terreno, si può operare un'ulteriore **classificazione della configurazione del fondo** e delle unità morfologiche.
- (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, a un secondo livello di approfondimento viene effettuata una **classificazione della**

configurazione del fondo e delle unità morfologiche (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.

È utile precisare che questo step mira a definire la **morfologia attuale dell'alveo**, anche se tale morfologia deriva da interventi di artificializzazione.

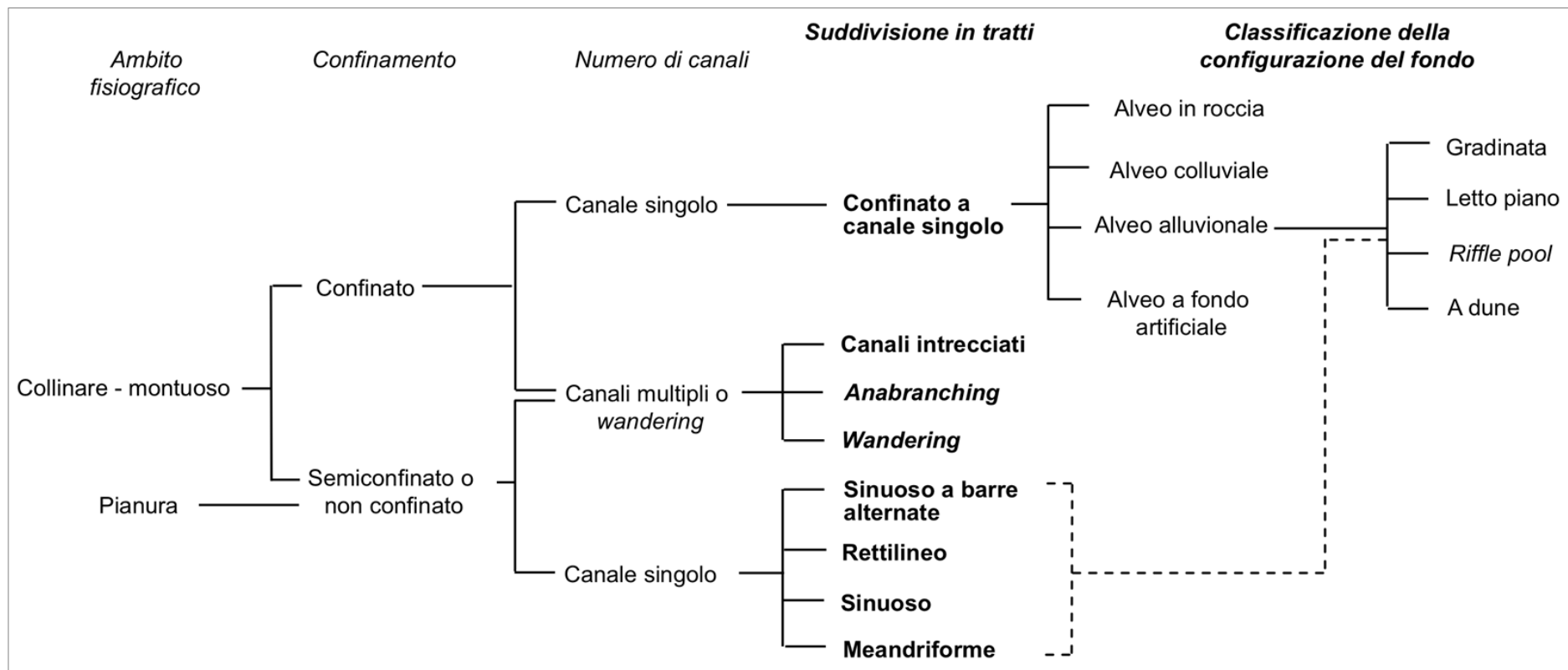


Figura 4.5 – Criteri di classificazione morfologica basati sul tipo di ambito fisiografico, sul confinamento, sulla forma planimetrica e sulla configurazione del fondo. La classificazione morfologica funzionale alla suddivisione in tratti si basa sul numero di canali e sulla forma planimetrica, mentre a un successivo livello di approfondimento si può procedere alla classificazione della configurazione del fondo.

CLASSIFICAZIONE DEI CORSI D'ACQUA NON CONFINATI O SEMICONFINATI

Per la definizione della morfologia fluviale dei corsi d'acqua non confinati e semiconfinati, si procede con un'analisi GIS di immagini telerilevate, facendo riferimento agli indici di sinuosità, intrecciamento e *anabranching* 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.

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 e il trasporto al fondo di sedimenti, ed è identificabile con il canale o i 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 a un tratto del fiume Tagliamento; (B) Esempio relativo a un tratto del fiume Cecina.

INDICE DI SINUOSITÀ (I_s)

È definito come il rapporto tra la lunghezza misurata lungo il corso d'acqua (l_a) e la lunghezza misurata per lo stesso tratto seguendo la direzione del tracciato planimetrico complessivo del corso d'acqua ($l_1 + l_2 + l_3 + \dots$). Viene utilizzato in particolar modo per classificare gli alvei a canale singolo, mentre è meno significativo per le tipologie a canali multipli.

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, che si definisce attraverso 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](#)), che 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. L'asse del tracciato planimetrico può anche essere rappresentato da una linea curva; un criterio oggettivo è quello di identificarlo con la linea passante per i punti di flesso dell'asse dell'alveo ([ALBER & PIÉGAY, 2011](#)). 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 uguale a 1).
4. Si misura la lunghezza del corso d'acqua tra i due estremi del tratto lungo l'asse dell'alveo e 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 es., 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).

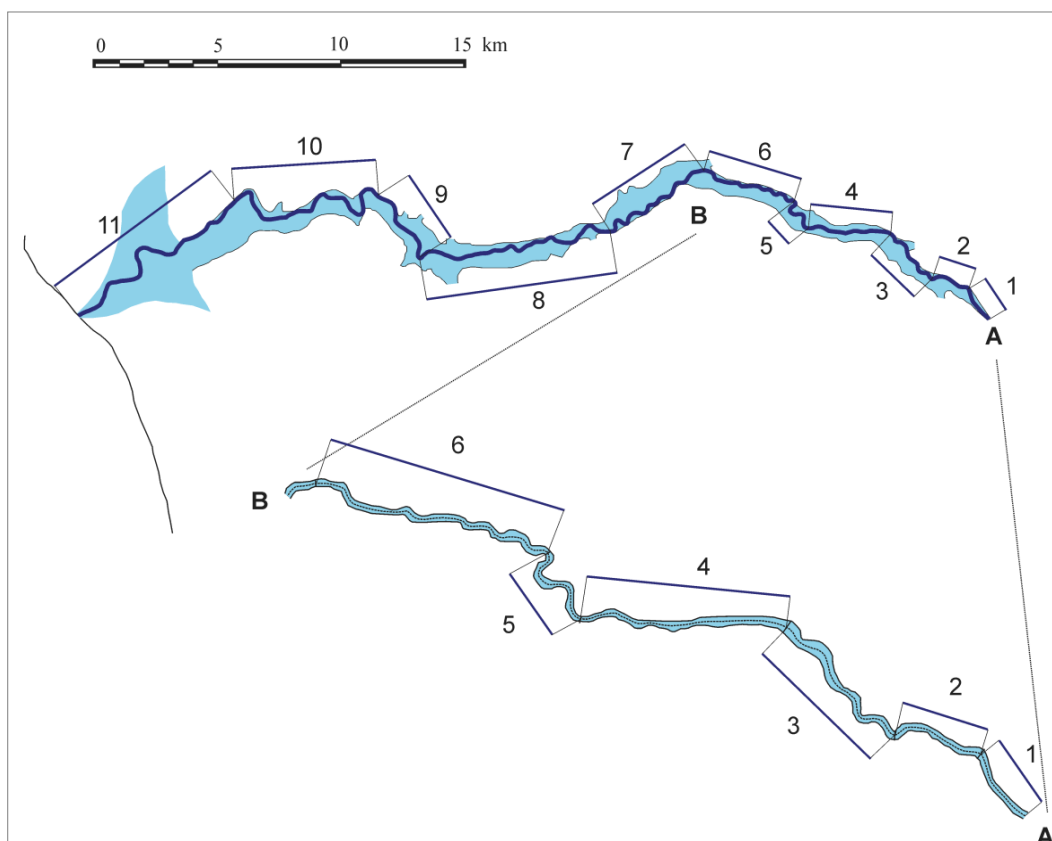


Figura 4.7 – Esempio di definizione dell’asse del tracciato planimetrico per tutta la porzione di fiume dove è necessario misurare l’indice di sinuosità. In [Figura 4.8](#), si riporta più in dettaglio il tratto AB per mettere in evidenza le sezioni di variazione dell’asse del tracciato planimetrico (la linea centrale rappresenta l’asse dell’alveo).

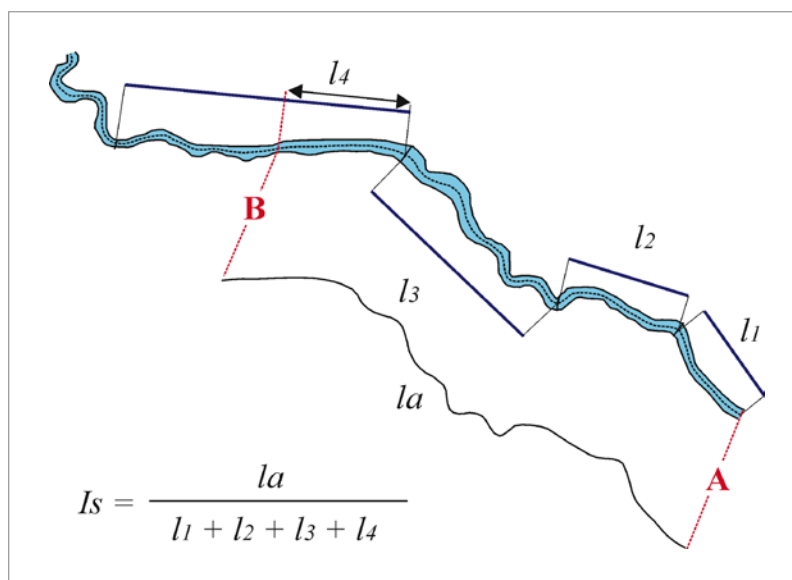


Figura 4.8 – Misura dell’indice di sinuosità in un tratto compreso tra i punti A e B con variazioni dell’asse del tracciato planimetrico. la : lunghezza misurata lungo l’asse dell’alveo; $l_1 + \dots + l_4$: lunghezza misurata lungo l’asse del tracciato planimetrico.

INDICE DI INTRECCIAMENTO (II).

Si definisce come il numero di canali attivi separati da barre. Viene utilizzato in particolar modo per definire gli alvei a canali intrecciati e quelli *wandering*, mentre è meno significativo per le tipologie a canale singolo.

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 inquadramento 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 (si può 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 uguale a 1.5 (si veda dopo).

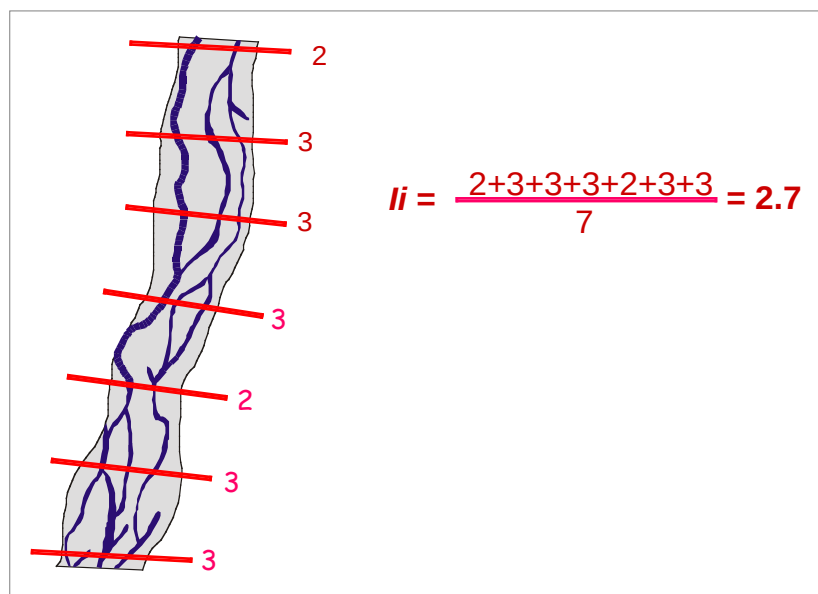


Figura 4.9 – Misura dell'indice di intrecciamento.

INDICE DI ANABRANCHING (IA).

Si definisce come il numero di canali attivi separati da isole fluviali. Viene utilizzato in particolar modo per definire gli alvei di tipo *anabranching*, mentre è meno significativo per le tipologie a canale singolo.

Come si misura

La misura dell'indice di *anabranching* 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 *anabranching* 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 *anabranching* pari a 1.5 (si veda dopo).

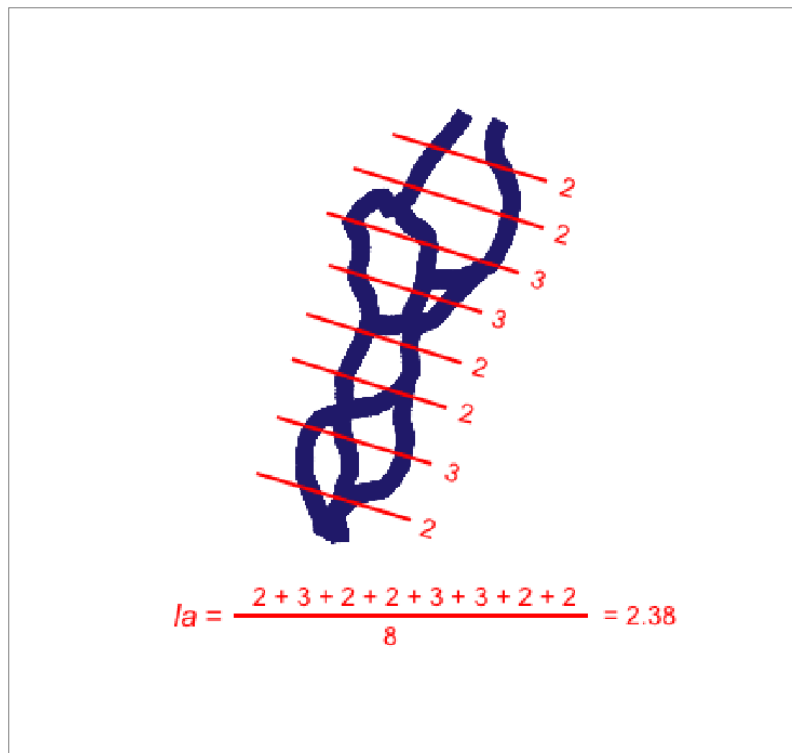


Figura 4.10 – Misura dell'indice di *anabranching*.

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, e 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 intrecciamento generalmente pari o prossimo a 1, e con un indice di sinuosità inferiore a 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. Si noti che, nel caso di corsi d'acqua confinati o anche semiconfinati con una ridotta larghezza della pianura, l'indice di sinuosità non è indicativo, in quanto l'asse del tracciato planimetrico tende a coincidere con l'asse dell'alveo, indipendentemente dall'assetto planimetrico del corso d'acqua. Pertanto, il termine di alveo rettilineo va utilizzato solo per corsi d'acqua non confinati o semiconfinati con una pianura sufficientemente ampia, ossia corsi d'acqua con un tracciato planimetrico effettivamente all'incirca rettilineo.



Figura 4.11 – Alveo rettilineo (F.Chiese).

- **Sinuoso.** A differenza dei rettilinei, gli alvei di tipo sinuoso hanno un indice di sinuosità superiore a 1.05 ([Figura 4.12](#)). [BRICE \(1984\)](#) indica alvei a bassa sinuosità quando l'indice è inferiore a 1.3, e sinuoso-meandriiformi quando è superiore, ma il valore superiore comunemente più accettato, che separa i sinuosi dai meandriiformi, 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 [CAPITOLO 10](#)). È possibile la presenza locale di isole fluviali, ma l'indice di *anabranching* si mantiene sempre

basso (e comunque inferiore a 1.5). Si noti che, nel caso di alvei semiconfinati con limitata larghezza della pianura (ovvero basso indice di confinamento), il termine di sinuoso può essere utilizzato anche nel caso di indice di sinuosità inferiore a 1.05 qualora il tracciato si discosti sensibilmente da un andamento effettivamente rettilineo.



Figura 4.12 – Alveo di tipo sinuoso.

- **Meandriforme.** Si tratta di un alveo a canale singolo (indice di intrecciamento generalmente pari o prossimo a 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 meandriiformi gli alvei con indice superiore a 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 meandriiformi, quali ad esempio: (a) meandriiformi canaliformi privi di barre di meandro, generalmente caratteristici di tratti di pianura a bassa pendenza e con trasporto solido al fondo limitato; (b) meandriiformi 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 *anabranching* si mantiene sempre basso (e comunque inferiore a 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, *anabranching*). 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. Queste barre occupano una percentuale elevata dell'area dell'alveo, in maniera simile ai corsi d'acqua 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 [CAPITOLO 10](#)) 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.

Tenendo principalmente in considerazione le caratteristiche di intrecciamento, possono essere distinte due **tipologie**:

1. **Wandering** ([Figura 4.14A](#)), sono quei corsi d'acqua che presentano un alveo relativamente più largo, con situazioni locali di intrecciamento piuttosto diffuse (quindi un indice superiore a 1, ma inferiore a 1.5), oltre che situazioni locali di *anabranching*, cioè presenza locale di isole (quindi anche l'indice di *anabranching* può essere superiore a 1). [CHURCH \(1983\)](#) introdusse il termine *wandering* proprio per indicare una situazione di transizione tra *anabranching* e meandriforme (*wandering* di tipo 2 secondo [CARSON, 1984](#)), ma successivamente il termine è stato esteso e adoperato più comunemente a situazioni di transizione tra meandriformi e canali intrecciati.

2. **Sinuoso a barre alternate** ([Figura 4.14B](#)), che hanno caratteristiche simili ai precedenti, ma l'alveo in genere è relativamente meno largo e presenta minori situazioni di intrecciamento (indice prossimo a 1). Analogamente ai *wandering*, essi sono caratterizzati da una sostanziale differenza in dimensioni e pattern planimetrico tra canale di magra e 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 e 1.45) ([RINALDI, 2003](#)). Per quest'ultima caratteristica alcuni autori hanno a volte adottato anche il termine di "pseudomeandriiformi" (*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.

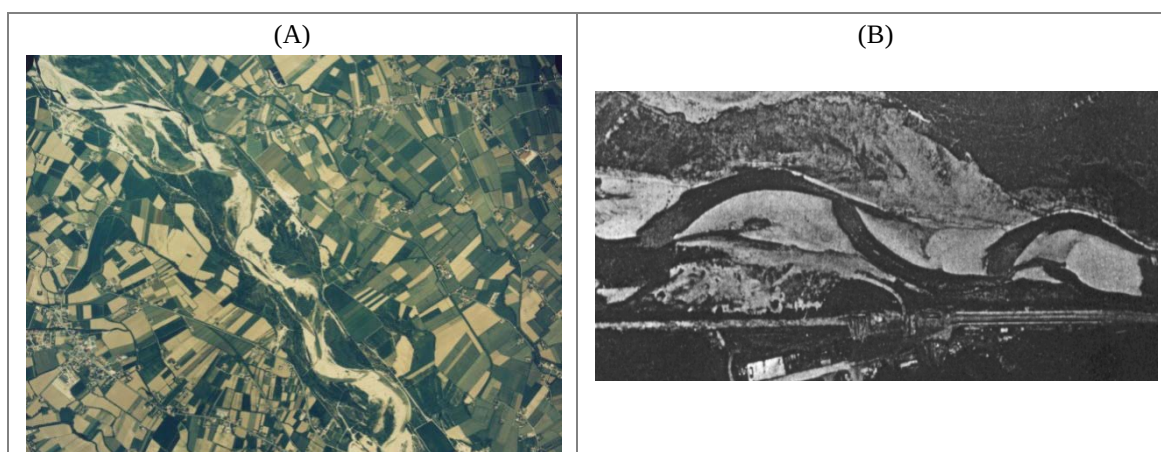


Figura 4.14 – Alvei con morfologie transizionali: (A) *wandering*; (B) sinuoso a barre alternate.

- **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 a 1.5 possono essere definiti come a canali intrecciati. Si possono distinguere, anche in questo caso, varie sotto-tipologie ([GURNELL et al., 2000](#)): (a) alvei *bar-braided*, dove i canali sono separati per la quasi totalità da barre, tipici dei tratti pedemontani a più elevata energia; (b) alvei *island-braided*, dove 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 a 1. L'indice di *anabranching* è prossimo a 1 negli alvei *bar-braided*, mentre è più elevato (comunque inferiore a 1.5) negli alvei *island-braided*.



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

- **Anabranching.** Si tratta di alvei a canali multipli caratterizzati da isole, vegetate o comunque stabili, che dividono il flusso in più rami fino alle portate in condizioni formative (di ‘bankfull’) ([NANSON, 2013](#)) ([Figura 4.16](#)). A differenza degli alvei a canali intrecciati, nei quali in condizioni formative le barre sono completamente sommerse e il corso d’acqua perde i caratteri di pluricursale (eccetto laddove siano presenti isole), nel caso degli alvei *anabranching* il pattern rimane pluricursale anche in condizioni di portata ad alveo pieno. Il parametro caratterizzante è l’indice di *anabranching*. Analogamente al caso degli alvei a canali intrecciati, si pone uguale a 1.5 il valore di soglia, al di sopra del quale un corso d’acqua si considera *anabranching*. L’indice di intrecciamento è variabile, ma di norma prossimo a 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 meandriiformi, e comunque tale parametro non è caratterizzante. Esistono diverse sotto-tipologie di *anabranching* (si veda [NANSON & KNIGHTON, 1996](#); [MAKASKE, 2001](#); [NANSON, 2013](#)), che variano da sistemi a bassa energia con sedimenti coesivi ad alvei ghiaiosi ad alta energia, per le quali si rimanda al [paragrafo 4.2.5](#). I corsi d’acqua *anabranching* a bassa energia sono indicati con il termine di **anastomizzati** (*anastomosing*) ([Figura 4.16](#)).



Figura 4.16 – Alveo *anabranching* di tipo 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](#) e 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 di tre indici chiave utilizzati a tal fine: sinuosità, intrecciamento, *anabranching*. 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 e 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).

È utile rimarcare che gli indici planimetrici non vanno misurati indiscriminatamente per tutte le morfologie. L'indice di sinuosità è adatto per distinguere le tipologie a canale singolo, mentre gli indici di intrecciamento e *anabranching* sono adatti per le morfologie a canali multipli. Ad esempio, non è significativo misurare l'indice di intrecciamento e/o di *anabranching* in un alveo a canale singolo, nel quale è evidente che le barre e/o isole siano assenti o occasionali e quindi non tali da condizionare la corretta individuazione della tipologia morfologica.

$1 \leq I_s < 1.05$ e $I_a < 1.5$  Rettilineo		
$1.05 \leq I_s < 1.5$ e $I_a < 1.5$  Sinuoso	 Wandering	
$I_s \geq 1.5$ e $I_a < 1.5$  Meandriforme	 Sinuoso a barre alternate	
$I_a \geq 1.5$  Anabranching		 Canali intrecciati
$1 \leq I_i < 1.5$	$1 \leq I_i < 1.5$	$I_i \geq 1.5$

Figura 4.17 – Schema delle morfologie fluviali e dei relativi campi di variabilità degli indici morfologici planimetrici. I_s : indice di sinuosità I_i : indici di intrecciamento I_a : indice di *anabranching*.

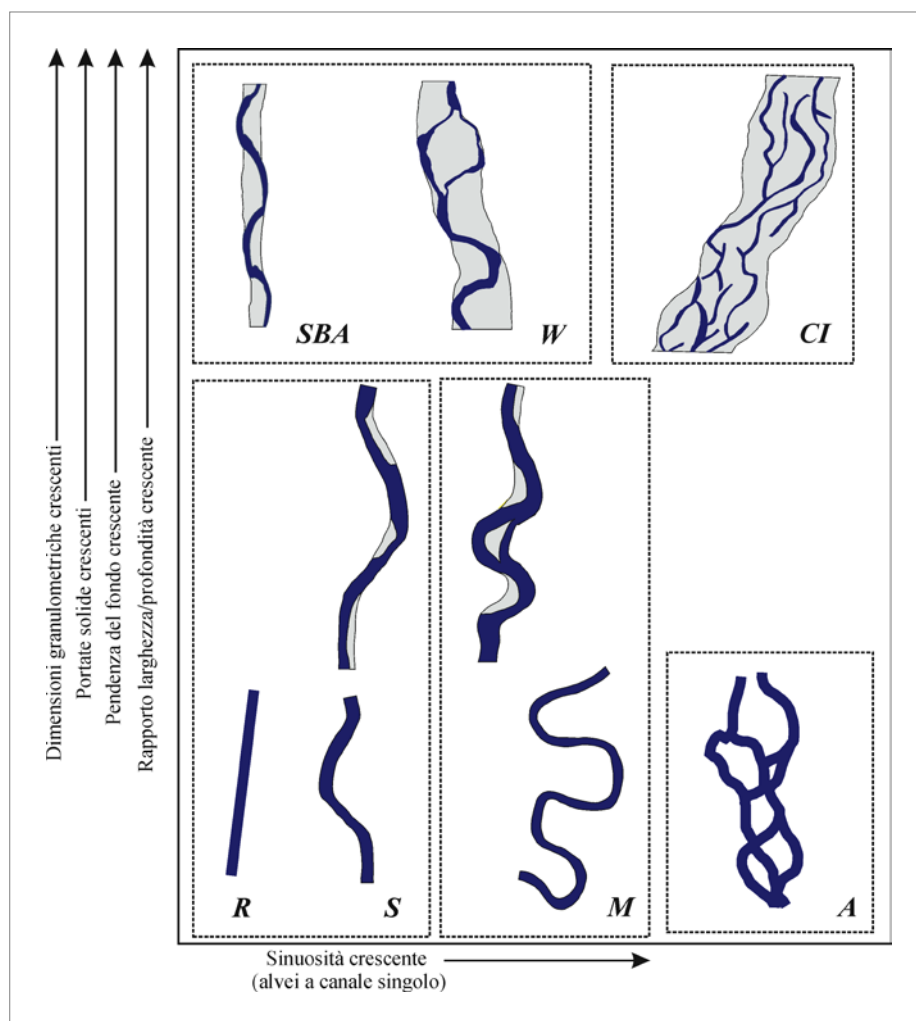


Figura 4.18 – Morfologie fluviali e relazioni con i principali parametri di controllo (modificato da [RINALDI, 2003](#)). *R*: Rettilineo; *S*: Sinuoso; *M*: Meandriforme; *A*: Anabranching; *SBA*: Sinuoso a barre alternate; *W*: Wandering; *CI*: Canali intrecciati.

Tabella 4.3 – Differenze tra le varie morfologie fluviali in termini di indici di sinuosità, intrecciamento e *anabranching* (in grassetto i valori di soglia dei parametri caratterizzanti, quando definibili) oppure in termini di altre caratteristiche morfologiche distintive.

TIPOLOGIA	INDICE DI SINUOSITÀ	INDICE DI INTRECCIAMENTO	INDICE DI ANABRANCHING
Rettilinei (<i>R</i>)	$1 \leq I_s < 1.05$	1–1.5 (di norma pari o prossimo a 1)	1–1.5 (di norma pari o prossimo a 1)
Sinuosi (<i>S</i>)	$1.05 \leq I_s < 1.5$	1–1.5 (di norma pari o prossimo a 1)	1–1.5 (di norma pari o prossimo a 1)
Meandriformi (<i>M</i>)	≥ 1.5	1–1.5 (di norma pari o prossimo a 1)	1–1.5 (di norma pari o prossimo a 1)
Sinuosi a barre alternate (<i>SBA</i>)	< 1.5	Prossimo a 1	Prossimo a 1
<i>Wandering</i> (<i>W</i>)	< 1.5	$1 < I_i < 1.5$	$1 < I_a < 1.5$
Canali intrecciati (<i>CI</i>)	qualunque (di norma basso)	≥ 1.5	< 1.5
<i>Anabranching</i> (<i>A</i>)	qualunque (anche > 1.5)	qualunque (di norma basso)	≥ 1.5
Altre caratteristiche distintive			
Rettilinei (<i>R</i>)	Per essere definiti rettilinei, il tracciato planimetrico deve essere effettivamente circa rettilineo. La soglia dell' I_s non è significativa nel caso di alvei semiconfinati con pianura stretta, per i quali il basso valore dell'indice può essere dovuto al fatto che l'asse del tracciato planimetrico è simile all'asse dell'alveo in quanto il fondovalle ha un andamento esso stesso sinuoso (in tali casi, il corso d'acqua va definito sinuoso anche per $I_s < 1.05$).		
Rettilinei (<i>R</i>) o sinuosi (<i>S</i>)	Rispetto a <i>SBA/W</i> : Presenza discontinua (o assenza) di barre laterali (lunghezza barre laterali $< 80\%$)		
Sinuosi a barre alternate (<i>SBA</i>)	Rispetto a <i>R/S</i> : Presenza continua o quasi di barre laterali (lunghezza barre laterali di norma $> 80\%$). Rispetto a <i>W</i> : alveo relativamente più stretto; assenza (o limitata presenza) di intrecciamento e <i>anabranching</i> .		
<i>Wandering</i> (<i>W</i>)	Rispetto a <i>R/S</i> : Presenza continua o quasi di barre laterali (lunghezza barre laterali di norma $> 80\%$). Rispetto a <i>SBA</i> : alveo relativamente più largo; presenza significativa di fenomeni di intrecciamento e/o <i>anabranching</i>		

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

L'attribuzione di una tipologia morfologica a un determinato tratto avviene, come precedentemente descritto, soprattutto sulla base dei principali indici che ne descrivono la forma planimetrica (sinuosità, intrecciamento, *anabranching*), integrati in alcuni casi (v. alvei transizionali) dall'osservazione di altre caratteristiche distintive (ad 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 a 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 e a canali multipli.

1. *Alvei a canale singolo.* L'attribuzione a una delle tre tipologie appartenenti a questa categoria (rettilineo, sinuoso, meandriforme) 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 e 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 a 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 a 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 a 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 (ad 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 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	<i>Wandering</i> – canali intrecciati
Bassa pianura	Sinuosi – meandriiformi
<i>Settore Appenninico e 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 – 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 – meandriiformi – transizionali
Bassa pianura (o pianura distale)	Rettilinei – sinuosi – meandriiformi

Nel caso di **corsi d'acqua a canale singolo semiconfinati o non confinati in ambito collinare-montuoso** 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 *rifle* e *pool*. La sinuosità dei meandriformi montani è generalmente minore (compresa tra 1.5 e 2) 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.

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 *wandering* oppure a canale singolo.

Nel caso di **canali multipli o 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 *anabranching* e dalla lunghezza delle barre laterali), distinguendo quindi le seguenti tipologie.

- **Alvei wandering, a canali intrecciati o anabranching.** 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 *anabranching* anche in ambiente collinare-montuoso ([Figura 4.20B](#)).



Figura 4.20 – Alvei a canali multipli di ambiente collinare-montuoso. (A) Alveo a canali intrecciati confinato (fiume Bhagirati, India); (B) alveo *anabranching* confinato (fiume Tayia, Alaska).

Nel caso di **canale singolo** (inclusi i sinuosi a barre alternate), a un primo livello di approfondimento non si prevedono ulteriori suddivisioni ([Figura 4.21](#)), 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 (durante la fase di valutazione sul terreno) è possibile procedere a un'ulteriore caratterizzazione basata sulla **configurazione del fondo** ([paragrafo 4.2.5](#)).

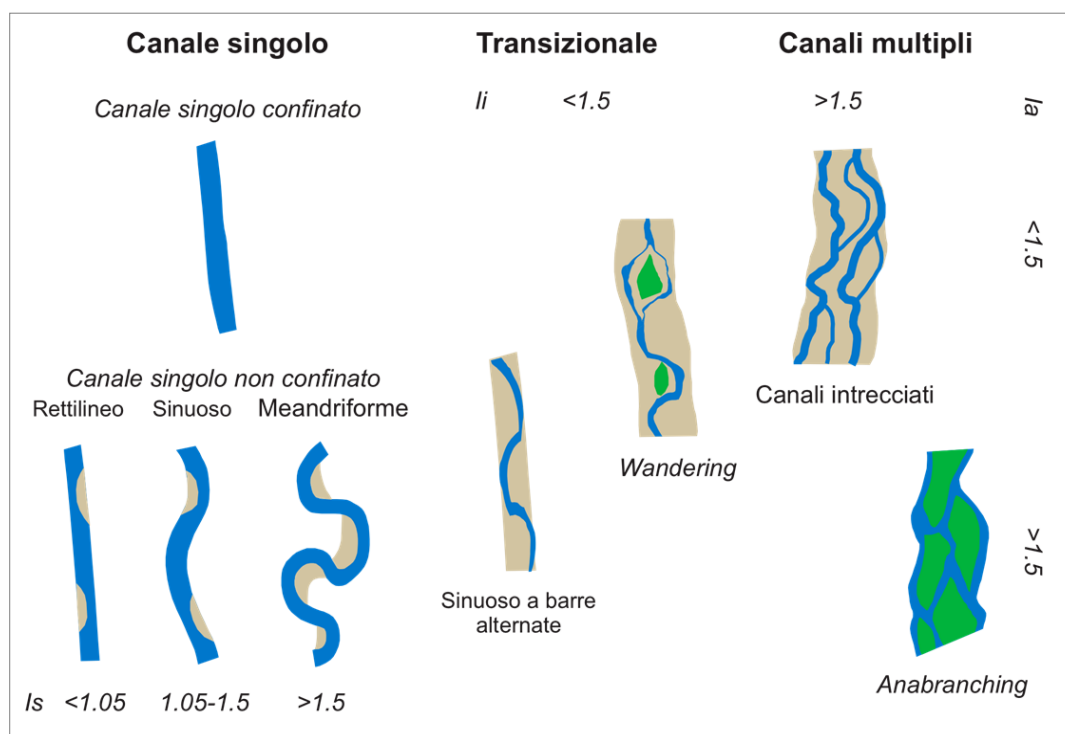


Figura 4.21 – Riepilogo delle principali tipologie morfologiche basate sul numero di canali (canale singolo o canali multipli) e sugli indici di sinuosità (I_s) (non usato per i confinati), di intrecciamento (I_i) e di *anabranching* (I_a).

ALTRI DATI PER LA CARATTERIZZAZIONE MORFOLOGICA DEL TRATTO

Si tratta di alcuni parametri che, seppure non influiscano direttamente ai fini della classificazione morfologica, sono fondamentali per la caratterizzazione del tratto.

- **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_a)** (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 e *anabranching*).
3. Definizione del passo delle misure. Per una misura accurata della larghezza è consigliata un'interdistanza dell'ordine di $0.25L \div 1L$. Tuttavia tale interdistanza può anche essere aumentata, ad esempio in casi 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, che viene effettuata per ogni punto dell'asse dell'alveo corrispondente al passo definito, perpendicolarmente allo stesso ([Figura 4.22](#)). Al termine delle misure si ricava un valore medio.

La misura della **larghezza dell'alveo (L_a)** 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 (L_t)** (in m) ([Figura 4.22](#)). Nel caso di alvei *anabranching*, 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 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.

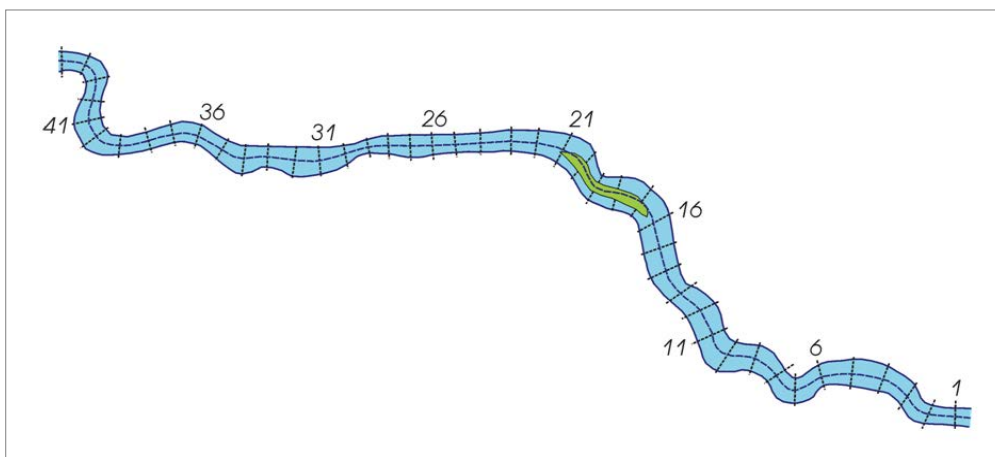


Figura 4.22 – Esempio di misura di La . I segmenti tratteggiati (1–45) rappresentano le sezioni di misura. Tra le sezioni 17 e 20, la misura La non comprende l'isola (in verde), mentre va inclusa nella misura totale Lt .

- **Sedimenti dominanti dell'alveo:** ai fini di una più completa caratterizzazione morfologica, è necessario indicare il tipo di sedimenti dominanti presenti nella porzione più attiva dell'alveo (canale e barre), scegliendo tra le seguenti classi granulometriche: argilla ($d < 0.002$ mm); limo (0.002 mm $< d < 0.0625$ mm); sabbia (0.0625 mm $< d < 2$ mm); ghiaia (2 mm $< d < 64$ mm), ciottoli (64 mm $< d < 256$ mm); massi ($d > 256$ mm). Nel caso di sedimenti eterogenei, è possibile indicare più di una classe. Tale osservazione viene effettuata durante la fase di rilievi sul terreno successiva alla suddivisione in tratti.

RISULTATO DELLO STEP 3: SUDDIVISIONE IN BASE ALLE MORFOLOGIE FLUVIALI

Il risultato dello **step 3** è la suddivisione in tratti sulla base della definizione della morfologia dell'alveo. Incrociando tale suddivisione con quella precedentemente ottenuta negli **step 1 e 2**, il risultato complessivo è una suddivisione del corso d'acqua in una serie di tratti sulla base della suddivisione in segmenti, del confinamento e della morfologia ([Figura 4.23](#)).

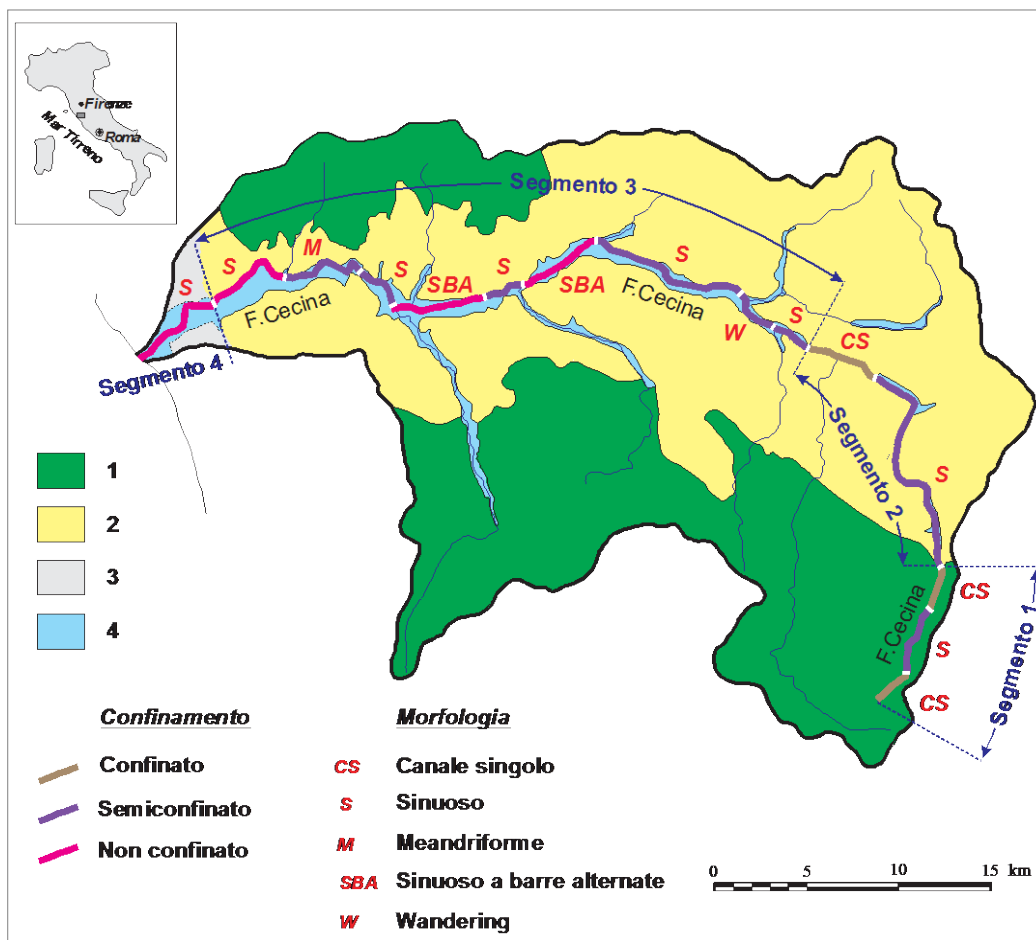


Figura 4.23 – Esempio di suddivisione del fiume Cecina in 15 tratti ottenuti incrociando i segmenti (step 1), la classificazione del confinamento (step 2) e della morfologia dell'alveo (step 3). 1: Unità collinare-montuosa; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali.

4.2.4 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 quindi segmenti, 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 ulteriori aspetti che possono determinare la presenza di marcate discontinuità delle caratteristiche morfologiche del corso d'acqua. In particolare, i criteri da considerare in questo step sono i seguenti:

- (1) **Discontinuità della pendenza del fondo.** Questo criterio si applica maggiormente ai tratti confinati o semiconfinati delle porzioni medio-alte del bacino, dove possono esistere notevoli discontinuità di pendenza non identificabili con i criteri precedenti. In questo step viene completato il profilo longitudinale anche per i tratti confinati o semiconfinati, al fine di verificare l'esistenza di eventuali variazioni di pendenza, le quali in genere trovano corrispondenza in altri elementi (ad es., variazione della morfologia dell'alveo), ma possono servire di ausilio per la delimitazione di un tratto.

-
- (2) **Discontinuità idrologiche: presenza di affluenti.** Si possono considerare come discontinuità idrologiche gli affluenti che determinano significativi incrementi localizzati di portate liquide e/o solide. Di norma, si può assumere un affluente come significativo quando l'area del sottobacino da esso sotteso è di almeno un terzo rispetto all'area di drenaggio del corso d'acqua principale alla sezione di confluenza.
- (3) **Variazioni di unità morfologiche.** Tale aspetto può valere nel caso in cui una porzione del corso d'acqua mantiene la stessa configurazione planimetrica, ma al suo interno si nota una distinta variazione nella presenza e/o frequenza di unità morfologiche (quali barre o isole). A tal fine, le osservazioni non richiedono il rilevamento sul terreno, ma possono essere condotte da immagini telerilevate (si riferiscono quindi ad alvei sufficientemente larghi). In questi casi è possibile distinguere tratti diversi sulla base delle tipiche unità morfologiche che li caratterizzano (si veda il [paragrafo 4.2.5](#)), seppure appartenenti alla stessa morfologia definita nello **step 3**. Può essere il caso di un alveo meandriforme che per un primo tratto presenta barre di meandro molto frequenti, mentre nel tratto successivo denota una sostanziale scomparsa o presenza occasionale di barre.
- (4) **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, in quanto tali aspetti possono determinare significative differenze nella dinamica laterale del corso d'acqua. Un esempio può essere un tratto che, pur rimanendo semi-confinato, presenta delle porzioni sufficientemente lunghe con un notevole restringimento della pianura che impedisce la possibilità di mobilità laterale a causa della vicinanza dei versanti.
- (5) **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).
- (6) **Forte artificializzazione.** Le discontinuità artificiali sono invece costituite dalle **dighe**, le quali in genere determinano la presenza di un vaso più o meno esteso a monte e di un tratto immediatamente a valle con una significativa riduzione delle portate di piena e di quelle solide. Similmente, anche **briglie di trattenuta** di notevole altezza (indicativamente maggiori di 5–6 m) e traverse di una certa dimensione rappresentano delle discontinuità di cui tener conto, soprattutto nel caso di totale intercettazione del trasporto solido al fondo che le rende sostanzialmente assimilabili a dighe. Nel caso di alvei montani, l'artificializzazione, quando molto spinta, quali **cunettoni** o **sequenza di briglie di consolidamento** 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 a una categoria morfologica in quanto i parametri planimetrici possono essere ancora misurabili (ad es., 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 che 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 a una certa distanza dal corso d'acqua.

Suddivisione finale in tratti

La suddivisione finale in tratti relativamente omogenei per caratteri morfologici ([Figura 4.24](#)) viene effettuata in primo luogo in base alla delimitazione dei segmenti, alle caratteristiche di confinamento e alla morfologia dell'alveo, 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 (per es., sopra i 5 km).
- In particolar modo, per gli alvei confinati a canale singolo, si procede a un'ulteriore suddivisione in tratti, soprattutto in base a discontinuità della pendenza del fondo (**step 4**) misurata da carte topografiche.

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, poiché 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 presenti 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 sul terreno si osservassero 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).

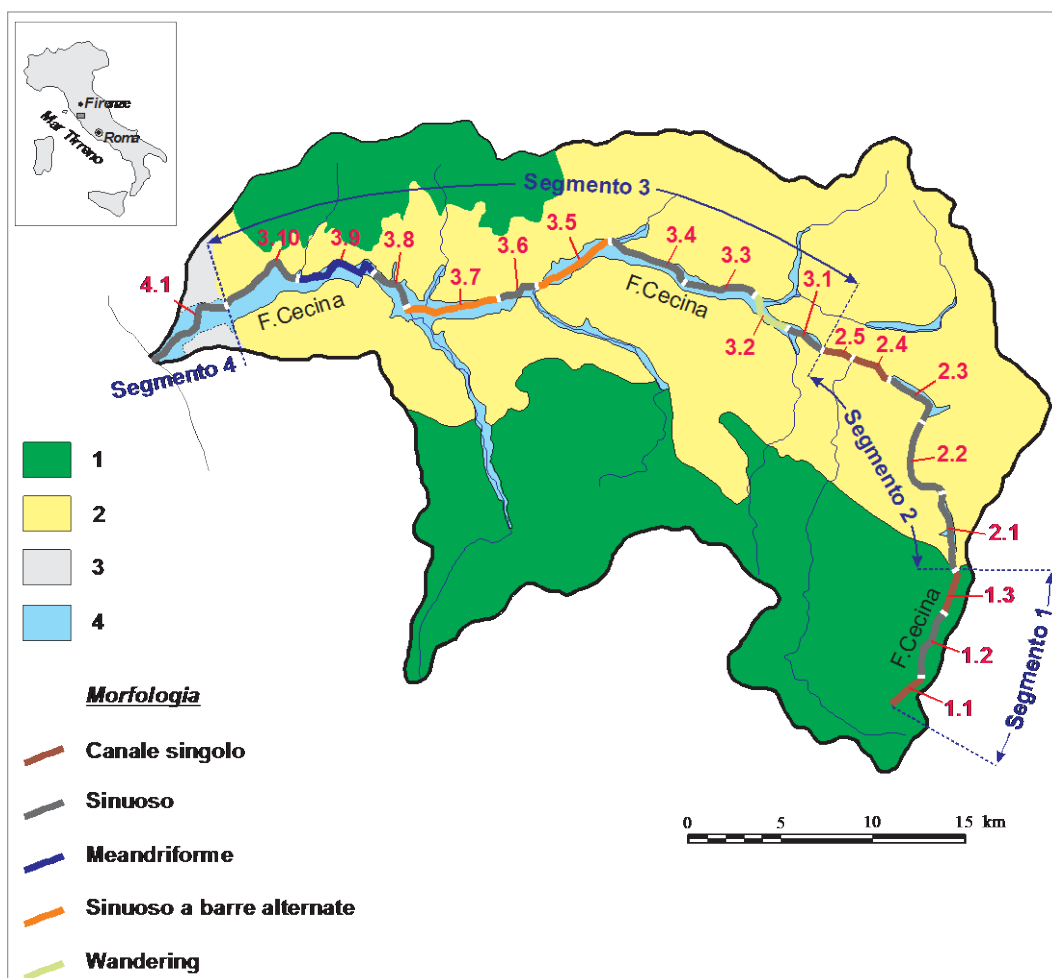


Figura 4.24 – Fase di suddivisione iniziale: esempio relativo al fiume Cecina. A conclusione della *Fase 1* sono stati individuati 19 tratti. I tratti 2.1, 2.2 e 2.3 derivano dalla suddivisione di un precedente tratto sulla base di forti variazioni dell'indice di confinamento (ovvero della larghezza della pianura), mentre i tratti 2.4 e 2.5 derivano dalla confluenza di un importante affluente. 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. 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}), che è ricavata sulla base delle portate giornaliere nell'intervallo di tempo disponibile;
- **portata $Q_{1.5}$** , che è la portata con tempo di ritorno di 1.5 anni ricavata dall'analisi statistica delle portate al colmo massime annuali;
- **portate massime** verificatesi durante l'intervallo di tempo di registrazione, di cui 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 la più significativa. 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 fiume Po, ai fini della definizione del piano di gestione dei sedimenti ([COLOMBO & FILIPPI, 2009](#)).
- **Opere di alterazione delle portate liquide e solide nel bacino.** È opportuno procedere, già in questa fase, a 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 (per 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) e 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).

4.2.5 Caratterizzazione e classificazione delle unità morfologiche

Successivamente alla suddivisione in tratti, è possibile procedere a un'ulteriore fase di caratterizzazione e classificazione relativa al livello spaziale gerarchicamente inferiore, ossia quello delle unità morfologiche, che hanno una dimensione longitudinale dello stesso ordine di grandezza della larghezza dell'alveo. Tale aspetto non rappresenta quindi un criterio di suddivisione in tratti (eccetto che nei casi in cui si osservano notevoli discontinuità di presenza o frequenza di unità morfologiche osservabili da immagini: si veda lo **step 4**), ma costituisce una fase di ulteriore caratterizzazione morfologica. Tale caratterizzazione permette di stabilire un importante legame tra le caratteristiche morfologiche complessive che definiscono il tratto e la varietà di habitat fisici che lo caratterizzano. Di norma, la caratterizzazione delle unità morfologiche viene condotta su alcuni tratti rappresentativi della varietà di morfologie presenti nel bacino di studio. Il rilevamento e la classificazione delle unità morfologiche possono essere condotti a vari livelli di dettaglio, attraverso un'integrazione di analisi da immagini telerilevate e rilievi sul terreno.

Sulla base della caratterizzazione delle unità morfologiche presenti, è possibile inoltre procedere a un'ulteriore classificazione di sotto-tipologie morfologiche contenute nei tratti precedentemente definiti.

CLASSIFICAZIONE DELLA CONFIGURAZIONE DEL FONDO

La classificazione della configurazione del fondo in unità morfologiche non è necessaria per la suddivisione in tratti, ma può intervenire nelle fasi successive di valutazione dello stato attuale e di monitoraggio. Si tratta di una caratterizzazione che riguarda principalmente i ***corsi d'acqua confinati a canale singolo***, che nella precedente fase di suddivisione in tratti sono stati trattati come un'unica categoria ma che possono presentare notevoli differenziazioni in sotto-tipologie proprio in base alla configurazione del fondo. Tale aspetto è importante anche per i corsi d'acqua semiconfinati o non confinati a canale singolo, per i quali la classificazione del fondo viene comunque applicata se il fondo risulta visibile.

Unità morfologiche di alvei alluvionali (a fondo mobile) a canale singolo

Le principali unità morfologiche di **alvei alluvionali** (a fondo mobile) e **semi-alluvionali** (con parziale presenza di affioramenti in roccia o massi non mobilizzabili) in alvei a canale singolo sono quelle riportate nelle [Figura 4.25](#) e [Figura 4.26](#).

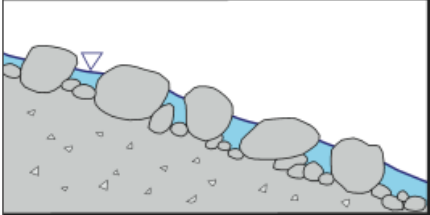
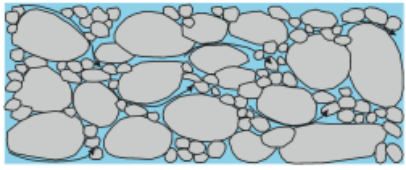
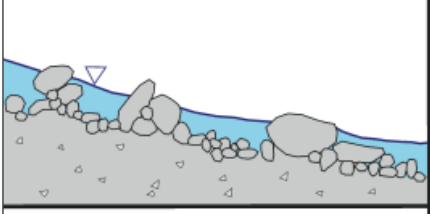
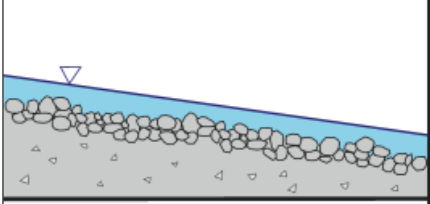
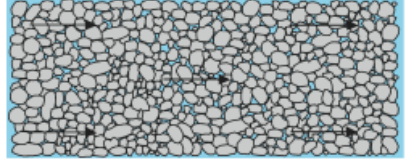
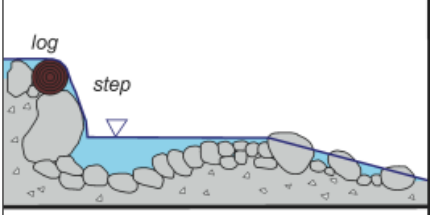
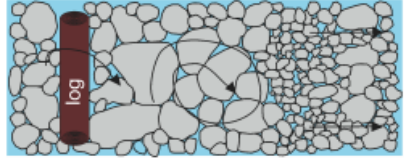
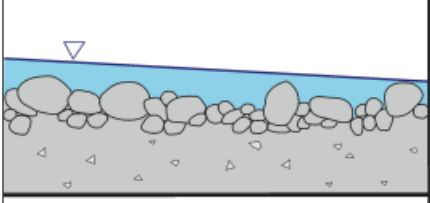
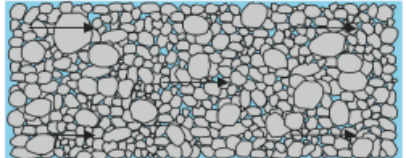
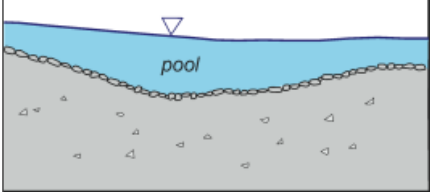
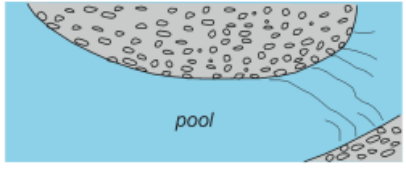
Profilo longitudinale	Planimetria	
		<i>Cascade</i>
		<i>Rapid</i>
		<i>Riffle</i>
		<i>Step</i>
		<i>Glide</i>
		<i>Pool</i>

Figura 4.25 – Principali morfologie a scala di unità in alvei alluvionali a pendenza elevata (modificato da [HALWAS & CHURCH, 2002](#)). Questa classificazione non prevede i “run”, unità di raccordo tra *step* e *pools* con caratteristiche idrodinamiche molto simili a quelle delle *glide*, ma di dimensioni minori.



Figura 4.26 – Morfologie a scala di unità in alvei alluvionali e semi-alluvionali. (1) *Cascade* (o rapida a gradini); (2, 3) *rapids* (o rapida a scivolo; alcune sotto-unità definite come *transverse ribs* sono indicate dalla freccia); (4) *riffle*; (5) serie di *steps* alternati a *pools*, con assenza di unità *run*; (6) *log step*; (7) *glide* (indicato dalla freccia, in primo piano un *riffle*); (8) *glide*; (9) *pool* a valle di rapida in roccia (*bedrock cascade*).

Morfologie a scala di tratto di alvei confinati a canale singolo

A scala di tratto, una prima suddivisione è effettuata tra le seguenti categorie: (1) alvei in roccia; (2) alvei colluviali; (3) alvei alluvionali (a fondo mobile), con presenza cioè di un letto alluvionale. In quest'ultima categoria si includono anche gli alvei semi-alluvionali come sopra definiti.

- **Alveo in roccia.** I tratti in roccia sono contraddistinti dall'assenza, in modo continuo, di un letto alluvionale (WOHL, 2000) (Figura 4.27). 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 a una forte pendenza

del canale e/o a 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 (cavitazione e abrasione) e chimici (dissoluzione delle rocce per litologie carbonatiche) (si veda, ad es., [WOHL & TINKLER, 1998](#)).

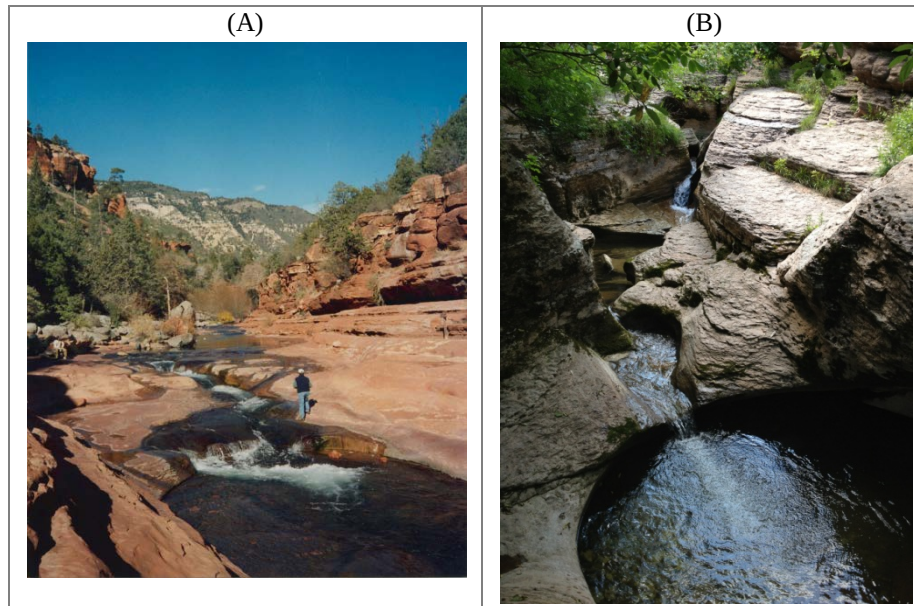


Figura 4.27 – (A) Alveo in roccia a pendenza relativamente modesta su substrato di arenaria (Arizona, USA). Nella pozza in primo piano è presente comunque del sedimento. (B) alveo in roccia a pendenza elevata su rocce calcaree nelle Prealpi Bellunesi, con frequenti pozze.

- **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 4.28](#)). Possono trovarsi in corrispondenza dei tratti di testata del reticolo idrografico, cioè delle aste di ordine gerarchicamente inferiore (primo ordine), presentano quindi dimensioni ridotte, pendenze elevate 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, 2010](#)). L'alveo si presenta solo debolmente strutturato in unità morfologiche, con un'organizzazione tanto minore quanto più frequenti sono i processi di colata.
- **Alveo alluvionale (a fondo mobile).** I tratti a fondo mobile presentano un letto con uno strato di sedimento continuo, anche se grossolano. Se vi sono molti elementi del substrato non mobilizzabili dalla corrente (massi di grandi dimensioni depositati da frane, colate detritiche o di origine glaciale) si parla più correttamente di alvei semi-alluvionali. 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 \(1997\)](#) ([Tabella 4.5](#) e [Figura 4.29](#)). 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.

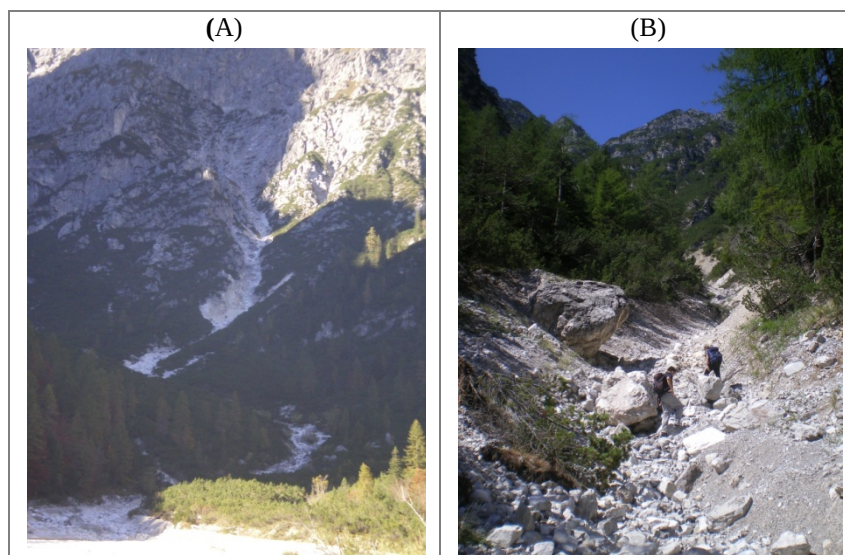


Figura 4.28 – Esempi di tratti colluviali. (A) Alveo colluviale in Val d’Oten (Dolomiti Bellunesi); (B) particolare di un tratto colluviale nelle Dolomiti di Sesto.

Tabella 4.5 – Morfologie di alvei alluvionali a scala di unità e a scala di tratto.

SCALA DI TRATTO	UNITÀ DOMINANTI	UNITÀ ACCESSORIE (POTENZIALMENTE PRESENTI)
1. Gradinata	<i>Cascades, steps, pools</i>	<i>Runs, rapids, riffles</i>
2. Letto piano	<i>Rapids, glides</i>	<i>Riffles, steps, pools</i>
3. <i>Riffle pool</i>	<i>Riffles, pools</i>	<i>Glides, rapids</i>
4. A dune	<i>Dune</i>	<i>Riffles, pools</i>

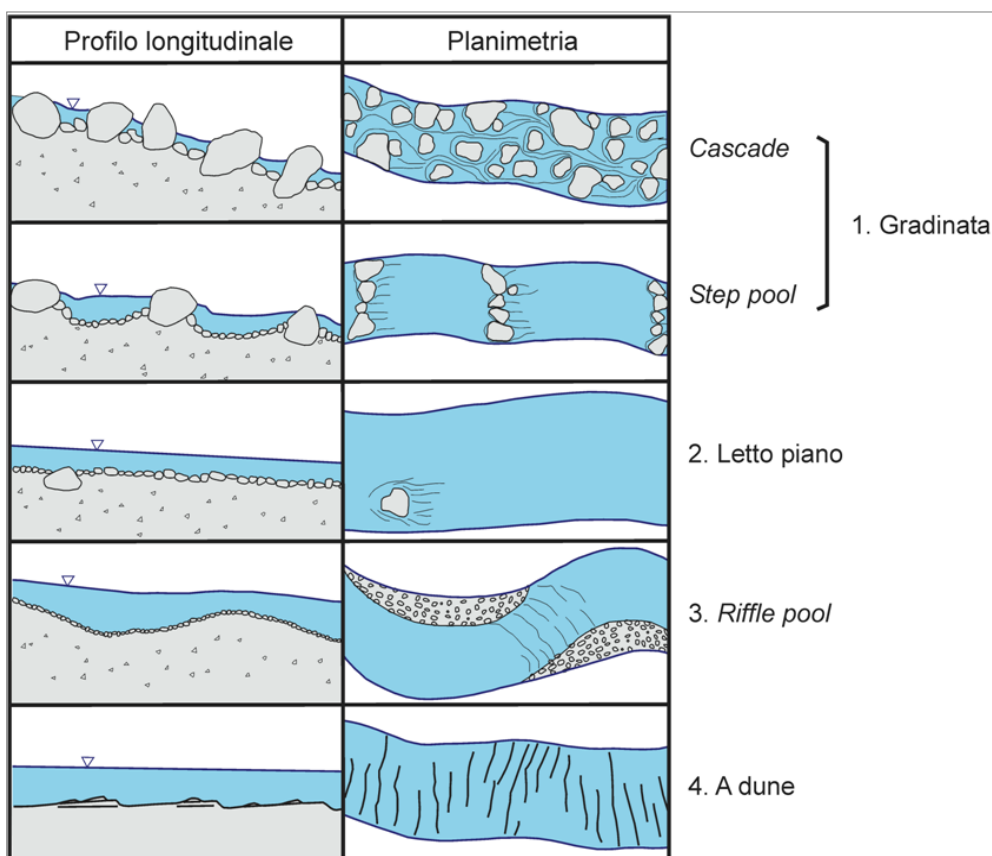


Figura 4.29 – Morfologie di alvei alluvionali a scala di tratto (modificato da [MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997](#)).

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 4.30](#)). 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* e il successivo è occupato da pozze (*pool*) e talvolta da una breve unità di raccordo dove il pelo libero tende a disporsi parallelo al fondo (*run*, praticamente una *glide* molto limitata in lunghezza). 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 $> 3-5\%$, fino al $20-30\%$. In un tratto a gradinata possono comunque essere presenti – ma in misura accessoria – unità a *rapids* ed anche a *riffles* dove localmente sono assenti clasti capaci di formare *steps* e quindi *pools*. All'aumentare della pendenza generalmente si assiste a una maggiore caoticità nella disposizione dei gradini e a una tendenza ad avere gradini e pozze parziali lungo la sezione (*cascade* sensu [MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997](#)).

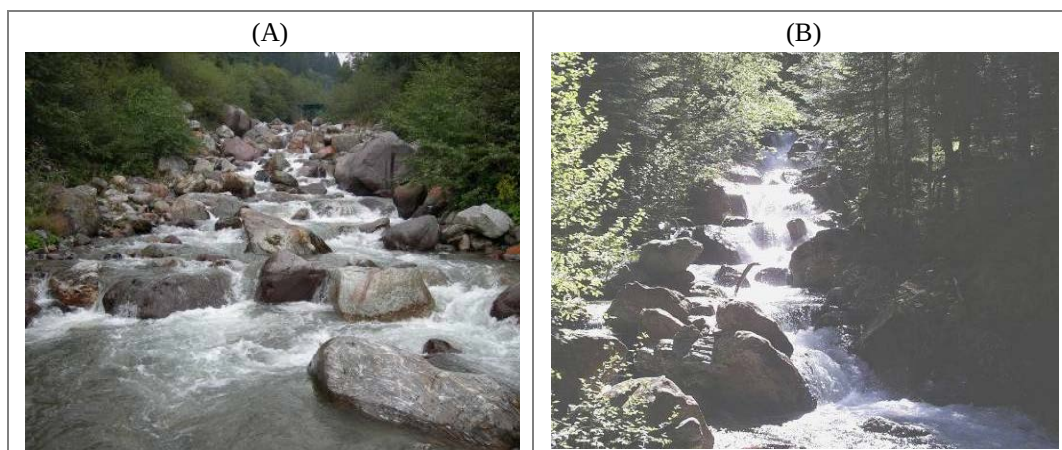


Figura 4.30 – Alvei a gradinata. (A) Alveo a gradinata riconducibile alla tipologia *cascade*, torrente Maso di Spinelle, Trento. (B) Alveo a gradinata riconducibile alla categoria *step-pool*, rivo di Caserine, Trento.

- **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 4.31](#)), dominato quindi da unità a *glide*. 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 sub-unità quali allineamenti trasversali di clasti, ovvero *transverse ribs* o *stone lines*, si veda [HASSAN et al., 2006](#)). Tuttavia, per portate medio-alte, queste unità (potrebbero far pensare a 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 a 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 occasionali *steps*, 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 4.31 – Alvei a letto piano. (A) Morfologia a letto piano dominata da unità di *glide* (fiume Isonzo, Slovenia). (B) Morfologia a letto piano con unità a “*rapids*” (torrente Perino, Piacenza). Per livelli di piena ordinaria gli allineamenti di massi (*transverse ribs*, che appaiono come piccoli *steps* in condizioni di magra) vengono completamente 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 4.32](#)). Generalmente vi sono poi unità di tipo *glide* tra pozze e *riffle* caratterizzate da una pendenza positiva ridotta e flusso quasi parallelo al fondo. In questi tratti vi possono poi essere delle unità a *rapids* (che differiscono dai *riffles* per l’aver una pendenza locale maggiore, granulometria più grossolana ed un flusso più turbolento) spesso associate a condizionamenti esterni (per es., confluenze con affluenti di ordine inferiore). 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, e 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 $< 1-2\%$ 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.

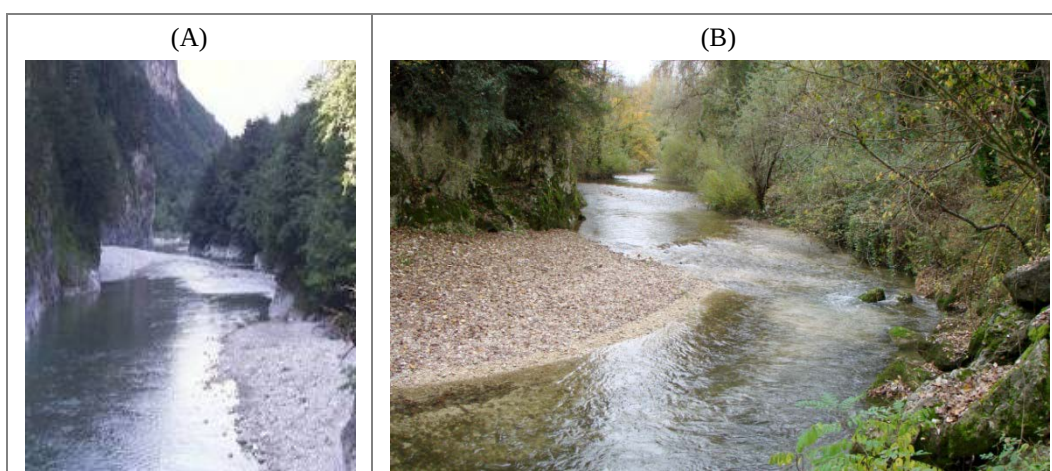


Figura 4.32 – Alvei a *riffle-pool*. (A) Alveo a *riffle-pool* (fiume Piave, Belluno) visto da monte verso valle. In primo piano si vede un *pool*, con a valle un *riffle* (pelo libero regolare, tirante maggiore). (B) Alveo a *riffle-pool* (torrente Sentino, Marche).

- **A dune.** I tratti aventi una pendenza modesta ($< 0.3\%$) e con materiale d’alveo costituito prevalentemente da sabbia possono sviluppare una morfologia a dune e increspature (*dune-ripple* secondo [MONTGOMERY & 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 4.33](#)). Tali morfologie sono poco comuni negli alvei confinati non alterati, dato che tipicamente questi si trovano in ambito collinare o montano. Tuttavia si possono presentare tratti a dune in ambito montano 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). In questi casi gli alvei si presentano spesso come non confinati o semiconfinati. Il trasporto solido nei tratti a *dune* è limitato dalla bassa capacità di trasporto derivante dalla pendenza molto ridotta.

- **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 4.34](#)). In questi casi non si riconosce la configurazione in condizioni naturali e quindi non è possibile adottare i precedenti criteri.



Figura 4.33 – Alveo non confinato a dune su substrato sabbioso (Rivo di Caserine). Sulle dune sono sovrinposte delle increspature più piccole (*ripples*). Il canale presenta una certa sinuosità, e per questo le increspature sono curvilinee.



Figura 4.34 – Alveo a fondo artificiale sistemato con briglie ad interdistanza ridotta (T. Pramper, Belluno).

CLASSIFICAZIONE COMPLESSIVA IN SOTTO-TIPOLOGIE

Come trattato nel precedente paragrafo, nel caso dei corsi d'acqua confinati a canale singolo, le sotto-tipologie si basano essenzialmente sulla configurazione del fondo. Nel caso dei **corsi d'acqua**

alluvionali semiconfinati e non confinati e dei confinati a canali multipli o transizionali, le diverse sotto-tipologie sono distinte invece sulla base delle dimensioni granulometriche prevalenti dei sedimenti dell'alveo e della presenza e pattern delle principali unità morfologiche (barre, canali e isole). Tutti questi aspetti sono strettamente legati alle condizioni energetiche e al tipo di trasporto solido (al fondo, misto, in sospensione).

In [Figura 4.35](#) si riporta uno schema complessivo di possibili sotto-tipologie che riguardano tutti i tipi di corsi d'acqua. Lo schema si basa su esistenti classificazioni ([SCHUMM, 1985](#); [CHURCH, 1992](#)), con l'inserimento di alcune delle sottotipologie degli alvei *anabranching* ([NANSON & KNIGHTON, 1996](#)) in accordo con [FULLER et al. \(2013\)](#). Tali precedenti classificazioni sono qui adattate in modo da essere coerenti con il primo livello di classificazione morfologica finalizzato alla suddivisione in tratti (*step 3*, si veda [Figura 4.21](#)).

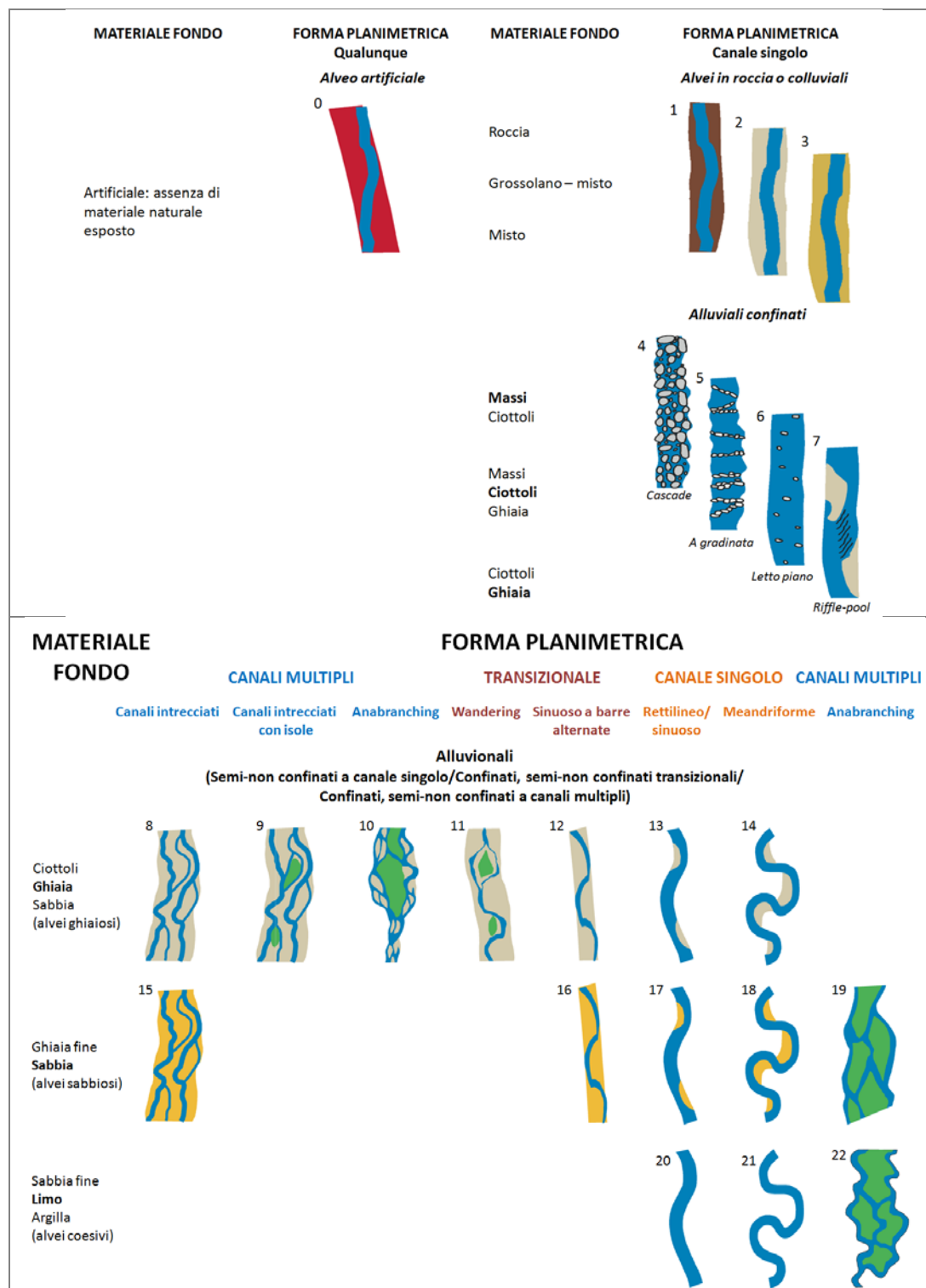


Figura 4.35 – Suddivisione in sotto-tipi morfologici. Alvei artificiali. (0) A fondo artificiale. Alvei confinati a canale singolo. (1) In roccia; (2) colluviale a sedimenti grossolani - misti; (3) colluviale a sedimenti misti; (4) *cascade*; (5) a gradinata; (6) letto piano; (7) *riffle-pool*. Alvei alluvionali semiconfinati o non confinati a canale singolo, confinati/semi-non confinati transizionali o a canali multipli. (8) a canali intrecciati ghiaioso; (9) a canali intrecciati con isole; (10) *anabranching* ghiaioso (equiv. ai tipi 3, 5 o 6 secondo [NANSON & KNIGHTON \(1996\)](#)); (11) *wandering*; (12) sinuoso a barre alternate ghiaioso; (13) Rettilineo-sinuoso ghiaioso; (14) meandriforme ghiaioso; (15) a canali intrecciati sabbioso; (16) sinuoso a barre alternate sabbioso; (17) rettilineo-sinuoso sabbioso; (18) meandriforme sabbioso; (19) *anabranching* sabbioso (equiv. ai tipi 2 o 4 secondo [NANSON & KNIGHTON \(1996\)](#)); (20) rettilineo-sinuoso limoso; (21) meandriforme limoso; (22) anastomizzato (equiv. al tipo 1 secondo [NANSON & KNIGHTON \(1996\)](#)).

5. CARATTERIZZAZIONE E ANALISI DELLE CONDIZIONI ATTUALI DEL SISTEMA FLUVIALE

In questa ultima parte della *Fase 1* vengono approfonditi i principali aspetti che conducono a una caratterizzazione del sistema fluviale nelle sue condizioni attuali. Inizialmente sono fornite alcune indicazioni sui possibili approcci per l'individuazione delle principali sorgenti e dei processi di produzione di sedimenti all'interno del bacino. Successivamente, si analizzano i processi e i fattori che concorrono all'alimentazione e al trasferimento di sedimenti all'interno della rete idrografica e che controllano la distribuzione spaziale delle morfologie fluviali individuate e classificate durante la suddivisione in tratti ([CAPITOLO 4](#)).

5.1 Sorgenti e produzione di sedimenti

Consiste nell'individuazione delle principali sorgenti di sedimento sui versanti, nella valutazione del loro grado di attività e di connessione con la rete idrografica, e nella eventuale stima dei relativi volumi di sedimento convogliati nei corsi d'acqua.

Le **sorgenti di sedimento** sono definibili come quelle zone del bacino da cui hanno origine i sedimenti che vengono successivamente convogliati alla rete idrografica. I **processi di produzione e trasporto di sedimento** sono molteplici e riconducibili alle seguenti categorie principali:

- (1) *Degradazione meteorica*, che comprende quell'insieme di processi di disaggregazione fisica e alterazione chimica che agiscono sulla roccia, una volta che questa si trova a essere esposta agli agenti atmosferici. Si tratta di processi distribuiti che agiscono in tempi relativamente lunghi.
- (2) *Erosione fluviale*, ossia l'erosione a opera della corrente fluviale con mobilitazione di singole particelle o aggregati direttamente lungo il contorno della sezione fluviale, ovvero fondo e sponde.
- (3) *Erosione glaciale*, ossia l'erosione a opera dei ghiacciai.
- (4) *Dilavamento*, ossia quei fenomeni di erosione dovuti al deflusso superficiale delle acque sui versanti (erosione areale, a rivoli, a solchi).
- (5) *Movimenti di massa*, ossia quei fenomeni franosi di varia tipologia che trasportano a valle il sedimento lungo i versanti e lungo le aste colluviali (colate detritiche).

La **quantificazione dei processi di produzione di sedimenti** è stata oggetto di numerose ricerche, le quali si sono principalmente concentrate sulla comprensione e modellazione dei processi di erosione superficiale dovuta a dilavamento (si veda, ad es., [VAN ROMPAEY et al., 2005](#); [DE VENTE et al., 2006](#)). Tali studi tendono a quantificare le frazioni granulometriche che vanno ad alimentare il trasporto solido in sospensione dei corsi d'acqua e non sono quindi direttamente associabili con le modificazioni morfologiche degli alvei fluviali. Queste ultime, infatti, sono legate principalmente alla frazione grossolana che contribuisce al trasporto solido al fondo. Altri studi hanno piuttosto mirato a stimare gli apporti di sedimenti lungo i versanti e attraverso i canali di basso ordine, dimostrando che i movimenti di massa sono processi chiave nella modulazione del flusso di sedimento in ambito montano (ad es., [HOVIUS et al., 1997](#); [MIKOŠ et al., 2006](#)).

La caratterizzazione e analisi delle sorgenti di sedimenti e della loro dinamica sui versanti e nelle aste di basso ordine può essere effettuato attraverso vari approcci e metodologie, che possono variare ed essere combinati tra loro a seconda degli obiettivi e del grado di approfondimento dello studio. I principali approcci sono qui di seguito riassunti.

1. **Analisi di cartografia tematica e inventari di frana.** Consiste nell'integrazione di cartografia geomorfologica tematica, inventari di frana e interpretazione di immagini telerilevate recenti per la mappatura delle sorgenti di sedimento (si veda, ad es., [BRARDINONI et al., 2013](#); [GALLI et al., 2008](#)).
2. **Analisi multitemporali.** Consiste nella realizzazione di inventari multitemporali delle sorgenti di sedimento tramite l'interpretazione stereoscopica di set storici di foto aeree e/o con l'ausilio di DTM ad alta risoluzione (per es., [BRARDINONI et al., 2013](#)).
3. **Modellazione dell'instabilità dei versanti.** Tale approccio prevede l'impiego accoppiato di modelli idrologici e di stabilità dei versanti (per es., [BORGIA et al., 1998](#); [LANNI et al., 2012](#)) al fine di prevedere la quantità di materiale trasferita dai versanti alla rete idrografica.

4. **Approccio semi-quantitativo per la valutazione dei potenziali di ricarica.** Si tratta di valutazioni basate sull'individuazione delle principali aree sorgenti di sedimenti, sulla valutazione del loro grado di attività e di connessione con il reticolo idrografico, e sull'assegnazione di punteggi e pesi a tali fattori, in modo da ricavare un indice di potenziale di ricarica dei sedimenti. Un approccio di questo tipo è stato applicato al bacino del fiume Drome (Francia) ([LIÉBAULT et al., 2008](#)) e del fiume Magra ([RINALDI et al., 2009](#)), ai fini dell'individuazione delle aree di potenziale ricarica di sedimenti nel reticolo idrografico.
5. **Analisi geomorfometriche di connettività.** La combinazione di diversi parametri morfometrici derivabili direttamente dal DEM in indicatori di tipo complesso è in grado di fornire utili informazioni riguardo ai processi connessi alla dinamica del sedimento. Di particolare rilevanza per i processi di erosione e trasporto sono gli indicatori che combinano pendenza e area drenata. La connettività del sedimento, definita come il grado di connessione dei flussi di sedimento all'interno di un territorio, e in particolare tra le sorgenti e le aree a valle, è un parametro chiave nello studio dei processi di trasferimento nei bacini idrografici, a partire dalle aree sorgenti di sedimento. La caratterizzazione spaziale dei pattern di connettività in un bacino consente di stimare il contributo di una determinata parte dello stesso come sorgente di sedimento e di definirne i potenziali percorsi di trasferimento verso valle. In particolare, la determinazione della connettività risulta importante nei bacini in cui la variabilità dei processi di trasporto è determinata dalla morfologia e dall'eterogeneità di tipologia, estensione e posizione delle aree sorgenti di sedimento ([CAVALLI et al., 2013](#)) ([Figura 5.1](#)). Questi autori hanno adattato al contesto montano un modello di connettività originariamente sviluppato da [BORSELLI et al. \(2008\)](#), allo scopo di rappresentare la potenziale connettività del sedimento tra le diverse parti di un bacino. L'indice consente di determinare la connettività del sedimento utilizzando principalmente l'informazione topografica fornita dal DEM e non considera l'eventuale disponibilità di sedimento a essere mobilitato all'interno del bacino.

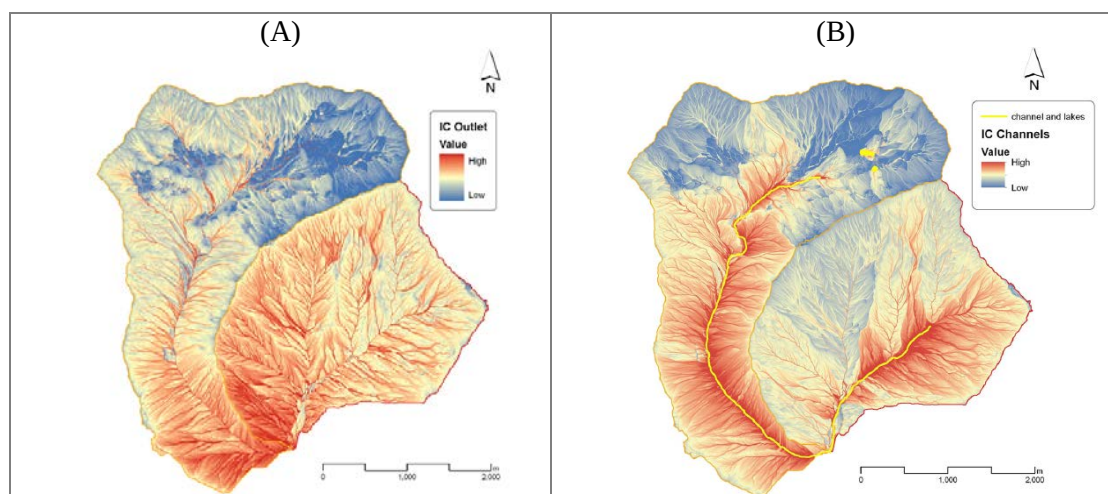


Figura 5.1 – Mappa dell'indice di connettività applicata ai bacini Strimm-Gadria (Provincia Autonoma di Bolzano) (da [CAVALLI ET AL. 2013](#)), utilizzando come *sink* la sezione di chiusura del bacino (A) e il reticolo idrografico principale (B).

5.2 Processi fluviali nella rete idrografica

In questa parte vengono considerati vari processi di alimentazione, trasferimento e deposizione di sedimenti all'interno della rete idrografica. Si possono distinguere i seguenti aspetti: (1) ricarica di sedimenti e connettività nella rete idrografica; (2) distribuzione spaziale delle morfologie fluviali e fattori di controllo; (3) distribuzione spaziale della potenza della corrente; (4) capacità di trasporto e bilanci di sedimenti.

Tali analisi sono utili per vari aspetti di *IDRAIM*, quali: (1) consentire una migliore comprensione e, in alcuni casi, una quantificazione dei fattori che controllano la distribuzione spaziale delle morfologie e dei processi dominanti all'interno della rete idrografica; (2) permettere di avere una base di conoscenze che possono supportare le successive analisi delle condizioni di qualità e di pericolosità legate alla dinamica morfologica.

5.2.1 Ricarica di sedimenti

Questa parte consiste nell'individuazione dei tratti semiconfinati e non confinati della rete idrografica con più o meno forte propensione alla mobilità laterale (quindi all'erosione delle sponde). Tali processi hanno infatti la capacità di immettere ingenti volumi di sedimenti nel sistema. Inoltre, è necessario valutare la connettività di sedimenti all'interno della rete idrografica in base alla presenza o meno di elementi naturali (ad es., soglie rocciose) e soprattutto artificiali (ad es., dighe, briglie) che ostacolano o intercettano il trasporto solido al fondo. Questo può essere effettuato tramite metodi geomorfometrici come sopra descritti.

Tali aspetti possono essere valutati attraverso l'uso integrato di foto aeree e rilievi sul terreno, questi ultimi condotti selezionando tratti rappresentativi del reticolo idrografico in funzione di vari aspetti (topografia, litologia delle rocce affioranti, copertura vegetale, ecc.). L'impiego di GIS permette di effettuare con maggiore facilità alcune analisi e di visualizzare la classificazione in diversi tratti.

Attraverso questo tipo di analisi, è possibile ricavare una classificazione dei tratti in funzione del diverso grado di produzione di sedimenti nella rete idrografica (da erosione laterale) e del diverso grado di connettività longitudinale con le zone sorgenti e tra i vari settori (segmenti) del sistema fluviale.

5.2.2 Distribuzione spaziale delle morfologie fluviali e fattori di controllo

Una sintesi dei risultati della suddivisione spaziale del reticolo idrografico ([CAPITOLO 4](#)) consiste nel visualizzare (attraverso mappe realizzate in ambiente GIS) le morfologie dei corsi d'acqua del bacino in relazione ad alcuni fattori che possono controllarne la distribuzione spaziale. Tali fattori possono comprendere la distribuzione delle unità fisiografiche, la larghezza della pianura e dell'alveo (quindi l'indice di confinamento) e la pendenza del fondo ([Figura 5.2](#)). A tal fine, la pendenza del fondo può essere sostituita in prima approssimazione dalla pendenza media della valle, misurata in maniera speditiva da carte topografiche.

Tale analisi può consentire di comprendere meglio quali sono i fattori che controllano lo sviluppo e la distribuzione spaziale delle morfologie fluviali all'interno del bacino. Un parametro quantitativo che risulta molto efficace per questa analisi è la potenza della corrente (paragrafo successivo).

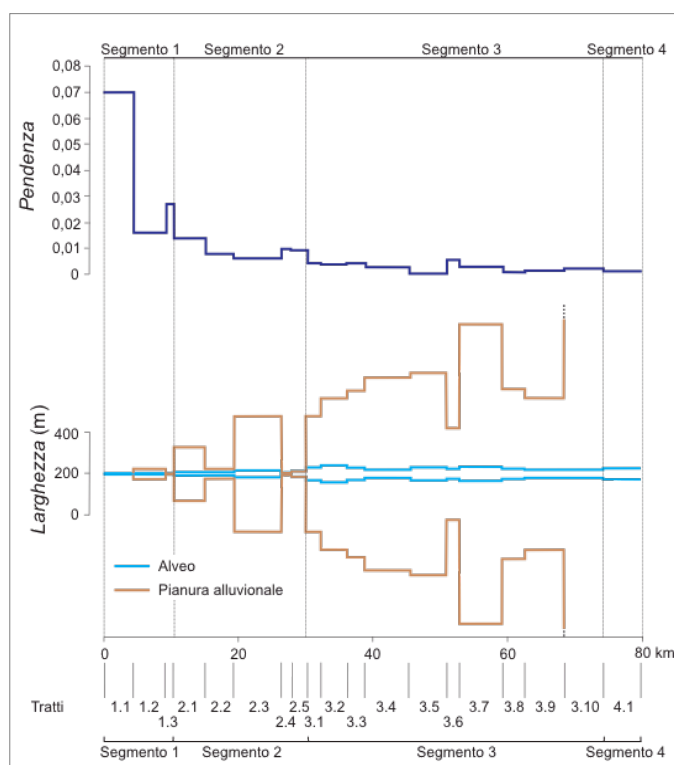


Figura 5.2 – Distribuzione spaziale della pendenza e della larghezza dell'alveo e della pianura alluvionale lungo il corso del fiume Cecina.

5.2.3 Distribuzione spaziale della potenza della corrente

La potenza della corrente viene considerato come uno dei principali fattori che controllano le morfologie fluviali e la loro distribuzione spaziale nel bacino idrografico (si veda, ad es., [BULL, 1979](#); [LAWLER, 1992](#); [NANSON & CROKE, 1992](#); [KNIGHTON, 1999](#); [FONSTAD, 2003](#)). Si tratta inoltre di un parametro frequentemente utilizzato per classificare i tratti in erosione o sedimentazione e per effettuare bilanci di sedimenti ([WALLERSTEIN et al., 2006](#); [SEAR ET AL., 2010](#)).

Definizioni

Per **potenza della corrente** (*stream power* o *gross stream power*: [LEOPOLD et al., 1964](#); [BAGNOLD, 1966](#); [BULL, 1988](#)) si intende la potenza dissipata per unità di lunghezza del corso d'acqua ed è definita come:

$$\Omega = \gamma QS$$

dove γ è il peso di volume dell'acqua, Q la portata, S la pendenza.

La **potenza unitaria della corrente** (*unit stream power*) è definita come il rapporto tra potenza e larghezza del corso d'acqua e rappresenta quindi la potenza esercitata su un segmento di lunghezza unitaria della sezione trasversale ([BAGNOLD, 1966](#); [BAKER & COSTA, 1987](#); [RHOADS, 1987](#); [BULL, 1988](#)):

$$\omega = \frac{\Omega}{L} = \frac{\gamma QS}{L}$$

dove L è la larghezza del corso d'acqua.

Come si calcola

La potenza o la potenza unitaria della corrente si calcolano generalmente per un tratto di corso d'acqua sufficientemente lungo e che presenti caratteristiche morfologico-idrauliche (portata, pendenza e larghezza) relativamente omogenee.

In una stessa sezione del corso d'acqua, la potenza varia in funzione del livello idrometrico, in quanto variano la portata, la larghezza e, in una certa misura, la pendenza del pelo libero.

Nella pratica, soprattutto quando tale parametro viene utilizzato alla scala di bacino idrografico con la finalità di definirne la distribuzione spaziale, si effettuano alcune semplificazioni, quali:

- La potenza viene calcolata per un unico valore rappresentativo delle portate, in genere la portata formativa. In alcuni casi può tuttavia essere utile fare riferimento a più portate, soprattutto in considerazione del fatto che la portata formativa può identificarsi con un range di valori di portata. In questi casi si può fare riferimento ai due valori rappresentativi di questo range, ovvero la $Q_{1.5}$ e la Q_{10} .
- Si assume in genere un unico valore di larghezza corrispondente alle condizioni formative (larghezza dell'alveo associata alla portata ad alveo pieno).
- In genere, si ipotizzano condizioni di moto uniforme, pertanto si assume che la pendenza del pelo libero coincida con quella media del fondo.

Ai fini di una ricostruzione della distribuzione spaziale della potenza della corrente, è necessario disporre di dati sufficientemente distribuiti a scala di bacino dei vari parametri necessari per il calcolo. Va ricordato che i crescenti sviluppi tecnologici e metodologici rendono sempre più percorribile questo tipo di misure in tempi relativamente brevi. Ad esempio, la disponibilità di metodi di regionalizzazione delle portate e l'impiego di DEM e data base topografici favorisce grandemente l'impiego di procedure automatiche (per es., *CAFES – Combined Automated Flood, Elevation and Stream power*: [BARKER et al., 2009](#)). Analizzando singolarmente i parametri necessari per il calcolo della potenza, si possono fare le seguenti considerazioni.

- Portate.** Una volta stabilita la portata o le portate rappresentative (per es., $Q_{1.5}$ e Q_{10}), è necessario disporre dei valori di tali portate in un numero sufficientemente elevato di sezioni all'interno del bacino. A tal fine, possono essere utilizzate le metodologie di analisi idrologica (metodi di regionalizzazione delle portate se disponibili per il bacino studiato; modelli di trasformazione afflussi-deflussi; dati misurati di portata in più sezioni, ecc.). È sempre opportuno utilizzare le stime disponibili in un certo numero di sezioni per ricavare una regressione con le aree di

drenaggio. Le *aree di drenaggio* possono essere determinate da carte topografiche. Qualora si dispongano carte topografiche in formato vettoriale o rilievi LiDAR, è possibile determinare le aree di drenaggio attraverso procedure automatizzate in ambiente GIS che prevedono la creazione di DEM e l'utilizzo di appositi toolbox, tra i quali quelli contenuti in nel toolbox *Hydrology* di ArcGis o l'estensione *ArcSWAT (Soil and Water Assessment Tool)* per ArcGIS e ArcView.

- b) *Pendenze*. Le pendenze medie del fondo possono essere valutate in prima approssimazione da *carte topografiche* (si richiama il fatto che è opportuno valutare le pendenze già nella *Fase 1*). Nel caso fossero disponibili *DEM* a elevata risoluzione, è possibile utilizzarli per la stima della pendenza. Infine, nel caso in cui fossero disponibili, possono essere utilizzati i profili del pelo libero corrispondenti alle portate formative ottenuti da *modellazioni idrauliche*. La scelta della distanza sulla quale calcolare la pendenza è piuttosto delicata, in quanto l'utilizzo di distanze troppo elevate potrebbe mascherare la reale forma del canale e nascondere importanti variazioni, mentre l'utilizzo di distanze troppo brevi potrebbe comportare un dettaglio eccessivo per la scala spaziale considerata ([FERENCEVIC & ASHMORE, 2012](#)). Il calcolo della pendenza a diversi intervalli spaziali rappresenta un utile test per l'identificazione della spaziatura opportuna. È consigliabile utilizzare per tale test un valore minimo di spaziatura dello stesso ordine di grandezza della larghezza dell'alveo.
- c) *Larghezze*. In alcuni casi, la stima delle larghezze potrebbe risultare più problematica rispetto alle pendenze. Mentre per corsi d'acqua di dimensioni sufficientemente grandi una stima di prima approssimazione, sufficiente per questo tipo di analisi, può essere effettuata da immagini telerilevate (alvei con larghezza > 30 m, o anche inferiore nel caso di immagini a elevata risoluzione), il problema si pone soprattutto per corsi d'acqua confinati di piccole dimensioni. In questi casi, la presenza di vegetazione lungo le sponde e le dimensioni limitate rendono difficilmente realizzabile la misura da immagini, e pertanto si può prevedere l'utilizzo di carte topografiche a basso denominatore di scala (1:5.000 o 1:10.000) abbinato ad alcune misure sul terreno in punti rappresentativi.
- d) *Aggregazione dei dati*. Ai fini di una ricostruzione della distribuzione spaziale della potenza, è opportuno fare riferimento a unità spaziali elementari di dimensione (lunghezza) inferiore a quella dei tratti ricavati durante la fase di suddivisione iniziale.

I tre parametri utilizzati (portata, pendenza, larghezza) vengono calcolati su unità spaziali anche molto differenti. Le portate sono in genere disponibili per tratti relativamente lunghi, e comunque dipendono dalle immissioni degli affluenti più importanti. Le pendenze e le larghezze invece presentano una scansione spaziale in genere molto simile. Si può pertanto procedere incrociando le distribuzioni spaziali dei tre parametri, ricavate indipendentemente tra loro.

Come si utilizza

Si possono considerare vari modi per utilizzare e visualizzare la potenza della corrente.

- 1) ***Distribuzione spaziale della potenza in relazione alle morfologie fluviali.*** Questo tipo di analisi permette di visualizzare con immediatezza le zone del bacino con diverse condizioni energetiche e l'esistenza di eventuali discontinuità. Tali aspetti possono essere messi in relazione con eventuali variazioni della configurazione morfologica dei corsi d'acqua o di altre caratteristiche rilevanti. Trattandosi di un'analisi da condurre alla scala del bacino idrografico (per il corso d'acqua principale ed eventualmente per i principali affluenti), è possibile utilizzare in prima approssimazione la pendenza della valle, ricavata in maniera speditiva da carte topografiche.
- 2) ***Potenza della corrente ed erodibilità del fondo.*** La distribuzione spaziale della potenza della corrente può essere incrociata con informazioni relative alle caratteristiche del fondo per individuare le zone del bacino con maggiore propensione a fenomeni di dinamica verticale. Una prima classificazione del fondo può essere effettuata distinguendo le due principali tipologie: (1) roccia; (2) sedimenti alluvionali. Nei tratti in roccia, indipendentemente dai valori di potenza della corrente, la capacità erosiva della corrente è in genere molto bassa. Per i tratti costituiti da sedimenti alluvionali, un approccio possibile può essere quello di stimare il valore che assume la potenza in condizioni critiche di inizio del moto dei sedimenti e confrontarlo con la potenza effettivamente disponibile nel tratto ([BULL, 1988](#)). Ciò presuppone di disporre di dati granulometrici e di effettuare ulteriori calcoli per determinare la portata di inizio del moto. La

differenza nell'eccesso medio annuo di potenza unitaria tra due tratti consecutivi fornisce il bilancio del tratto (potenziale erosione o sedimentazione) (REAS – River Energy Auditing Scheme, [WALLERSTEIN et al., 2006](#)).

- 3) **Potenza della corrente e instabilità laterale.** In maniera analoga all'erodibilità del fondo, è possibile abbinare alla distribuzione della potenza quella del confinamento laterale. Questo permette di visualizzare immediatamente i tratti o segmenti del sistema fluviale dove ci possiamo aspettare una maggiore tendenza all'instabilità laterale. È noto infatti che la distribuzione dei processi di instabilità laterale a scala di bacino è guidata in primo luogo dall'interazione tra potenza della corrente e resistenza del materiale che costituisce le sponde.

CASO DI STUDIO: distribuzione spaziale della potenza della corrente lungo il fiume Magra

Si riporta di seguito un'applicazione della distribuzione della potenza della corrente lungo il fiume Magra. I dati topografici di base sono rappresentati dalle carte topografiche in formato vettoriale (CTR 1:10.000 per la parte di bacino idrografico afferente alla Regione Toscana e CTR 1:5.000 per la parte afferente alla Regione Liguria). A partire dalle carte topografiche vettoriali è stato creato un DEM attraverso il toolbox 3D Analyst di ArcGis 9.3. Il DEM così ottenuto rappresenta il punto di partenza per la delimitazione dei sottobacini idrografici ottenuti attraverso l'utilizzo dei toolbox di *Hydrology* in ArcGIS 9.3 (funzioni *Fill*, *Flow Direction Tool*, *Flow Accumulation Tool*, *Watershed*). Le sezioni di chiusura per il calcolo delle aree di drenaggio sono rappresentate dai limiti dei tratti definiti nella fase di suddivisione iniziale.

Le aree dei sottobacini definite secondo la procedura sopra descritta sono state utilizzate per la stima della portata formativa $Q_{1.5}$, ottenuta come segue:

$$Q_{1.5} = \alpha A^\beta$$

dove A è l'area del sottobacino sotteso, α e β sono i coefficienti forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra (Cassinelli, com. pers.) e utilizzati nell'ambito di un modello di valutazione delle piene.

A un *primo livello di dettaglio*, ai fini di ottenere la distribuzione spaziale della potenza della corrente lungo l'intero tracciato del fiume Magra, sono state utilizzate per il calcolo della *pendenza* media di ciascun tratto le quote ricavate da carte topografiche alla chiusura di ciascun tratto. Ai fini del calcolo della potenza unitaria, la *larghezza* media di ciascun tratto è stata misurata utilizzando le immagini satellitari di Google Earth (datate 05/10/2011) mediando i valori delle larghezze misurate ogni 150 m. I risultati delle analisi sopra descritti sono riportati in [Figura 5.3](#)

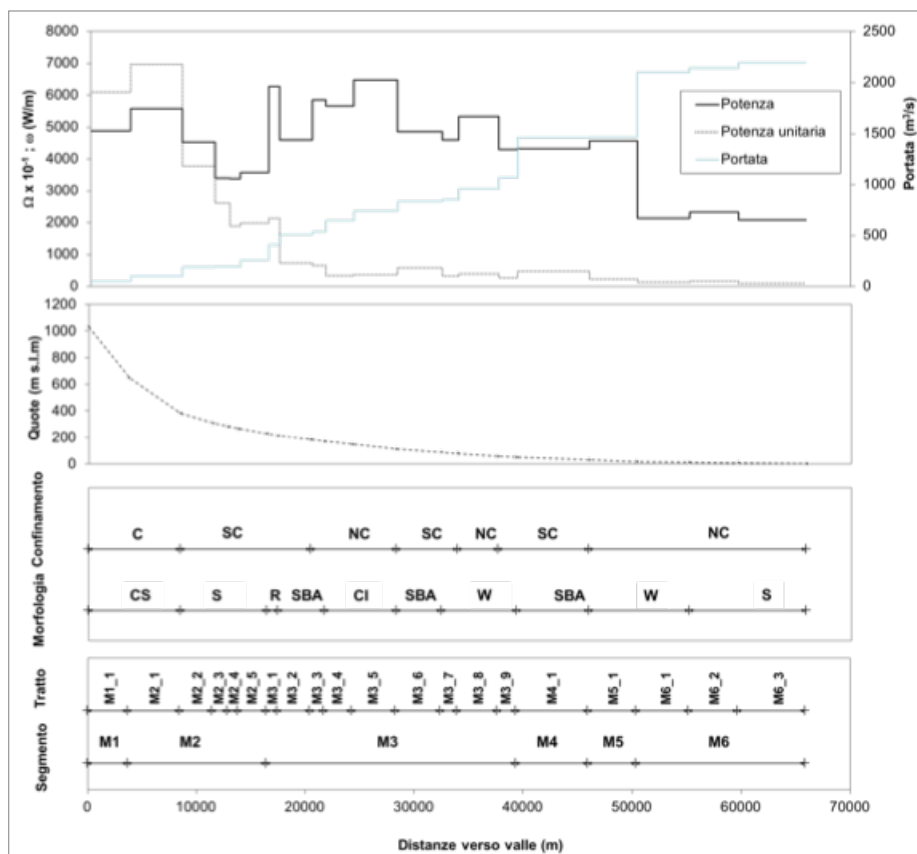


Figura 5.3 – Andamenti della potenza e della potenza unitaria della corrente lungo il Fiume Magra confrontati con la distribuzione spaziale della pendenza, della classe di confinamento (C: confinato; SC: semiconfinato; NC: non confinato) e della morfologia dell'alveo (CS: canale singolo; R: rettilineo; S: sinuoso; SBA: sinuoso a barre alternate; W: wandering; CI: canali intrecciati).

A un *secondo livello di dettaglio*, il calcolo della potenza della corrente è stato effettuato a partire da misure basate su un rilievo LiDAR (2008) con risoluzione di 1 m, disponibile per il tratto del fiume Magra compreso tra Pontremoli e Aulla.

La risoluzione del DEM, ottenuto aggregando le celle della griglia del LiDAR, è di 10 m, valore quest'ultimo adatto a una modellazione di maggior dettaglio della potenza della corrente. L'utilizzo dei dati LiDAR ha consentito di ottenere una stima della pendenza del pelo libero. Infatti, poiché la metodologia LiDAR non consente il rilievo della parte sommersa, le quote minime rilevate corrispondono alle quote del pelo libero. L'utilizzo dei toolbox di *Hydrology* in ArcGIS 9.3, applicati al DEM originato dal rilievo LiDAR, ha poi consentito di definire automaticamente il profilo del pelo libero.

L'intervallo spaziale per il calcolo della potenza della corrente è stato definito a seguito di test effettuati sulla pendenza, utilizzando 5 diversi intervalli spaziali (100 m, 200 m, 500 m, 1000 m, 2000 m). Il grafico in [Figura 5.4](#) mostra come intervalli inferiori ai 500 m producano un dettaglio eccessivo per la scala spaziale considerata, presentando molte discontinuità di natura locale. Inoltre, considerando la risoluzione spaziale dei restanti dati necessari alla stima della potenza della corrente, è stato selezionato un passo di 1000 m.

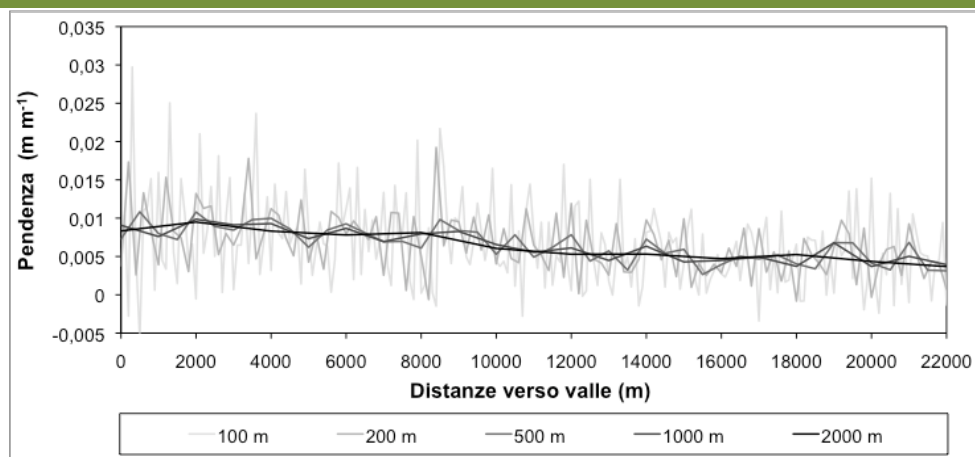


Figura 5.4 – Andamento della pendenza del pelo libero al variare dei 5 intervalli spaziali selezionati.

I valori della *pendenza* del pelo libero calcolati ogni 1000 m sono stati successivamente proiettati lungo l'asse dell'alveo (*centerline*), quest'ultimo ricavato in ArcGIS 9.3 attraverso la procedura proposta da [ALBER & PIÉGAY \(2011\)](#) a partire dall'alveo delimitato su foto aeree del 2010. La *larghezza* media di ciascun intervallo, necessaria per il calcolo della potenza unitaria, è stata calcolata per ciascun intervallo attraverso il rapporto tra l'area dell'alveo e la lunghezza. Infine, la stima della *portata formativa* $Q_{1.5}$ alla chiusura di ciascun intervallo è stata effettuata secondo la procedura precedentemente descritta, che prevede l'utilizzo della relazione tra portate ed aree drenate fornita dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra ed il calcolo delle aree attraverso i toolbox di *Hydrology* in ArcGIS 9.3 applicati ad DEM ottenuto dalla curve di livello. I risultati dell'analisi sopra descritta, confrontati con i valori della potenza e della potenza unitaria ottenuti secondo la procedura applicata al primo livello di dettaglio, sono riportati in [Figura 5.5](#).

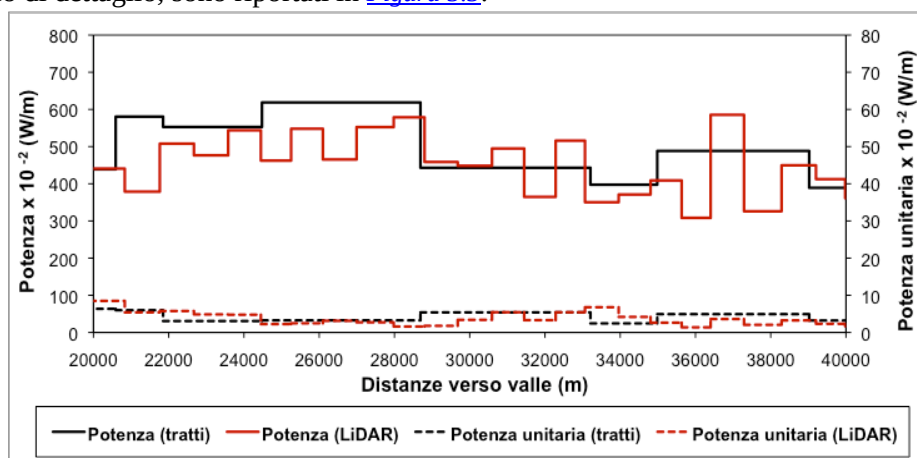


Figura 5.5 – Confronto tra potenza e potenza unitaria della corrente calcolata con i due diversi dettagli.

(4) **Classificazione delle tendenze in base a bilanci di sedimenti semplificati.** Un ulteriore sviluppo rispetto al punto 2 è rappresentato dall'impiego del modello '*ST:REAM*' – *reach based sediment balance model* ([PARKER et al., 2011B](#)). Tale metodo parte dalla definizione di una relazione tra potenza unitaria della corrente e trasporto solido al fondo (sulla base di un ampio data set di misure di trasporto solido al fondo disponibili in letteratura). Attraverso l'equazione di continuità dei sedimenti, è possibile ricavare un modello a scala di bacino della dinamica di sedimenti che si muovono al fondo, in modo da classificare il reticolo in tratti con tendenza alla sedimentazione o all'incisione.

5.2.4 Bilancio di sedimenti

Il bilancio di sedimenti in un tratto si identifica con la differenza tra la portata solida proveniente da monte e capacità di trasporto del corso d'acqua nel tratto stesso.

I bilanci di sedimenti possono essere impiegati a varie scale spaziali e con diverse finalità e gradi di dettaglio. Ad esempio, alla scala dell'intero corso d'acqua è possibile realizzare un bilancio di sedimenti nei vari tratti per definire una classificazione delle possibili tendenze (propensione alla sedimentazione o erosione) e per quantificare i volumi di sedimenti in sedimentazione o in erosione.

Esistono vari approcci per determinare un bilancio di sedimenti. La differenza principale tra i vari metodi consiste nel modo in cui viene determinato il trasporto solido (o capacità di trasporto) nel tratto in cui viene effettuato il bilancio. Sono possibili varie opzioni: (1) stime della capacità di trasporto attraverso l'impiego di equazioni idrauliche e/o misure di trasporto solido; (2) bilancio di sedimenti tramite il metodo morfologico. Nel primo caso, la metodologia che può essere impiegata per la realizzazione del bilancio di sedimenti medio annuo può considerarsi coincidente con la procedura utilizzata per il calcolo della portata formativa o dominante ([BIEDENHARN et al., 2001](#)).

Tra i vari modelli esistenti in letteratura, si ricorda il *Sediment Impact Assessment Method (SIAM)* che include procedure quantitative e fisicamente basate per valutare gli impatti dei sedimenti. Il *SIAM* realizza un confronto, per ogni tratto, tra alimentazione di sedimenti e capacità di trasporto della corrente. Il pacchetto è incorporato all'interno del modulo *Hydraulic Design* della versione 4 di *HEC-RAS* (US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center). Infatti, i parametri idraulici necessari al bilancio di sedimenti sono ricavati dall'applicazione di *HEC-RAS*, sulla base delle quali viene calcolato il tasso di trasporto solido per una data granulometria, il quale viene poi integrato con la curva di durata per ottenere una capacità di trasporto media annua del tratto. Quest'ultima viene confrontata con l'ingresso di sedimenti dal tratto a monte e da una serie di sorgenti localizzate all'interno del tratto e definite dall'utente (erosioni di sponda, erosione per fossi, ecc.). Il *SIAM* può essere utilizzato per valutare varie opzioni di gestione di sedimenti.

PROCEDURA PER IL CALCOLO DELLA PORTATA FORMATIVA E DELLA PORTATA SOLIDA MEDIA ANNUA

L'adozione della procedura descritta sinteticamente di seguito è particolarmente vantaggiosa in quanto consente di individuare la portata formativa, oltre che di ricavare la portata solida media annua all'interno di un tratto ([BIEDENHARN et al., 2001](#)). Ai fini della realizzazione di un bilancio di sedimenti, il passo successivo è quello di applicare la stessa procedura per una successione di tratti e determinare le differenze tra portata solida in ingresso e portata solida nel tratto.

I termini "portata formativa" (*channel-forming discharge*) e "portata dominante" (*dominant discharge*) sono in genere usati come sinonimi, e si identificano con quella portata che produce i maggiori effetti morfologici sulla forma e sulle dimensioni dell'alveo in un intervallo di tempo sufficientemente ampio. Esistono almeno tre approcci per calcolare la portata formativa o dominante ([BIEDENHARN et al. 2001](#); [SHIELDS et al., 2003](#); [SOAR & THORNE, 2011](#)):

- (1) portata ad alveo pieno (*bankfull discharge*);
- (2) portata con un dato tempo di ritorno (generalmente 1.5 o 2 anni);
- (3) portata "efficace" (*effective discharge*), corrispondente alla portata liquida a cui è associato il valore massimo di portata solida media annua in un intervallo pluriennale (secondo [WOLMAN & MILLER, 1960](#); [ANDREWS, 1980](#)).

Quest'ultimo approccio è quello preferibile in quanto si basa sui processi fisici che determinano la forma e le dimensioni dell'alveo. La procedura di calcolo comprende tre fasi: (1) ricostruzione della distribuzione di frequenza delle portate liquide (o curva di durata); (2) ricostruzione della scala delle portate solide; (3) determinazione dell'istogramma delle portate solide; (4) realizzazione del bilancio di sedimenti in seguito all'applicazione delle fasi precedenti a più tratti. Le varie fasi sono brevemente descritte di seguito.

(1) Definizione della curva di durata

Il primo passo della procedura è quello di ricostruire una curva di durata delle portate liquide. Si ricava un istogramma delle portate liquide, ovvero vengono raggruppati i dati di portata in classi e viene associato ad ognuna di esse il numero di giorni in cui si sono registrate tali portate. Esistono alcuni aspetti che richiedono una certa attenzione, quali il numero di classi di portata, la scala (lineare o logaritmica) nella definizione delle classi, l'intervallo di tempo su cui mediare le portate, la lunghezza del periodo di registrazioni. Esiste inoltre il problema della disponibilità o meno dei dati di

portata nei tratti di applicazione. In caso di bacini dotati di stazioni di misura, si possono definire regressioni tra portate liquide ed aree drenate. Nel caso di bacini privi di stazioni di misura, bisognerebbe procedere attraverso l'applicazione di metodi di regionalizzazione delle portate liquide o di modelli idrologici.

(2) Ricostruzione della scala delle portate solide

L'obiettivo di questa seconda fase è quello di ricavare una scala delle portate solide (Q_s), riconducibile alla forma:

$$Q_s = f(Q)$$

L'impiego di dati misurati di trasporto solido, qualora disponibili, permetterebbe di ottenere una scala delle portate solide molto più attendibile. Tuttavia, essendo poco frequente il caso in cui si dispone di misure di trasporto solido, nella maggior parte dei casi si procede a una sua stima. È possibile stimare il solo trasporto solido al fondo o il trasporto solido totale. Ciò dipende anche dagli obiettivi specifici per i quali viene effettuato il bilancio di sedimenti. Tuttavia, in molte applicazioni pratiche (ad es., piani per la gestione dei sedimenti, valutazioni di impatto di opere) l'attenzione maggiore va rivolta al trasporto solido al fondo, essendo quello maggiormente responsabile delle modificazioni morfologiche. In ogni caso, tale approccio è perseguibile – ammettendo comunque errori anche di un ordine di grandezza – soltanto in corsi d'acqua dove il trasporto solido è limitato dalla capacità di trasporto della corrente (*transport limited conditions*, si veda [CAPITOLO 4](#)), ovvero in alvei a bassa pendenza con alimentazione illimitata. In alvei montani dove il trasporto solido è limitato dall'alimentazione disponibile e non dalle variabili idrauliche, non esiste un'unica scala delle portate solide e pertanto tale approccio condurrebbe a errori di diversi ordini di grandezza ([COMITI & MAO, 2012](#)).

A seconda dell'equazione di trasporto solido utilizzata, sono necessari vari parametri idraulici (quali velocità, tensioni tangenziali, potenza della corrente, ecc.). È quindi necessario far precedere il calcolo del trasporto solido da una modellazione idraulica del tratto in esame tale da poter definire i parametri necessari. Per tale scopo, è in genere sufficiente l'impiego di modelli 1D di moto permanente (per es., *HEC-RAS*) o, nel caso di tratti sufficientemente omogenei privi di opere significative che possono condizionare le condizioni idrauliche, si può ricorrere a condizioni di moto uniforme. Esiste un'ampia letteratura relativamente alle equazioni di trasporto solido (per quanto riguarda la letteratura italiana si veda, ad es., [ARMANINI, 1999](#); [DA DEPPO et al., 2004](#)). Sono inoltre disponibili diversi software adatti a realizzare stime di trasporto solido e bilanci di sedimenti. Tra questi, a titolo di esempio, si possono citare: (1) *HEC-RAS*, che consente di abbinare le analisi idrauliche con numerose equazioni di trasporto solido. Le ultime versioni inoltre contengono il modulo *SIAM*, specifico per effettuare bilanci di sedimenti; (2) *SAM Hydraulic Design Package for Channels* (US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center); (3) Software *BAGS* (*Bedload Assessment in Gravel-bedded Streams*) ([WILCOCK et al., 2009](#)).

(3) Istogramma delle portate solide

In questa fase vengono generate le portate solide per ogni classe di portata liquida, in base alla scala delle portate solide calcolata nel punto precedente. Le portate liquide utilizzate per generare l'istogramma delle portate solide sono le portate medie di ogni classe dell'istogramma di frequenza delle portate. La portata solida associata a ogni portata liquida viene poi moltiplicata per la durata della portata liquida. I risultati sono rappresentati sotto forma di istogramma, dove per ogni classe di portata liquida si riporta il materiale solido totale trasportato durante il periodo di analisi. L'istogramma delle portate solide mostra in genere la presenza di una classe modale. In tal caso, la portata media della classe modale viene identificata con la portata formativa (efficace). In alcuni casi l'istogramma può presentare più classi modali, pertanto le portate formative sono rappresentate da più valori o da un range di portate liquide.

Ai fini del calcolo del trasporto solido totale, si sommano i contributi relativi a tutte le classi di portata dell'istogramma. La somma corrisponderà al materiale solido trasportato complessivamente nell'intervallo di tempo considerato. Dividendo tale volume per il numero di anni, si ricava la stima della portata solida media annua.

(4) Bilancio di sedimenti

Ripetendo la procedura precedente a una successione di tratti relativamente omogenei, è possibile effettuare il bilancio di sedimenti ([Figura 5.6](#)). Partendo dall'equazione di continuità della fase solida, il bilancio medio annuo di ogni tratto si ricava sulla base della seguente equazione:

$$\Delta Q_s(i) = Q_{s\ IN(i-1)} + Q_{s\ IN(i)} - Q_{s\ OUT(i)}$$

dove $\Delta Q_s(i)$ è il bilancio di sedimenti medio annuo (m^3/a) per il tratto (i), $Q_{s\ IN(i-1)}$ è il volume medio annuo (m^3/a) di sedimenti in ingresso dal tratto a monte ($i-1$); $Q_{s\ IN(i)}$ è volume medio annuo (m^3/a) di sedimenti in ingresso da un affluente nel tratto (i); $Q_{s\ OUT(i)}$ è il volume medio annuo (m^3/a) di sedimenti in uscita dal sottotratto (i).

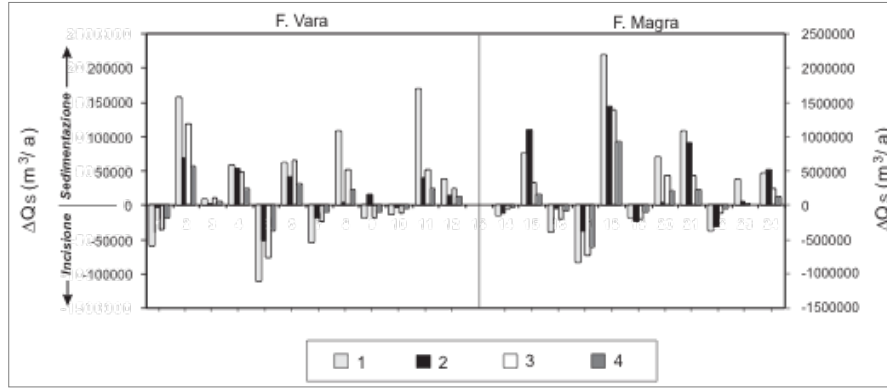


Figura 5.6 – Esempio di bilancio di sedimenti per i fiumi Vara e Magra (modificato da [RINALDI et al., 2009](#)) realizzato attraverso l'applicazione delle equazioni di trasporto solido di Shields (1), Schoklitsch (2), Parker (3) e Meyer-Peter & Müller (4).

CALCOLO DEL TRASPORTO SOLIDO E BILANCIO DI SEDIMENTI ATTRAVERSO IL METODO MORFOLOGICO

Il calcolo del trasporto solido tramite il metodo morfologico si basa su una stima volumetrica delle variazioni morfologiche dell'alveo derivanti dai processi di erosione, trasporto e sedimentazione in un dato intervallo di tempo (si veda, ad es., [MCLEAN & CHURCH, 1999](#); [HAM & CHURCH, 2000](#); [BREWER & PASSMORE, 2002](#)). Il metodo morfologico è basato sul principio di continuità della fase solida applicato al materiale del letto:

$$S_o = S_i - \partial S$$

dove S_o è il materiale del letto in uscita, S_i il materiale del letto in ingresso e ∂S esprime le variazioni di volume solido. Se queste variabili sono misurate in un certo intervallo di tempo, l'equazione precedente può esprimersi nella forma:

$$Q_o = Q_i - (1 - p) \partial S / \partial t$$

dove Q_o e Q_i rappresentano rispettivamente la portata solida in uscita e in ingresso, mentre p è la porosità dei sedimenti.

Il bilancio di sedimenti attraverso il metodo morfologico è stato applicato per una certa varietà di scale spaziali e temporali, dalla scala della singola barra e dell'evento di piena alla scala di tratti di diversi km e per intervalli temporali di vari decenni. A seconda della scala, i metodi e i dati utilizzati per stimare le variazioni morfologiche dell'alveo possono anch'essi variare notevolmente, da rilievi diretti sul terreno a una combinazione di profili longitudinali, sezioni trasversali e analisi da immagini telerilevate per caratterizzare le variazioni topografiche e planimetriche.

FASE 2: EVOLUZIONE PASSATA E VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI ATTUALI

Durante la *Fase 2*, le conoscenze acquisite precedentemente vengono inserite in un contesto temporale evolutivo, per poter ricavare una valutazione delle condizioni morfologiche attuali dei corsi d'acqua anche sulla base della conoscenza delle condizioni passate.

Si possono distinguere tre sottofasi ([Figura II](#)) trattate nei successivi tre capitoli. La prima riguarda l'evoluzione passata del sistema fluviale e delle morfologie fluviali presenti: si ricostruisce da dove provengono le tipologie fluviali che si osservano attualmente e quali possano essere i fattori che ne hanno condizionato l'evoluzione.

Le successive due sottofasi forniscono degli strumenti metodologici per valutare in parallelo, attraverso appositi indici ed altre possibili metodologie di analisi, i due aspetti che caratterizzano il sistema *IDRAIM*, ovvero la qualità morfologica e la pericolosità da dinamica morfologica. La valutazione integrata di questi due aspetti permette di evidenziare le criticità esistenti nel sistema fluviale.

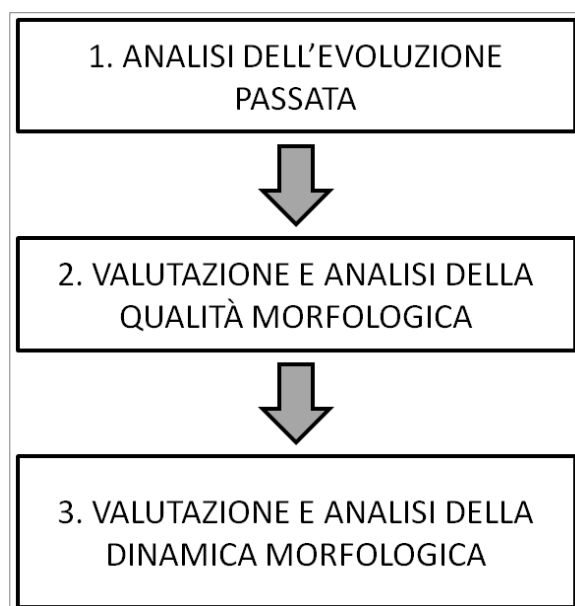


Figura II – Suddivisione della *Fase 2* in sottofasi.

6. ANALISI DELL'EVOLUZIONE PASSATA DEL SISTEMA FLUVIALE

Questo capitolo ha per oggetto la ricostruzione delle variazioni morfologiche passate e recenti degli alvei fluviali e delle relative cause.

Molte definizioni e metodologie esposte in questo capitolo si possono applicare a vari tipi di alvei fluviali, ma è importante precisare che tali analisi sono adatte soprattutto a corsi d'acqua alluvionali (a fondo mobile) di determinate dimensioni. Nei corsi d'acqua confinati le variazioni morfologiche, soprattutto quelle planimetriche, sono generalmente di scarsa entità. Inoltre, in alvei con larghezza inferiore a 2030 m l'impiego di alcune metodologie (cartografia storica e foto aeree) risulta molto limitato. Un riferimento utile per approfondimenti è rappresentato dalle “*Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*” ([SURIAN et al., 2009b](#)).

La **scala temporale** per l'analisi delle variazioni morfologiche è quella degli ultimi 100–150 anni. Per vari aspetti, è opportuno tenere distinti due diversi orizzonti temporali: (1) gli ultimi 100–150 anni (media scala temporale), nell'ambito dei quali si analizzano le *variazioni morfologiche complessive*; (2) la scala degli ultimi 10–15 anni, nell'ambito del quale si identificano le *tendenze attuali*.

Per quanto riguarda la **scala spaziale** di applicazione, essa dipende dal grado di dettaglio dello studio complessivo e dalle finalità specifiche del progetto. A un massimo grado di dettaglio, si possono definire i trend evolutivi per ogni tratto semi- e non confinato del bacino. In altri casi, è possibile effettuare l'analisi delle variazioni per macro-tratti, ovvero per un insieme di due o più tratti con simili caratteristiche, fino a un limite massimo rappresentato dal segmento. Un criterio può essere quello di accorpare più tratti appartenenti a una stessa tipologia morfologica. A tal fine, va tuttavia preliminarmente verificato (ad es., attraverso un'osservazione delle foto aeree del 1954–'55) che tale tipologia abbia avuto un'evoluzione relativamente omogenea (ad es., tutti i tratti abbiano subito simili passaggi di morfologia ed entità di variazioni di larghezza) e/o che non esistano elementi di forte discontinuità di trasporto solido (ad es., i tratti a monte e a valle di una diga, seppure appartengano alla stessa tipologia, non possono essere trattati insieme).

6.1 Misura dei principali parametri morfologici e delle relative variazioni

I parametri che possono essere utilizzati per l'analisi delle variazioni morfologiche di un alveo fluviale sono numerosi. Di seguito vengono trattati i principali parametri, ossia quelli che determinano la classificazione della morfologia del corso d'acqua (indici di sinuosità, di intrecciamento e di *anabranching*), la larghezza e la quota del fondo. Tale scelta si basa su specifiche esperienze di ricerca nello studio delle tendenze evolutive di alvei fluviali a scala nazionale nelle quali è stato fatto largamente uso di questi parametri (si veda a tal proposito [SURIAN et al., 2009b](#)). Ciò naturalmente non esclude che altri parametri (ad es., tra quelli riportati nel [CAPITOLO 9](#)) possano risultare significativi in determinate situazioni o per certi scopi specifici.

Le *fonti di dati* per le analisi delle variazioni dei parametri morfologici sono rappresentate da: cartografia, foto aeree, immagini da satellite, rilievi topografici. Avendo a disposizione per un determinato anno sia la cartografia che le immagini telerilevate, queste ultime sono da preferirsi in quanto permettono un'interpretazione diretta della morfologia dell'alveo, mentre la cartografia riporta un'interpretazione/rappresentazione dell'alveo non necessariamente funzionale agli scopi di queste analisi. Questo aspetto va tenuto in considerazione per tutti i parametri qui analizzati, anche se per alcuni, ad esempio per l'indice di intrecciamento, può essere più rilevante ed avere maggiore effetto sull'accuratezza delle misure.

6.1.1 Variazioni della configurazione morfologica

Le variazioni della configurazione morfologica di un alveo fluviale si basano, oltre che su osservazioni qualitative, su tre indici che sono utilizzati nella classificazione delle morfologie fluviali (si veda [CAPITOLO 4](#)).

INDICE DI SINUOSITÀ

Come si definisce e come si misura

Si veda [CAPITOLO 4](#).

Stima delle variazioni del parametro

L'analisi temporale dell'indice richiede di far riferimento a un'unica distanza verso valle che, generalmente, può essere quella attuale dell'alveo (in pratica dell'ultimo volo aereo disponibile). Convenzionalmente si riporta quindi il valore dell'indice in corrispondenza dell'estremità di valle del tratto considerato.

INDICE DI INTRECCIAMENTO

Come si definisce e come si misura

Si veda [CAPITOLO 4](#).

Stima delle variazioni del parametro

Essendo l'indice d'intrecciamento dipendente dallo stato idrometrico del corso d'acqua devono essere utilizzati, per quanto possibile, documenti che rappresentano stati idrometrici simili. Si consiglia di escludere condizioni con portate molto basse o con portate elevate (prossime al *bankfull*). In entrambi i casi l'indice assume infatti valori molto bassi.

La stima delle variazioni è comunque soggetta a un discreto grado di approssimazione, sia per il fatto che le misure si possono riferire a stati idrometrici differenti, sia perché le misure effettuate da cartografia si basano su una rappresentazione morfologica non necessariamente funzionale alla valutazione di tale parametro ([SURIAN, 2006](#)).

INDICE DI ANABRANCHING

Come si definisce e come si misura

Si veda [CAPITOLO 4](#).

Stima delle variazioni del parametro

L'indice si basa sulla presenza di isole le quali, essendo superfici relativamente stabili, dipendono in minima parte dal livello idrometrico del corso d'acqua. Rimane un certo grado di approssimazione nelle misure effettuate da cartografia.

6.1.2 Variazioni della larghezza dell'alveo

Come si definisce e come si misura

Si veda [CAPITOLO 4](#).

Stima delle variazioni del parametro

Per un confronto multitemporale della larghezza, l'utilizzo delle fonti planimetriche (cartografia, foto aeree e immagini satellitari) è da preferirsi in quanto consente, ad esempio tracciando le sezioni, di adattare le misure sulla base della tipologia d'alveo e del dettaglio che si vuole ottenere. Ciò non è ovviamente possibile, ad esempio, utilizzando sezioni topografiche realizzate in passato.

Sia per confronto di larghezze calcolate con le sezioni che con il rapporto "area alveo/lunghezza alveo" (Aa/l), è fondamentale tracciare l'asse dell'alveo per ogni anno analizzato. Nel caso delle sezioni, infatti, queste devono sempre essere perpendicolari all'asse ed è quindi importante utilizzare assi diversi quando l'alveo modifica la sua direzione nel corso del tempo. Se la larghezza è ottenuta dal rapporto Aa/l è evidente che una variazione positiva o negativa della lunghezza deve essere tenuta in conto. Infine è importante esplicitare se il confronto del parametro viene fatto considerando, o meno, la larghezza delle isole.

Riguardo all'accuratezza delle misure e le possibili fonti di errore da cartografia storica e immagini telerilevate, si rimanda a quanto riportato in [SURIAN et al. \(2009b\)](#).

6.1.3 Variazioni della quota del fondo

Come si definisce

Per quota del fondo si può intendere la quota di massimo fondo, ossia riferita al punto più basso (“thalweg”), oppure la quota media del fondo dell’alveo.

Possibili fonti/metodi per la misura

Rilievi topografici; dalla cartografia è possibile ricavare alcune informazioni sull’altimetria dell’alveo, generalmente però insufficienti per una caratterizzazione sufficientemente accurata del fondo.

Stima delle variazioni del parametro

Per un **confronto multitemporale dei profili longitudinali** è essenziale conoscere se i dati si riferiscono al thalweg, al pelo libero o a qualche altro elemento. In assenza di questa informazione il confronto è poco affidabile. Un problema che spesso si incontra nel confronto dei profili è la variazione di lunghezza dell’alveo nel tratto esaminato: in tal caso è necessario trasformare le distanze in modo da ottenere profili con lunghezza uguale. Per fare ciò [GURNELL et al. \(2003a\)](#) suggeriscono di calcolare la sinuosità e di utilizzare i rapporti di sinuosità fra i diversi anni per aggiustare i profili. Se invece lo scopo non è l’analisi della quota del fondo, ma le variazioni temporali di pendenza, non bisogna apportare correzioni alle distanze dei profili longitudinali.

Per un **confronto multitemporale della quota del fondo** da sezioni trasversali, l’utilizzo della quota media pone minori problemi rispetto agli altri parametri ed è pertanto consigliato ([GURNELL et al., 2003a](#)). L’impiego della quota del thalweg è da evitare nel caso di corsi d’acqua con un profilo longitudinale irregolare, in particolare corsi d’acqua a canale singolo con *riffles* e *pools*. La quota del thalweg può essere considerata nel caso di alvei con un profilo longitudinale più omogeneo (ad alvei a canali intrecciati), ma una serie di test hanno comunque evidenziato differenze significative tra stime effettuate utilizzando il thalweg e la quota media del fondo ([SURIAN et al., 2009b](#)). L’utilizzo di quest’ultimo parametro, e in particolare della quota media pesata, è pertanto raccomandabile.

Come si misura (si veda anche [CAPITOLO 9](#))

I dati topografici più comunemente disponibili sono profili longitudinali e sezioni trasversali all'alveo, mentre solo da alcuni anni cominciano a essere acquisiti rilievi "in continuo" della topografia dell'alveo attraverso rilievi LiDAR.

I profili longitudinali si riferiscono generalmente alla quota di massimo fondo (thalweg) o del pelo libero della corrente, quindi, riguardo al fondo dell'alveo, forniscono un'unica informazione (ad es., solo il punto più depresso). Le sezioni topografiche forniscono invece una descrizione più completa della geometria dell'alveo. Facendo riferimento a una sezione si possono considerare diverse quote, ad esempio il thalweg, la quota media del fondo o la quota del pelo libero dell'acqua.

L'individuazione della **quota di massimo fondo** in una sezione è generalmente molto semplice, è importante però prestare attenzione in quei casi di dubbia definizione dell'alveo in cui potrebbero sussistere delle zone esterne all'alveo con quote inferiori rispetto al thalweg (ad es., zone di escavazione antropica). In questi casi è opportuno interpretare le sezioni affiancando una cartografia, o meglio ancora una foto aerea, dello stesso periodo.

La **quota media del fondo** (Q_f) si può ottenere con tre procedure: a) media delle quote dei punti che costituiscono la sezione trasversale (punti battuti in sede di rilievo topografico); b) media delle quote dei punti della sezione "raffittita" (punti creati con interpolazione lineare scelto un determinato passo di raffittimento, ad es., 1 m); c) quota media pesata: a differenza della prima procedura (a), in questo caso la media delle quote è calcolata tenendo conto delle distanze tra i singoli punti, attribuendo quindi pesi differenti a seconda della spaziatura fra i punti della sezione ([Figura 6.1](#)). In tutti i casi le quote vanno considerate a partire dalla base delle sponde, escludendo pertanto le sponde stesse. Il pregio della procedura è di essere esente da interpretazioni soggettive; d'altra parte la quota ottenuta non corrisponde necessariamente a un preciso elemento morfologico dell'alveo (rappresenta una quota intermedia tra il thalweg e la sommità delle barre). La seconda (b) e la terza (c) procedura sono raccomandabili in quanto non risentono di un'eventuale distribuzione disomogenea delle quote rilevate per costruire la sezione.

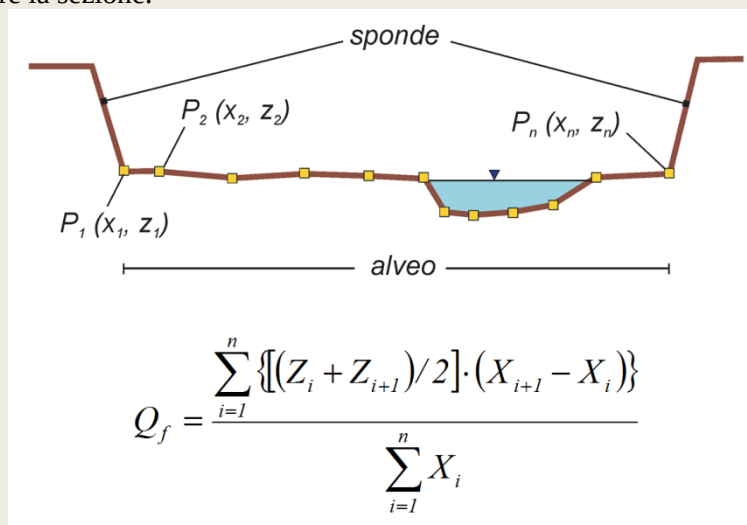


Figura 6.1 – Misura della quota media del fondo dell'alveo da sezione topografica e formula per il calcolo della quota media pesata.

Infine si sottolinea che da un profilo longitudinale della quota media del fondo è possibile stimare la **pendenza del fondo**, parametro molto rilevante della morfologia ed idraulica di un corso d'acqua.

6.2 Analisi delle variazioni sul terreno

per cui devono essere integrate con osservazioni/misure dirette sul terreno. Il rilevamento può essere svolto con l'ausilio di apposite schede, per le quali si rimanda a [RINALDI \(2008\)](#) e, nella loro versione più aggiornata, a [SURIAN et al. \(2009b\)](#).

Limitando questo paragrafo alle variazioni di quota del fondo (essendo le variazioni di larghezza e di configurazione morfologica analizzabili nella maggior parte dei casi attraverso analisi su immagini telerilevate), si richiamano di seguito gli aspetti più funzionali agli obiettivi di questo capitolo, rimandando ad altre parti del Manuale per maggiori dettagli.

6.2.1 Variazioni complessive della quota del fondo

Si tratta delle variazioni avvenute nella scala temporale degli ultimi 100–150 anni. In genere, in accordo ai vari studi condotti a scala nazionale, si tratta delle variazioni altimetriche complessive verificatesi durante una o più fasi di incisione verificatesi a partire circa dalla fine del XIX – inizi del XX secolo che hanno seguito un precedente periodo di prevalente sedimentazione o equilibrio.

Evidenze sul terreno (Si veda anche *Guida alle Risposte* e *Guida Illustrata alle Risposte IQM*).

La presenza di un *terrazzo* è evidenza di avvenuta incisione. Per conoscere esattamente la scala temporale nella quale tale incisione si è manifestata, bisognerebbe datare il terrazzo. Per gli scopi di questa metodologia, sono di interesse quelle piane inondabili che sono diventate inattive durante gli ultimi 100 – 150 anni. A tal fine possono essere utili i seguenti elementi: (a) il dislivello del terrazzo rispetto all'alveo attuale non è eccessivo (si ricorda che in fiumi italiani si sono osservati abbassamenti del fondo al massimo dell'ordine dei 10 - 12 m nell'intervallo temporale di nostro interesse) e tale superficie è ben preservata; (b) dalle osservazioni da foto aeree si può talora dedurre che la superficie attualmente classificata come terrazzo era all'epoca della foto una pianura inondabile se non addirittura porzione dell'alveo. L'assenza di un terrazzo è segno di mancata incisione, quindi di fondo invariato o aggradato. Un'importante evidenza nel caso di alveo aggradato o in sedimentazione consiste nel fatto che la *sommità delle barre* è ad una quota superiore rispetto alla quota della pianura inondabile. Un'ulteriore evidenza può essere quella di una marcata *contropendenza della pianura*, con quote visibilmente più elevate sull'orlo dell'alveo (argini naturali) e degradanti verso il piano campagna.

Lo stato delle *pile di un ponte* (esposte, normali, sepolte) può essere indicativo delle variazioni avvenute, limitatamente al periodo compreso tra la realizzazione del ponte ed oggi. È possibile dedurre una stima dell'incisione solo nel caso in cui le pile siano esposte (nel caso siano sepolte bisognerebbe risalire allo spessore dei sedimenti sopra la base delle pile). Va considerato quanto segue:

- se sono presenti più pile, va fatto riferimento alle pile in alveo (ad esempio se c'è una pila che è rimasta sulla nuova piana inondabile a causa di restringimento, questa non va considerata);
- la misura va effettuata non in corrispondenza dello scavo dell'erosione localizzata, ma facendo riferimento al fondo medio.

Analogamente, solo nel caso di incisione è possibile ricavare informazioni indirette sul possibile abbassamento del fondo sulla base dei *dislivelli tra superfici omologhe* (cioè tra una determinata superficie nello stato attuale e la quota che aveva lo stesso tipo di superficie prima dell'incisione). Si possono presentare due principali casi:

- (1) Nel caso sia presente una nuova *pianura inondabile*, si può misurarne il dislivello con il *terrazzo* (che rappresentava la pianura inondabile pre-incisione) (si veda *Guida Illustrata alle Risposte IQM*, Figura 82). Si tratta di una stima di massima, in quanto va tenuto conto che sia il terrazzo che la piana inondabile possono essere soggetti ad una certa sedimentazione verticale (in genere superiore per la pianura inondabile) che quindi può causare un certo margine di errore della misura.
- (2) Si misura il dislivello tra la *sommità della ghiaia* affiorante su una sponda in erosione (nel caso questa sponda rappresenti la scarpata del terrazzo e nel caso la ghiaia sia effettivamente attribuibile ad una facies di sommità di barra) e la *sommità di una barra* nella stessa sezione (o nelle vicinanze della sponda) (si veda *Guida Illustrata alle Risposte IQM*, Figura 82). Per quanto riguarda la sommità della ghiaia nella scarpata e nella barra attuale, si fa riferimento ai punti in cui esse sono più alte. Affinché la misura sia attinente alla scala temporale di interesse, è necessario che i depositi di barra affioranti nella sponda siano effettivamente recenti. Questo è in parte verificabile dall'osservazione dello stato di cementazione dei sedimenti stessi (in genere dovrebbero essere poco o per nulla cementati) e, in casi favorevoli, anche da foto aeree (cioè nel caso in cui si osserva una barra in un'epoca precedente laddove ora è presente la scarpata).

Entrambi i tipi di determinazioni devono quindi possibilmente avvalersi 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 il dislivello tra sommità delle ghiaie lungo una scarpata che interessa tale superficie e la sommità delle ghiaie delle barre attuali, è possibile ricavare una stima dell'abbassamento del letto rispetto a quel determinato anno.

Una regola generale (valida per i dislivelli “piana-terrazzo” e “sommità delle barre-sommità delle ghiaie su sponda”) è quella di fare un certo numero di misure in un determinato tratto (ad es., almeno 34 misure), dalle quali si ricava un range di dislivelli e un valore medio della variazione altimetrica. Una tecnica particolarmente efficace, ma più impegnativa, può essere quella di realizzare dei *profili topografici delle diverse superfici* (terrazzo, piana inondabile, sommità barre relitte e barre attive) lungo l'intero tratto (con l'uso di un GPS non si tratta di un'operazione eccessivamente difficoltosa). Dalla rappresentazione grafica dei profili risulta molto più efficace l'interpretazione delle possibili variazioni.

6.2.2 Tendenze attuali della quota del fondo

Si tratta delle variazioni avvenute nell'orizzonte temporale degli ultimi 10–15 anni. Le evidenze sul terreno consentono una valutazione della tendenza evolutiva (alveo in incisione, equilibrio o sedimentazione) seppure, in alcuni casi, qualitativa e con un notevole margine di incertezza. La valutazione risulta più affidabile quando è possibile effettuare misure altimetriche sul terreno (ad es., differenza tra barre e piana inondabile) e ancora più robusta se si dispone di due rilievi topografici recenti.

Evidenze sul terreno (Si veda anche Guida alle Risposte IDM e [SURIAN et al. \(2009b\)](#) per ulteriori approfondimenti)

Si distinguono tre principali categorie di dati/evidenze: a) evidenze morfologiche; b) caratteristiche dei sedimenti dell'alveo; c) presenza e caratteristiche della vegetazione viva e del legno presenti in alveo.

MORFOLOGIA

- **Rapporto altimetrico tra barre e piana inondabile.** In un alveo in incisione si può osservare qualche discontinuità tra sommità delle barre attive e piana inondabile. Viceversa, in un alveo in equilibrio dinamico si dovrebbe osservare un passaggio graduale (continuità) tra sommità delle barre e piana inondabile (in particolare sulle barre di meandro). Nel caso di un alveo in sedimentazione, una delle evidenze più importanti è rappresentata dal fatto che la sommità delle barre attive è circa allo stesso livello, o anche superiore, rispetto alla piana inondabile.- **Morfologia delle barre.** Un dislivello marcato tra le stesse e i canali può essere sintomo di incisione. Nel caso si incontrano dei corpi sedimentari con una spiccata morfologia a forma lobata, con un evidente fronte di accumulo che tende a seppellire od ostruire un canale o una barra stessa, questa può essere considerata un'evidenza di sedimentazione. L'*assenza di barre* o la *presenza di barre longitudinali predominanti* può essere associata a condizioni di incisione o sedimentazione rispettivamente (quest'ultima evidenza non è applicabile ad alvei a canali intrecciati, dove le barre longitudinali sono normalmente presenti).
- **Canali.** La presenza di uno scalino del fondo (*nickpoint* vale a dire uno scalino ripido nel profilo longitudinale, tipico soprattutto di alvei incisi in sedimenti fini, o una scarpata del fondo che si può osservare in alvei ghiaiosi) può essere sintomo di incisione. La presenza di canali di avulsione o canali secondari nella pianura inondabile sono invece associabili normalmente a situazioni in sedimentazione.
- **Sponde.** Il caso di entrambe le sponde con scalzamento al piede può essere associato a condizioni di incisione; entrambe le sponde stabili o con processi opposti (una in arretramento e l'altra in avanzamento) possono essere indicative di situazioni altimetricamente stabili; il caso di entrambe le sponde con accumulo di sedimenti al piede può essere associato a condizioni di sedimentazione. Tali evidenze sono più tipiche di alvei a canale singolo e con sponde coesive,

mentre sono meno adatte al caso di alvei transizionali o a canali intrecciati.

- *Frequenza di inondazione della piana inondabile*. I casi in cui non ci sono evidenze che la piana sia frequentemente inondata può essere sintomo di una fase di incisione che ne sta progressivamente riducendo la connettività idraulica con l'alveo; viceversa, quando esistono molte evidenze di frequenti inondazioni (soprattutto detriti vegetazionali che marcano il livello raggiunto da recenti piene), esse possono essere indicative di una situazione in sedimentazione.

SEDIMENTI

Un marcato e diffuso *corazzamento* è normalmente associato a condizioni di incisione; un corazzamento molto lieve o del tutto assente è associabile a condizioni di equilibrio o sedimentazione. L'*embriciamento* e la *variabilità tessiturale* sono altre caratteristiche tessiturali dei sedimenti del letto che si possono mettere in relazione in una certa misura alle condizioni energetiche della corrente (eccesso o difetto di capacità di trasporto). La presenza diffusa di embriciamento e di una scarsa variabilità tessiturale possono essere sintomo di condizioni di eccesso della capacità di trasporto (quindi tendenza all'incisione), viceversa nel caso di assenza di tali caratteristiche.

VEGETAZIONE E MATERIALE LEGNOSO

Le *radici* di alberi sulle sponde possono fornire alcune indicazioni come segue (si tratta di evidenze che si applicano meglio ad alvei a canale singolo): *radici esposte diffusamente* nel tratto, possono denotare incisione; *radici sepolte diffusamente* nel tratto, possono al contrario denotare sedimentazione. Si noti che la presenza di radici esposte o sepolte su una sola delle sponde può essere semplicemente associata a processi di erosione o sedimentazione laterale, eventualmente in un alveo in equilibrio dinamico, quindi non sono indicative di incisione o sedimentazione.

La presenza e posizione di *vegetazione arborea* sulla sponda può fornire le seguenti indicazioni: alberi regolarmente presenti solo sulla parte sommitale della sponda e assenti sulla parte inferiore possono denotare un recente abbassamento del fondo che ha portato ad emergere la parte inferiore della sponda; sponde entrambe ricoperte da vegetazione arborea piuttosto uniforme, denotano in genere condizioni di stabilità delle stesse e di equilibrio del fondo. *Materiale legnoso* assente o scarso può essere associato ad incisione; viceversa materiale legnoso abbondante e disposto caoticamente può essere associato a condizioni di sedimentazione, mentre nessuna prevalenza può suggerire condizioni di equilibrio.

6.3 Rappresentazione e classificazione delle variazioni morfologiche e delle tendenze evolutive

6.3.1 Rappresentazione delle variazioni morfologiche

Le variazioni morfologiche dell'alveo, ossia le variazioni temporali dei parametri morfologici descritti in precedenza, possono essere elaborate e rappresentate con diverse modalità. Le due modalità principali sono le seguenti: (1) variazioni in una sezione o tratto; (2) variazioni longitudinali.

(1) Variazioni in una sezione o tratto

Si riportano le variazioni di un parametro in funzione del tempo in una singola sezione o in un singolo tratto del corso d'acqua. Questo tipo di rappresentazione è utile per distinguere le varie fasi di evoluzione e per ricavare i tassi di variazione.

Si possono rappresentare le variazioni di un singolo parametro (larghezza, quota del fondo, indice di intrecciamento, ecc.) ([Figura 6.2](#)) oppure di più parametri nello stesso diagramma ([Figura 6.3](#)). Quest'ultimo tipo di rappresentazione è più efficace nell'evidenziare i rapporti reciproci tra diversi parametri (ad es., tra variazioni di larghezza e di quota del fondo). Le variazioni dei diversi parametri contribuiscono a definire la *traiettoria di evoluzione* complessiva del corso d'acqua.

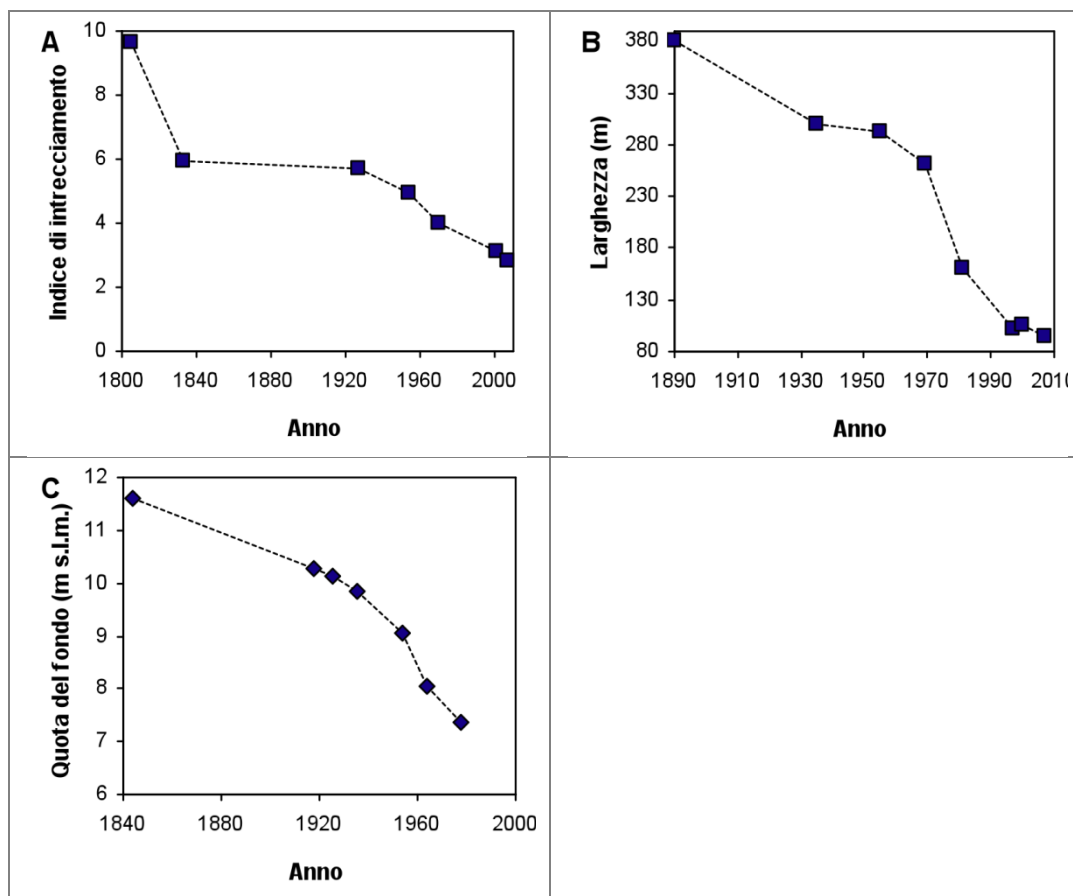


Figura 6.2 – Variazioni in una sezione o tratto. A: Variazioni dell'indice di intrecciamento in un tratto del Fiume Tagliamento nel corso degli ultimi 200 anni; B: Variazioni di larghezza in un tratto del Fiume Panaro (modificato da [RINALDI et al., 2008a](#)). C.: Variazioni di quota del fondo in una sezione del Fiume Arno (modificato da [RINALDI & SIMON, 1998](#)).

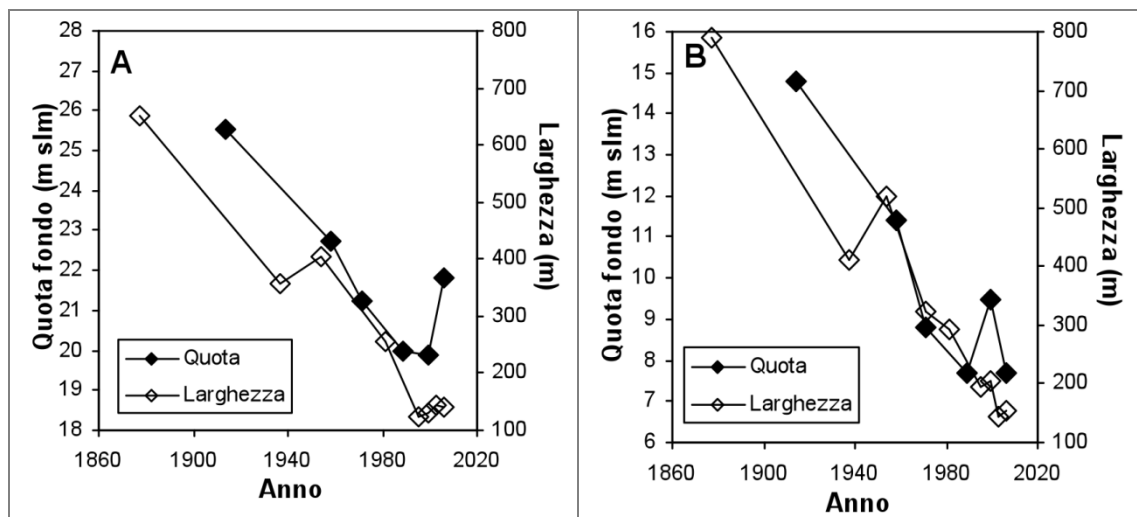


Figura 6.3 – Variazioni di quota del fondo e larghezza in due tratti del Fiume Magra (modificato da [RINALDI et al., 2008a](#)).

(2) Variazioni longitudinali

Si riporta in un diagramma l'andamento spaziale del parametro (in funzione delle distanze verso valle) per gli anni disponibili ([Figura 6.4](#) e [Figura 6.5](#)). È utile per avere una rappresentazione complessiva delle variazioni spazio-temporali.

Nell'analizzare variazioni longitudinali, ossia quando si introduce la variabile spaziale, bisogna prestare attenzione al fatto che la lunghezza dell'alveo può aumentare o diminuire nel corso del tempo. In questi casi è necessario fare riferimento ad un'unica distanza verso valle, altrimenti possono

risultare delle variazioni apparenti, dovute al fatto che si stanno confrontando punti diversi lungo l'alveo. Come riferimento delle distanze si può utilizzare la situazione attuale, ossia quella dell'ultimo rilievo disponibile.

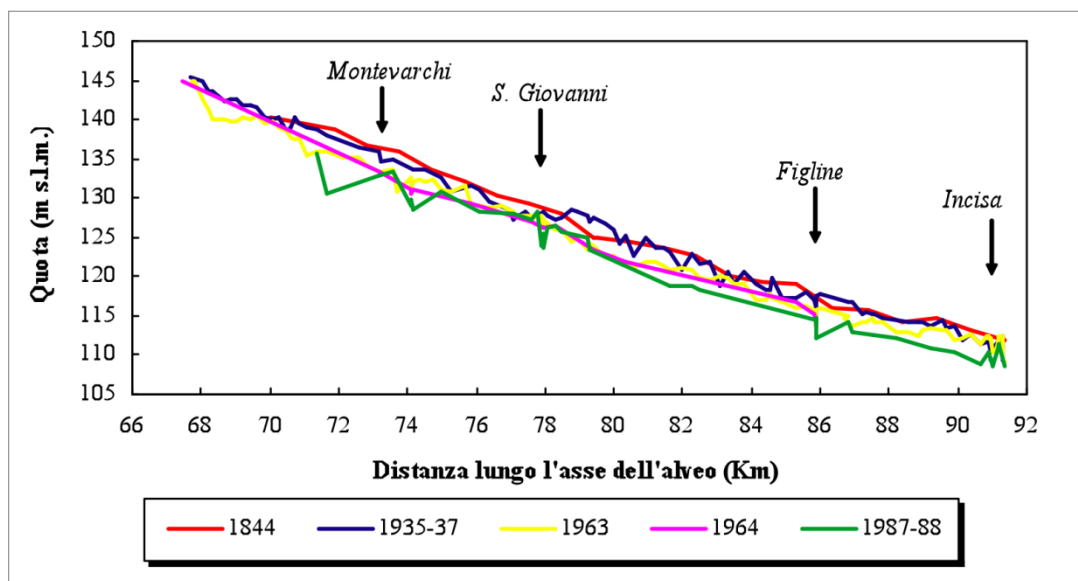


Figura 6.4 – Confronto di profili longitudinali del Fiume Arno (modificato da [AGNELLI et al., 1998](#)).

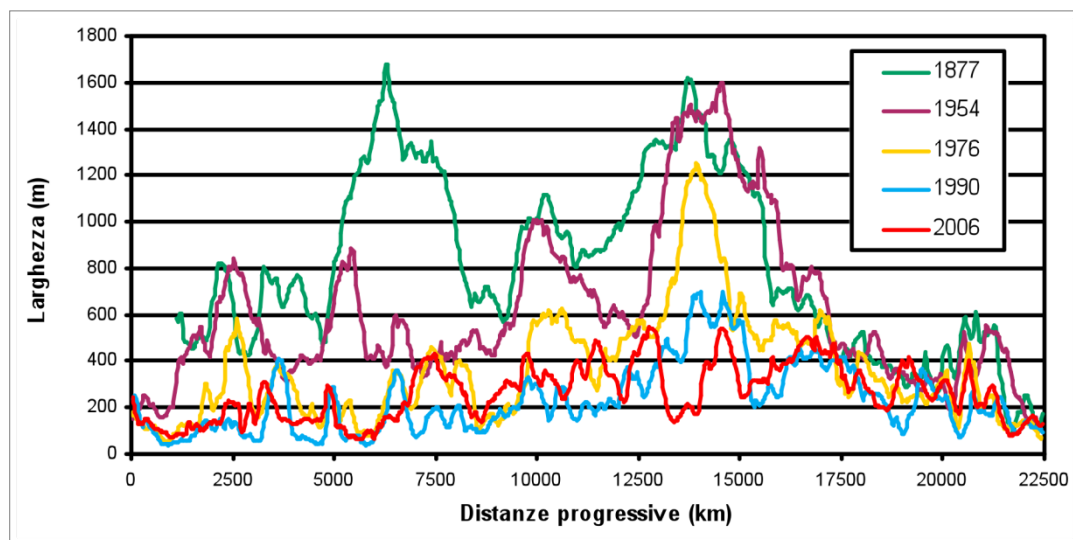


Figura 6.5 – Variazione spazio-temporale della larghezza dell'alveo del Fiume Trebbia (modificato da [PELLEGRINI et al., 2008](#)).

6.3.2 Classificazione delle variazioni morfologiche

Attraverso questa fase si procede ad una classificazione delle variazioni morfologiche e ad una mappatura dei tratti con diverso grado di variazione per visualizzarne la distribuzione spaziale all'interno del bacino idrografico.

(1) Classificazione delle variazioni morfologiche complessive

Le variazioni della *configurazione morfologica* possono essere classificate sulla base del passaggio o meno ad una morfologia diversa rispetto a quella iniziale dell'intervallo di tempo preso in esame. A tal fine, si può fare riferimento alle due situazioni più rappresentative di condizioni del passato, ovvero (1) XIX secolo (prime levate delle tavolette IGM della seconda metà XIX sec. o cartografie precedenti

se ritenute sufficientemente attendibili); (2) anni '50 del XX secolo. Per molti scopi pratici, è più conveniente fare riferimento alla situazione degli anni '50 del XX secolo, in quanto la disponibilità del volo GAI IGM a copertura nazionale permette di ricavare misure più precise rispetto alle valutazioni effettuate da cartografia storica, le quali sono soggette ad un maggior margine di errore. In genere, si distinguono le seguenti classi: (1) *Configurazione morfologica invariata*; (2) *Variazione di configurazione morfologica limitata o moderata ovvero tra tipologie contigue*; (3) *Variazione di configurazione morfologica intensa ovvero tra tipologie non contigue*. Le tipologie contigue sono configurazioni morfologiche simili (ad es., un alveo si mantiene a canale singolo ma passa da meandriforme a sinuoso), mentre le tipologie non contigue comprendono variazioni tra morfologie molto diverse tra loro (ad es., da canali multipli a canale singolo).

Analogamente per la *larghezza*, si fa riferimento a tre tipi di variazioni: (1) *alveo ristretto*; (2) *alveo invariato*; (3) *alveo allargato*. Facendo riferimento alla situazione degli anni '50, la classificazione adottata in seguito è la seguente: (1) *Alveo invariato oppure variazioni limitate*: variazioni di larghezza $\leq 15\%$ della larghezza iniziale; (2) *Restringimento o allargamento moderato*: variazioni di larghezza comprese tra il 15% e il 35% della larghezza iniziale; (3) *Restringimento o allargamento intenso*: variazioni di larghezza $>35\%$. Tali limiti scaturiscono da esperienze maturate in vari anni di indagini e appaiono adatte al contesto italiano.

Riguardo alle variazioni della *quota del fondo*, si integrano le evidenze sul terreno con le (eventuali) misure effettuate sulla base di profili e/o sezioni, ricavando una valutazione complessiva delle variazioni avvenute nell'intervallo di tempo considerato. Si distinguono tre tipi di variazione: (1) *alveo inciso*; (2) *alveo invariato*; (3) *alveo aggradato*. Ad un livello di classificazione superiore, sulla base di una stima delle variazioni di quota del fondo avvenute, si distinguono in genere le seguenti classi: (1) *Alveo invariato*: variazioni di quota del fondo trascurabili (fino a 0.5 m); (2) *Incisione o aggradazione da limitata a moderata*: variazioni della quota del fondo ≤ 3 m; (3) *Incisione o aggradazione intensa*: variazioni della quota del fondo comprese tra 3 m e 6 m; (4) *Incisione o aggradazione molto intensa*: variazioni di quota del fondo > 6 m.

(2) Classificazione delle tendenze attuali

Alla scala temporale degli ultimi 10–15 anni, i parametri che vengono generalmente considerati per classificare le tendenze attuali sono la larghezza dell'alveo e la quota del fondo.

Per quanto riguarda la *larghezza*, particolare cautela deve essere fatta in quanto ad una scala temporale così breve gli errori associati alle misure da immagini telerilevate possono essere rilevanti rispetto all'entità delle variazioni misurate. Generalmente, ai fini della classificazione dell'indicatore, si possono distinguere le tre seguenti classi di variazioni di larghezza: (1) *Tendenza di larghezza trascurabile*: le variazioni non sono quantificabili oppure, se superiori ai 3 m (ordine di grandezza dell'errore commesso nelle misure), risultano inferiori al 10% della larghezza relativa al primo dei due rilievi; (2) *Tendenza al restringimento o allargamento non trascurabile*: le variazioni sono superiori al margine di errore nelle misure e risultano comprese tra il 10 e 25% della larghezza relativa al primo dei due rilievi; (3) *Forte tendenza al restringimento o allargamento*: le variazioni superano il 25% della larghezza relativa al primo dei due rilievi.

Riguardo alla *quota del fondo*, eccetto che nei casi in cui si disponesse di confronti di rilievi topografici, difficilmente si può ricavare una stima della variazione in un intervallo di tempo così breve. Nei casi in cui la valutazione si basi esclusivamente su evidenze sul terreno, la classificazione si limita ad interpretare la tendenza prevalente, ovvero: (1) *in incisione*; (2) *in equilibrio*; (3) *in sedimentazione*.

(3) Classificazione delle traiettorie di evoluzione

La traiettoria di evoluzione è la rappresentazione grafica delle variazioni morfologiche nel tempo, con riferimento all'intervallo temporale utilizzato per questo tipo di analisi, ovvero gli ultimi 100–150 anni. La traiettoria può riferirsi a un singolo parametro (larghezza o quota del fondo) oppure può sintetizzare le variazioni contemporanee di più parametri, soprattutto quando questi hanno subito trend simili di variazione (ad es., incisione e restringimento e/o sedimentazione e allargamento).

Facendo riferimento alle traiettorie più frequentemente osservate in corsi d'acqua italiani, si possono distinguere di norma i seguenti casi ([Figura 6.6](#)):

- (1) *Assenza di variazioni* tratto che non ha subito variazioni significative rispetto alla sua condizione iniziale (relativamente all'intervallo temporale indagato) ed è tuttora in una condizione di equilibrio dinamico.

- (2) *Variazioni senza inversione di tendenza* tratto che ha subito variazioni di una certa entità e che non ha invertito il suo trend di variazione (es., tratto inciso che anche negli ultimi 10–15 anni è in incisione o in equilibrio).
- (3) *Variazioni con inversione di tendenza* il tratto ha subito una variazione ma negli ultimi 10–15 anni ha invertito tale tendenza, ovvero ha mostrato segni parziali di recupero, ad estratto inciso in passato che negli ultimi 10–15 è in fase di sedimentazione.

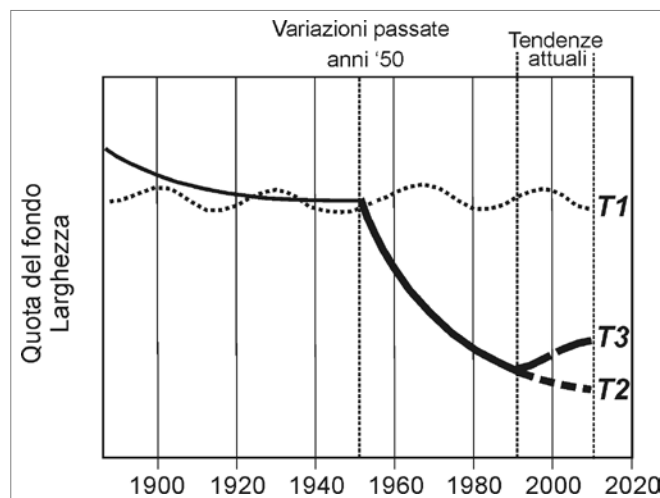


Figura 6.6 – Classificazione delle traiettorie passate e attuali. T1: assenza di variazioni; T2: variazioni senza inversione di tendenza; T3: variazioni con inversione di tendenza.

Considerazioni a parte vanno fatte per altre due situazioni particolari che necessitano approfondimenti:

- (4) *Fissato artificialmente*: è rimasto invariato in quanto è fissato da molto tempo (es., fiume in un tratto urbanizzato).
- (5) *Variazioni precedenti agli anni '50*: ci possono essere casi in cui le variazioni sono avvenute poco prima, tra fine 1800 e anni '50 (ad es., perché è stata realizzata una diga), pertanto la stabilità tra anni '50 e oggi è dovuta al fatto che aveva già modificato il suo regime.

6.4 Analisi delle cause

Una volta ricostruite le variazioni e le traiettorie di evoluzione, in questa fase si cerca di metterle in relazione con le possibili cause nel contesto del bacino. È importante comprendere quali erano le caratteristiche morfologiche e il comportamento del corso d'acqua prima di eventuali disturbi antropici, identificare come le variabili guida (portate liquide e solide) siano state impattate, i tempi e le cause di tali alterazioni.

Nel contesto italiano, le trasformazioni morfologiche che hanno interessato gran parte dei corsi d'acqua semi- e non confinati sono nella maggior parte dei casi attribuibili a fattori antropici (si veda ad es., [RINALDI, 2003](#); [SURIAN & RINALDI, 2003](#); [SURIAN et al., 2009a](#)).

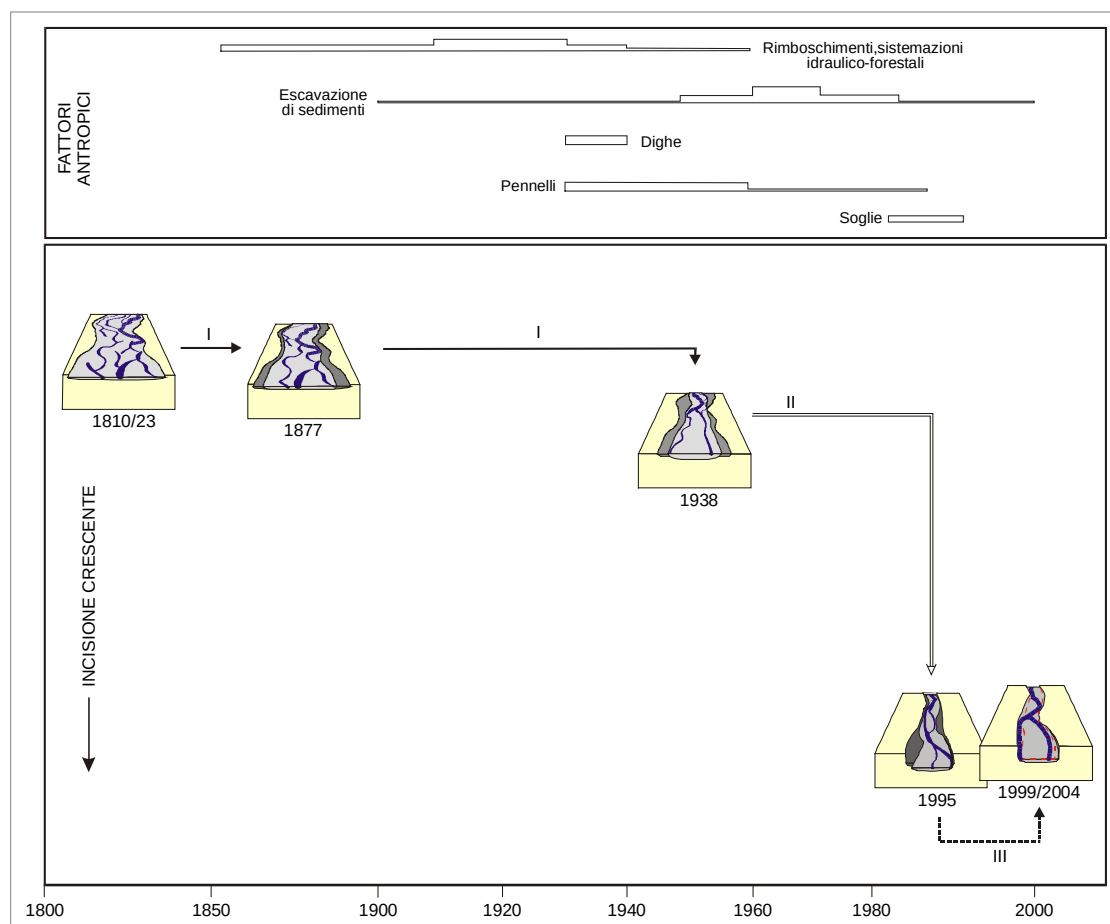


Figura 6.7 – Esempio di diagramma schematico che mette in evidenza le relazioni cause (impatti antropici) e effetti (variazioni morfologiche) in un contesto di evoluzione temporale (Magra e Vara: da [RINALDI, 2009](#). Le date relative alle varie fasi si riferiscono agli anni delle principali cartografie o foto aeree analizzate).

Informazioni dettagliate riguardo le opere e gli interventi a scala di bacino vengono acquisite in fasi successive. In questa fase è necessario approfondire le conoscenze riguardo ai tempi in cui sono stati realizzati i principali interventi (ad es., epoca di realizzazione di una diga o di una serie di pennelli). Mettendo in relazione la sequenza temporale degli impatti antropici con le traiettorie di evoluzione, è in genere possibile evidenziare rapporti di causa-effetto piuttosto evidenti. Utile sintetizzare tali informazioni in un diagramma che colloca nel tempo i tipi e l'intensità dei disturbi antropici ([Figura 6.7](#)). Oltre ai disturbi di tipo antropico, è importante raccogliere i dati disponibili relativi alle portate massime annuali e conoscere gli eventi di piena più intensi verificatisi nel periodo di indagine. Ciò può permettere ad esempio di comprendere se determinate fasi evolutive possano o meno essere state condizionate da eventi di piena di elevata magnitudo.

7. VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MORFOLOGICA

In questo capitolo, dopo aver introdotto il concetto di condizione di riferimento, viene presentato il sistema di valutazione IQM.

7.1 Condizione di riferimento morfologica

La procedura di valutazione e monitoraggio delle condizioni morfologiche dei corsi d'acqua dovrebbe basarsi, coerentemente con quanto richiesto dalla WFD, sulla valutazione dello scostamento delle condizioni attuali rispetto a un certo stato di riferimento. La definizione di uno stato di riferimento per gli aspetti morfologici può ritenersi particolarmente problematica rispetto agli altri aspetti presi in esame per la WFD.

Negli ultimi tre decenni circa, numerosi studi hanno affrontato la definizione delle condizioni geomorfologiche di riferimento per un corso d'acqua (si veda ad [BINDER et al., 1983](#); [KERN, 1992](#); [RHOADS et al., 1999](#); [JUNGWIRTH et al. \(2002\)](#), [PALMER et al., 2005](#); [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#); [DUFOUR & PIÉGAY, 2009](#)). Tali studi dimostrano che esiste ancora qualche dibattito su questo argomento e manca una visione comune. D'altra parte, alcuni concetti sono largamente accettati (ad es., concetto di immagine guida, [PALMER et al., 2005](#); concetto di traiettorie di evoluzione, [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)), dimostrando che è stata stabilita una base comune. In questo paragrafo, si ritiene utile riassumere le idee chiave sviluppate sull'argomento durante gli ultimi anni, in modo da spiegare le condizioni di riferimento definite per la presente metodologia di valutazione.

La maggior parte dei sistemi fluviali in Europa (si veda [PETTS et al., 1989](#); [BILLI et al., 1997](#); [COMITI, 2012](#)), così come in altri continenti ([MONTGOMERY, 2008](#)) sono stati modificati dall'azione dell'uomo per centinaia o anche migliaia di anni, rendendo tali sistemi il risultato di una lunga interazione tra fattori climatici, geologici e antropici. Questa evidenza ha portato molti autori a ritenere poco significativo e privo di utilità pratica fare riferimento a una condizione "primitiva" (o "pristina") (si veda ad es., [KERN, 1992](#); [RHOADS & HERRICKS, 1996](#); [RHOADS et al., 1999](#); [JUNGWIRTH et al. \(2002\)](#); [DOWNS & GREGORY, 2004](#); [KONDOLF & ZOLEZZI, 2008](#); [PIÉGAY et al., 2008](#); [DUFOUR & PIÉGAY, 2009](#)). Le condizioni di corsi d'acqua del passato possono essere prese come esempi di condizioni più naturali, ma in molti casi lo stesso concetto di naturalità è discutibile. Riconoscere che i sistemi fluviali sono stati condizionati per secoli da fattori antropici, e che anche la variabilità climatica potrebbe aver giocato un ruolo significativo su queste scale temporali (si veda ad es., [BRAVARD, 1989](#); [RUMSBY & MACKLIN, 1996](#)) implica la necessità di una visione dinamica di tali sistemi.

In quest'ottica, ogni tratto di un corso d'acqua è caratterizzato da una sua traiettoria di evoluzione in termini di morfologia dell'alveo ([BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)). In accordo con il concetto di traiettoria di evoluzione, un fiume è un sistema complesso che aggiusta la propria morfologia in funzione delle condizioni al contorno, in particolare di variazioni dei flussi liquidi e di sedimenti ([BRIERLEY et al., 2008](#); [DUFOUR & PIÉGAY, 2009](#)) (si veda anche [CAPITOLO 3](#)). Poiché i sistemi fluviali sono il risultato di una continua interazione tra fattori naturali e antropici, e la morfologia dell'alveo in un tratto specifico può cambiare nel tempo, molti autori hanno rinunciato all'uso del passato come condizione di riferimento. Infatti, non solo le condizioni passate non sono necessariamente naturali (ad es., esistevano fenomeni erosivi sui versanti più intensi nel corso del XVIII e XIX secolo a causa dell'attività agricola), ma esse sono anche poco utili per la gestione e la riqualificazione fluviale. Dato che un sistema fluviale può essere cambiato nel tempo, non sarebbe utile far riferimento a una morfologia passata che riflette condizioni al contorno che possono essere molto differenti dalle attuali.

Questo tipo di approccio è stato usato da parecchi autori, ma con qualche differenza. Ad esempio il "leitbild" ([KERN, 1992](#); [MUHAR & JUNGWIRTH, 1998](#)) o il concetto di "immagine guida" ([BINDER et al., 1983](#); [PALMER et al., 2005](#)) sono stati sviluppati tenendo conto delle attuali condizioni ambientali (ad es., attuali condizioni idrologiche, geomorfologiche e impatti antropici nel bacino). Le condizioni di riferimento (es., *leitbild* o immagine guida) sono essenzialmente definite guardando alle condizioni e vincoli attuali e futuri, e sono finalizzate a identificare lo stato meno degradato e più dinamico dal punto di vista ecologico che potrebbe esistere nell'attuale contesto fisico del bacino ([PALMER et al., 2005](#)).

In maniera simile, [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#) affermano che, in generale, le condizioni di riferimento vanno inquadrare in termini di uno stato atteso. Tale stato atteso rappresenta la migliore condizione che può essere ottenuta da un corso d'acqua alterato dalla presenza antropica, date le condizioni al contorno prevalenti nel bacino ([BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)).

Gli approcci ora descritti hanno molti aspetti in comune. Primo, essi fanno riferimento a uno stato dinamico piuttosto che a una condizione statica, nel momento in cui le condizioni del corso d'acqua sono inquadrare nel contesto di una tendenza di evoluzione del sistema ([BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)). Secondo, tali lavori argomentano il fatto che una riqualificazione fluviale non dovrebbe mirare a ricreare condizioni passate. Sulla stessa linea di pensiero è il concetto di “naturalizzazione” proposto da [RHOADS & HERRICKS \(1996\)](#) e da [RHOADS et al. \(1999\)](#) per ambienti antropizzati, anche rilevante notare che l’“immagine guida” o lo “stato atteso” non sono usati per misurare uno scostamento da condizioni naturali, quanto piuttosto per definire gli obiettivi di una riqualificazione fluviale. A tal proposito, il lavoro di [JUNGWIRTH et al. \(2002\)](#) è particolarmente interessante in quanto enfatizza che una valutazione può essere considerata un processo a due stadi, dove dapprima si valuta la deviazione rispetto a condizioni naturali (“*visionary leitbild*”), e successivamente si identificano gli obiettivi di una riqualificazione (“*practical leitbild*”).

Nella definizione delle condizioni di riferimento per l'IQM è stato tenuto conto (i) di vari concetti prima descritti (in particolare quello di traiettoria di evoluzione); (ii) dei requisiti della WFD; (iii) del contesto specifico dei corsi d'acqua italiani, i quali sono stati interessati da fattori antropici per un lungo periodo di tempo (si veda ad es., [BILLI et al., 1997](#); [SURIAN & RINALDI, 2003](#); [COMITI, 2012](#)). In accordo con la WFD, lo stato di riferimento deve corrispondere a condizioni “indisturbate”, caratterizzate da assenza o impatti antropici molto limitati ([EC, 2003](#)). Conseguentemente, le condizioni di riferimento per l'IQM sono state definite in maniera tale da misurare lo scostamento rispetto a condizioni geomorfologiche indisturbate o solo lievemente disturbate. Le condizioni di riferimento per un dato tratto sono definite considerando **tre componenti**, vale a dire **funzionalità geomorfologica** (forme e processi del corso d'acqua), **artificialità** e **variazioni morfologiche** (instabilità). Riguardo la prima componente, le condizioni di riferimento sono date dalla **forma e dai processi che sono attesi per la tipologia morfologica** esaminata. Per l'artificialità, la condizione di riferimento è data da **assenza o presenza molto ridotta di interventi antropici** (regolazione delle portate liquide e solide, strutture idrauliche e attività di gestione). Se esistono elementi antropici, essi dovrebbero produrre effetti trascurabili sulla morfologia dell'alveo e sui processi. Riguardo alla terza componente, un alveo deve essere **stabile o in “equilibrio dinamico”**, vale a dire che non si sono verificate importanti variazioni morfologiche dovute a fattori antropici nel corso del “recente” passato (ovvero negli ultimi 100 anni circa). Riassumendo, le condizioni di riferimento consistono in un tratto di corso d'acqua in equilibrio dinamico, dove il fiume svolge quei processi geomorfologici che sono attesi per una specifica tipologia, e dove l'artificialità è assente o non altera significativamente la dinamica del corso d'acqua a scala di bacino e di tratto.

Tratti che rappresentano condizioni di riferimento possono essere molto rari, se non addirittura assenti, nel contesto italiano ([COMITI, 2012](#)). A tal proposito si rimarca che l'IQM rappresenta semplicemente uno strumento per valutare lo scostamento rispetto a condizioni indisturbate e non uno strumento per definire obiettivi di gestione o riqualificazione (tale argomento viene affrontato nel [CAPITOLO 11](#)). In quest'ottica, le condizioni di riferimento per l'IQM sono simili al concetto di “*visionary leitbild*” di [JUNGWIRTH et al. \(2002\)](#), sebbene questi autori si riferiscano a condizioni morfologiche storiche. Per l'IQM non si fa riferimento a condizioni storiche in quanto non è possibile attendersi o prevedere una singola tipologia morfologica per uno specifico tratto nel contesto delle tendenze evolutive del sistema fluviale. In altre parole, ogni morfologia del corso d'acqua passata, attuale o futura rappresentano un punto arbitrariamente scelto lungo la traiettoria di evoluzione ([Figura 7.1](#)), pertanto l'uso di una condizione di riferimento morfologica intesa come una precisa configurazione (meandriforme, a canali intrecciati, ecc.) in senso statico non solo non è necessaria ma è fuorviante. Infatti, in uno stesso contesto fisico, si potrebbero sviluppare diverse tipologie in funzione di differenti condizioni al contorno (cioè di variazioni a scala di bacino e di tratto).

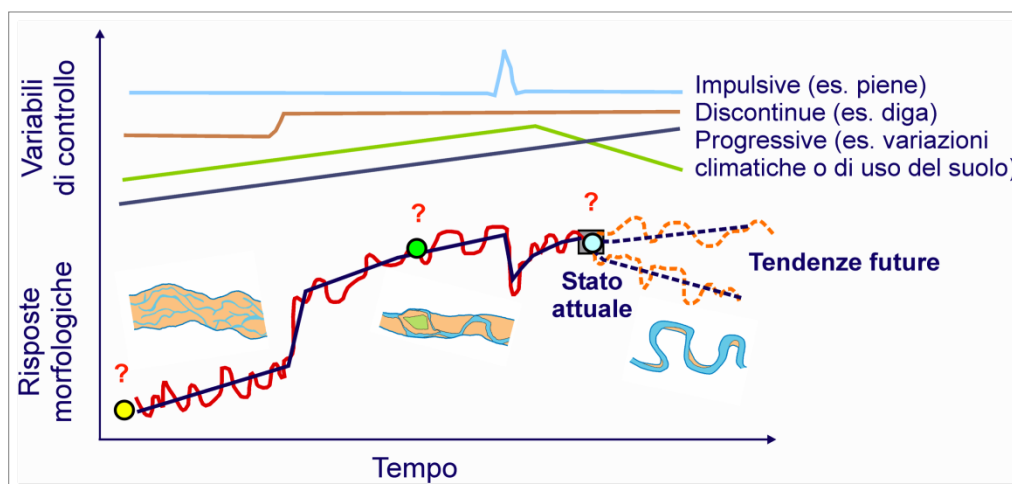


Figura 7.1 – Traiettoria di evoluzione e condizione di riferimento. Qualunque condizione di riferimento intesa come precisa configurazione morfologica è un punto arbitrariamente scelto lungo la traiettoria di evoluzione.

7.2 L'Indice di Qualità Morfologica (IQM)

7.2.1 Principali caratteristiche del metodo

Le principali caratteristiche e gli aspetti innovativi dell'IQM possono essere sintetizzati come segue ([RINALDI et al., 2013b](#)):

- (1) Il metodo è basato sul giudizio esperto, ovvero la selezione di variabili, indicatori, classi e punteggi relativi sono stati tutti definiti sulla base di giudizio esperto derivante dalle specifiche conoscenze ed esperienze degli autori del metodo.
- (2) Il metodo è stato sviluppato in modo da rispondere ai requisiti richiesti dalla WFD ma può avere un più largo utilizzo ai fini della gestione dei corsi d'acqua.
- (3) Poiché il metodo deve essere usato dalle agenzie regionali che si occupano di corsi d'acqua, esso è stato progettato in modo da essere relativamente semplice, seppure rigoroso da un punto di vista scientifico, e da non richiedere un tempo eccessivo per la sua applicazione. Detto ciò, il metodo dovrebbe essere applicato da persone addestrate con una preparazione adeguata in geomorfologia fluviale (si veda dopo).
- (4) Il metodo è basato sulla valutazione di processi, piuttosto che solo di forme fluviali. Esso infatti include aspetti quali la continuità di flusso di sedimenti e legname, l'erosione delle sponde, la mobilità laterale, le variazioni morfologiche.
- (5) La componente temporale è esplicitamente tenuta in conto, considerando che un'analisi storica delle variazioni morfologiche fornisce importanti informazioni sulle cause e sui tempi delle alterazioni. La mancanza di considerazioni sulla componente temporale è considerata da vari autori come la principale limitazione di molti altri metodi di valutazione e schemi di classificazione geomorfologica ([KONDOLF et al., 2003a](#)).
- (6) Riguardo alle scale spaziali, viene adottato un approccio gerarchico ([BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)), dove il tratto (ovvero una porzione del fiume lungo la quale le condizioni al contorno sono sufficientemente uniformi) è l'unità spaziale di base per l'applicazione della procedura di valutazione.
- (7) Le condizioni morfologiche sono valutate esclusivamente in termini di processi fisici, senza alcuna considerazione sulle loro conseguenze in termini di stato ecologico. Questo significa che una qualità morfologica elevata non è necessariamente correlata a un buono stato ecologico, seppure comunemente ciò avviene. Infatti, è ampiamente riconosciuto che la dinamica geomorfologica di un corso d'acqua e il funzionamento dei processi fisici naturali spontaneamente promuovono la creazione e il mantenimento di habitat e favoriscono l'integrità di un ecosistema (si veda, ad es., [KONDOLF et al., 2003b](#); [WOHL et al., 2005](#); [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#); [FLORSHEIM et al., 2008](#); [HABERSACK & PIÉGAY, 2008](#); [FRYIRS et al., 2008](#)).

7.2.2 Metodologie di analisi

È necessario che la valutazione delle condizioni attuali e 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 e il rilevamento sul terreno (si veda anche [SURIAN et al., 2009b](#)).

- (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 e 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 e almeno un primo censimento delle opere di una certa grandezza e tipologia (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 es., la corretta interpretazione di superfici adiacenti all'alveo).

È necessario prevedere che tutte le informazioni relative alle condizioni geomorfologiche e 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 e l'interpretazione dei dati facilmente ripetibili e comprensibili.

7.2.3 Aspetti trattati e suddivisione in fasi

Coerentemente con quanto riportato nelle norme [CEN \(2002\)](#), le **gli aspetti idromorfologici** devono comprendere i **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 aspetti vengono trattati a differenti **scale spaziali di analisi**, come rappresentato in [Figura 7.2](#).

Gli aspetti idromorfologici sono trattati secondo una riorganizzazione sequenziale che comprende nell'ordine ([Tabella 7.1](#)):

- (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.

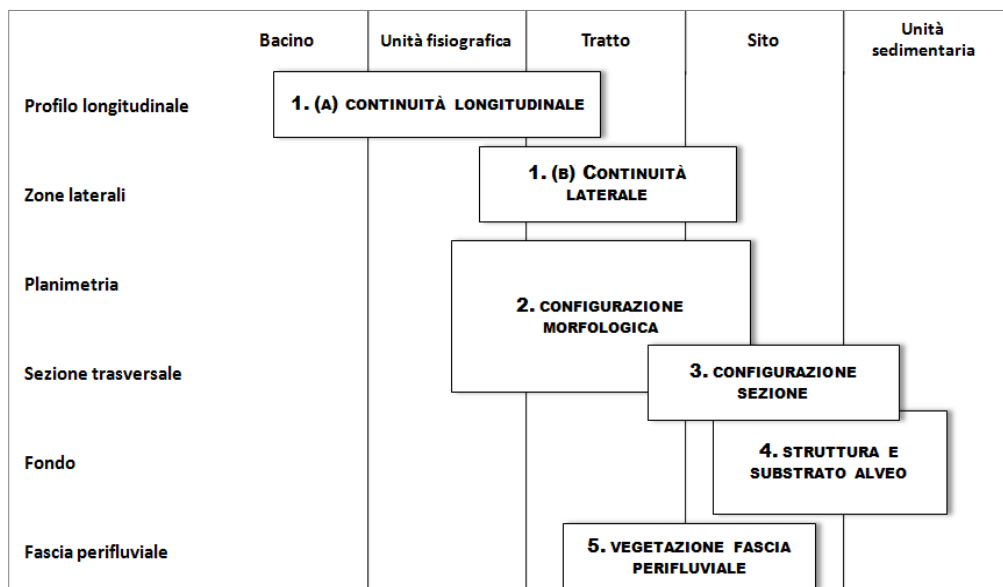


Figura 7.2 – Schema degli aspetti considerati e delle relative scale spaziali.

Tabella 7.1 – Valutazione dello stato morfologico dei corsi d'acqua: suddivisione in categorie e 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 e 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 verticale tra flusso superficiale e 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 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 es., attraverso un abbassamento del fondo). Infatti gli impatti antropici possono avere effetti anche a 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 del XX secolo, 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.

In questa metodologia vengono inclusi solo gli aspetti idrologici connessi a quelli morfologici, vale a dire le eventuali alterazioni delle portate formative. Le variazioni complessive del regime idrologico sono analizzate separatamente e descritte in [ISPRA \(2011\)](#): l'integrazione dei due aspetti permette una completa caratterizzazione e classificazione idromorfologica di un corso d'acqua.

La **valutazione dello stato morfologico** è organizzata attraverso l'analisi di **tre componenti**:

- (1) **Funzionalità geomorfologica**: si basa sull'osservazione delle forme e dei processi del corso d'acqua nelle condizioni attuali e sul confronto con le forme e i processi attesi per la tipologia fluviale presente nel tratto in esame. In altri termini si valuta la funzionalità del corso d'acqua relativamente ai processi geomorfologici (l'assenza di determinate forme e processi tipici per una data tipologia può essere sintomo di condizioni morfologiche alterate).
- (2) **Artificialità**: si valutano la presenza, frequenza e continuità delle opere o interventi antropici che possano avere effetti sui vari aspetti morfologici considerati. Alcuni elementi artificiali hanno effetti molteplici su diversi aspetti: essi verranno ovviamente rilevati una sola volta ma verranno valutati per ogni singolo aspetto.
- (3) **Variazioni morfologiche**: questa analisi riguarda soprattutto gli alvei non confinati e parzialmente confinati e solo alcuni aspetti (principalmente le variazioni di configurazione morfologica plano-altimetrica). Vengono valutate le variazioni morfologiche rispetto a una situazione relativamente recente (scala temporale degli ultimi 5060 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.

7.2.4 Indicatori

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 a una data classe di variazione.

Nella [Tabella 7.2](#) è riportata una lista di indicatori relativi ai tre aspetti (funzionalità, artificialità, variazioni).

Tabella 7.2 – Lista degli indicatori e relativi campi di applicazione. 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		
F1	Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso	Tutti
F2	Presenza di piana inondabile	Solo SC/NC
F3	Connessione tra versanti e corso d'acqua	Solo C
F4	Processi di arretramento delle sponde	Solo SC/NC
F5	Presenza di una fascia potenzialmente erodibile	Solo SC/NC
Morfologia		
<i>Configurazione morfologica</i>		
F6	Morfologia del fondo e pendenza della valle	Solo C
F7	Forme e processi tipici della configurazione morfologica	SC/NC: tutti; C: solo CI/W
F8	Presenza di forme tipiche di pianura	Solo SC/NC meandriformi in ambito fisiografico di pianura
<i>Configurazione sezione</i>		
F9	Variabilità della sezione	Tutti
<i>Struttura e substrato alveo</i>		
F10	Struttura del substrato	Tutti
F11	Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni	Tutti
Vegetazione fascia perifluviale		
F12	Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Tutti
F13	Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde	Tutti
ARTIFICIALITÀ		
Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte		
A1	Opere di alterazione delle portate liquide	Tutti
A2	Opere di alterazione delle portate solide	Tutti
Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto		
A3	Opere di alterazione delle portate liquide	Tutti
A4	Opere di alterazione delle portate solide	Tutti
A5	Opere di attraversamento	Tutti
Opere di alterazione della continuità laterale		
A6	Difese di sponda	Tutti
A7	Arginature	Solo SC/NC

Tabella 7.2 (segue) – Lista degli indicatori e relativi campi di applicazione. C: confinati; SC: semiconfinati; NC: non confinati; CI/W: canali intrecciati e *wandering*; G: grandi (L > 30 m).

SIGLA	INDICATORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
Opere di alterazione della morfologia dell'alveo e/o del substrato		
A8	Variazioni artificiali di tracciato	Solo SC/NC
A9	Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato	Tutti
Interventi di manutenzione e prelievo		
A10	Rimozione di sedimenti	Tutti
A11	Rimozione di materiale legnoso	Tutti
A12	Taglio della vegetazione in fascia perifluviale	Tutti
VARIAZIONI MORFOLOGICHE		
V1	Variazione della configurazione morfologica	Solo G
V2	Variazioni di larghezza	Solo G
V3	Variazioni altimetriche	Solo G

7.2.5 Compilazione delle schede

Si riportano di seguito alcune informazioni relative alla fase di preparazione e 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 web di ISPRA.

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 del geologo, 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.

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 (*Fase 1*):

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 e 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 e analisi delle immagini telerilevate*. Si analizzano le immagini telerilevate disponibili e, quando necessario, si effettuano alcune misure su GIS relativamente ad alcuni parametri (ampiezza e continuità fascia erodibile e vegetazione perifluviale, ecc.) per definire preliminarmente le classi relative a tutti i vari indicatori, eccetto che per quelli che richiedono necessariamente la ricognizione sul terreno. Durante questa fase e quella successiva sul terreno viene compilata la *scheda di valutazione in formato cartaceo* (riportata in appendice). 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 e informazioni esistenti relativi alle variazioni altimetriche.
 5. *Rilievi sul terreno*. Affinché non risulti dispersiva e dispendiosa, la fase sul terreno deve essere ben organizzata e 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 (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 e 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 e 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 (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 e 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 a una precisa **data** (quella delle immagini o quella del rilievo sul terreno), quanto piuttosto a un certo **intervallo temporale** (quello compreso tra la data di acquisizione delle immagini e quella del rilievo sul terreno, comunque un intervallo di pochi anni), 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 es., nel caso di alveo asciutto) non è preclusa la possibilità di effettuare la valutazione, seppure tale condizione possa creare qualche problema nell'interpretazione di alcune forme e caratteristiche (ad es., l'indice di intrecciamento). È importante a tal proposito precisare che la valutazione riguarda l'alveo del corso d'acqua (non la sola parte sommersa dell'alveo).

CAMPI DI APPLICAZIONE

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

- 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).

7.2.6 Attribuzione dei punteggi e sintesi delle informazioni

Per poter giungere a 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 e 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 e 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 7.3 – Punteggi relativi agli indicatori di funzionalità.

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

Tabella 7.4 – Punteggi relativi agli indicatori di artificialità.

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

Tabella 7.5 – 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 a un dato indicatore. Pertanto, la classe A è associata a uno scostamento nullo (assenza di alterazioni) mentre la classe C è associata a un forte scostamento (elevata 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 7.6](#)).

Tabella 7.6 – Riepilogo dei massimi punteggi per le principali tipologie. **F** = funzionalità; **A** = artificialità; **V** = variazioni; **P** = piccoli; **G** = medio-grandi.

DIMENSIONI	F	A	V	MASSIMO PUNTEGGIO
Confinati				
P	37	63		100
G			14	114
Semi – non confinati				
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 7.6](#)), 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)** e un **Indice di Qualità Morfologica IQM** = $1 - IAM$, con significato corrispondente all'*EQR* (*Environmental Quality Ratio*). Tale indice infatti assume valore pari a 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 7.7](#)).

Tabella 7.7 – Classi di qualità morfologica.

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

L'*IQM* permette di classificare lo stato di qualità morfologica del tratto a cui viene applicato. Per passare alla classificazione dello stato morfologico di un **corpo idrico**, occorre estendere la valutazione *IQM* ai tratti che lo compongono. Nel caso in cui il corpo idrico comprenda più tratti, lo stato morfologico sarà infatti dato dalla media dell'*IQM* dei tratti pesata sulla lunghezza degli stessi.

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

Per quanto riguarda il **grado di confidenza** nelle risposte, si distingue tra alto, medio e basso grado di confidenza (il caso di alto grado per semplicità viene 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 esista 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* e *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* e *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

$$IAM_F = S_F \text{ tot} / S_{\text{max}}$$

$$IQM_F = (S_F \text{ max} / S_{\text{max}}) - IAM_F = (S_F \text{ max} - S_F \text{ tot}) / S_{\text{max}}$$

Dove:

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

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

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

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

$$\text{Max}(S_{\text{tot}}) = \text{Max}(S_F \text{ tot}) + \text{Max}(S_A \text{ tot}) + \text{Max}(S_V \text{ tot}) \quad (\text{somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori});$$

$$Sna(F) = \text{somma dei punteggi massimi degli indicatori } F \text{ non applicati};$$

$$Sna = \text{somma dei punteggi massimi degli indicatori } F, A \text{ e } V \text{ non applicati};$$

$$S_F \text{ max} = \text{Max}(S_F \text{ tot}) - Sna(F);$$

$$S_{\text{max}} = \text{Max}(S_{\text{tot}}) - Sna.$$

2. ARTIFICIALITÀ

$$IAM_A = S_A \text{ tot} / S_{\text{max}}$$

$$IQM_A = (S_A \max / S_{\max}) - IAM_A = (S_A \max - S_A \text{ tot}) / S_{\max}$$

Dove:

$S_{A \text{ tot}} = A1 + \dots + A12$ (somma dei punteggi degli indicatori A applicati);

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

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

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

$\text{Max}(Stot) = \text{Max}(S_F \text{ tot}) + \text{Max}(S_A \text{ tot}) + \text{Max}(S_V \text{ tot})$ (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori);

$S_{na}(A) =$ somma dei punteggi massimi degli indicatori A non applicati;

$S_{na} =$ somma dei punteggi massimi degli indicatori F, A e V non applicati;

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

$S_{\max} = \text{Max}(Stot) - S_{na}$.

3. VARIAZIONI MORFOLOGICHE

$$IAM_V = S_V \text{ tot} / S_{\max}$$

$$IQM_V = (S_V \max / S_{\max}) - IAM_V = (S_V \max - S_V \text{ tot}) / S_{\max}$$

Dove:

$S_V \text{ tot} = V1 + \dots + V3$ (somma dei punteggi degli indicatori V applicati);

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

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

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

$\text{Max}(Stot) = \text{Max}(S_F \text{ tot}) + \text{Max}(S_A \text{ tot}) + \text{Max}(S_V \text{ tot})$ (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori);

$S_{na}(V) =$ somma dei punteggi massimi degli indicatori V non applicati;

$S_{na} =$ somma dei punteggi massimi degli indicatori F, A e V non applicati;

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

$S_{\max} = \text{Max}(Stot) - S_{na}$.

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 $Stot > S_{\max}$, 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 a 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:

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

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

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

S_{na(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:

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

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

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

S_{na(CLA)} = 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

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

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

Dove:

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

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

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

S_{na(CM)} = somma dei punteggi massimi degli indicatori di CM non applicati.

2.2 Configurazione della sezione

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

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

Dove:

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

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

(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

$$IAM_S = (F10 + F11 + A9/2 + A10/2 + A11) / S_{max}$$

$$IQM_S = (S_S \text{ max} / S_{max}) - IAM_S$$

Dove:

$$S_S \text{ max} = \text{Max}(S_S \text{ tot}) - Sna(s);$$

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

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

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

3. VEGETAZIONE

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

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

Dove:

VE indica la vegetazione;

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

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

Sna(VE) = 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

$$IAM_C \text{ max} = IQM_C \text{ max} = S_C \text{ max} / S_{max}$$

Dove:

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

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

(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

$$IAM_M \text{ max} = IQM_M \text{ max} = S_M \text{ max} / S_{max}$$

Dove:

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

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

(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

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

7.2.7 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 e impatti antropici. Per una descrizione di alcuni casi di applicazione più significativi si rimanda a [*RINALDI et al. \(2011a, b\)*](#).

7.2.8 Esempio di applicazione

Si riporta di seguito un esempio di applicazione delle schede di valutazione. Tale esempio non si riferisce a 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.

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MORFOLOGICA ALVEI SEMICONFINATI E NON CONFINATI

Versione 2 - Maggio 2014

GENERALITA'

Data 01 / 01 / 20 14 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 M=Montano, C=Collinare, P=Pianura Unità fisiografica alta pianura

2. Confinamento

Grado confinamento (%) 10-90 >90, 10-90, ≤10
 Indice confinamento >rv 1-1.5, 1.5-k, >k (k=5 canale singolo o anabranching, k=2 canali intrecciati o wandering)
 Classe confinamento SC SC=Semiconfinato, NC=Non Confinato

3. Morfologia alveo

Immagine utilizzata Voio 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 anabranching 1 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= Anabranching
 Configurazione fondo R 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) 78
 Sedimenti (dominanti) alveo A A=Argilla, L=Limo, S=Sabbia, G=Ghiaia, C=Ciottoli, M=Massi

4. Altri elementi per delimitazione tratto

Monte affluente Valle _____
 discontinuità pendenza, affluente, variazioni unità morfologiche, variazioni dimensioni pianura e/o confinamento,
 variazioni granulometria sedimenti, artificializzazione, diga, altro (specificare) _____

Altri dati / informazioni eventualmente disponibili

Area drenaggio (sottesa alla chiusura del tratto) (km²) 760
 Diametro sedimenti D₅₀ (mm) 3.5 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 (m³/s) _____ Q_{1.5} (m³/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	0		
B	Lieve alterazione (ostacoli nel flusso ma non intercettazione)	3		
C	Forte alterazione (forte discontinuità di forme per intercettazione)	5	5	

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	8	

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

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 impedito da opere e/o scarsa dinamica alveo	2	
C	Completa assenza oppure presenza diffusa di sponde instabili per movimenti di massa	3	8

Non si valuta in caso di alvei rettilinei, sinuosi o anabranching a bassa energia (bassa pianura, basse pendenze e/o basso ts al fondo) e nel caso di corsi d'acqua di risorgiva

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	10

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	13

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.)	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	No

Si valuta solo per fiumi meandriformi (oggi e/o in passato), escluso il caso di corsi d'acqua di risorgiva

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	16

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

Struttura e substrato alveo

F10	Struttura del substrato		
A	Naturale eterogeneità sedimenti e clogging poco significativo	0	
B	Corazzamento o clogging accentuato in varie porzioni del sito	2	
C1	Corazzamento o clogging accentuato e diffuso (>90%) e/o affioramento occasionale substrato	5	
C2	Affioramento diffuso del substrato per incisione o rivestimento fondo (>33% tratto)	6	21

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	0	
C	Presenza molto limitata o assenza di materiale legnoso	3	21

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	Ampiezza di formazioni funzionali elevata	0	
B	Ampiezza di formazioni funzionali intermedia	2	
C	Ampiezza 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

ARTIFICIALITA'

Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte

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

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	Alvei a pendenza ≤1%: presenza briglie, traverse, casse in linea ≤1 ogni 1000 m Alvei a pendenza >1%: briglie di consolidamento ≤1 ogni 200 m e/o briglie aperte	4	
C	Alvei a pendenza ≤1%: presenza briglie, traverse, casse in linea >1 ogni 1000 m Alvei a pendenza >1%: briglie consolidamento >1 ogni 200 m e/o briglie trattenute a corpo pieno oppure presenza di diga e/o invaso artificiale all'estremità a valle del tratto (qualunque pendenza)	6	39

Nel caso la densità di opere trasversali, incluse soglie e rampe (vedi A9), è >1 ogni d, aggiungere 12 dove d=100 m in alvei a pendenza >1%, o d=500 m in alvei a pendenza ≤1%

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

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	41

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)	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	41

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	0	
B	Argini a contatto $\leq 50\%$, oppure $\leq 33\%$ con totale vicini e a contatto $> 90\%$	3	
C	Argini a contatto $> 50\%$, oppure $> 33\%$ con totale vicini e a contatto $> 90\%$	6	41

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.)	0	
B	Presenza di variazioni di tracciato per $\leq 10\%$ lunghezza tratto	2	
C	Presenza di variazioni di tracciato per $> 10\%$ lunghezza tratto	3	41

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)	0	
B	Presenza soglie o rampe (≤ 1 ogni d) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ imperm.	3	
C1	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni d) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ imperm.	6	
C2	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili	8	44

dove d=200 m in alvei a pendenza $> 1\%$, o d=1000 m in alvei a pendenza $\leq 1\%$

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

E' 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)	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	50

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	0	
B	Rimozione parziale negli ultimi 20 anni	2	
C	Rimozione totale 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 perfluviale

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

A12	Taglio della vegetazione in fascia perfluviale		
A	Vegetazione arborea sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0	
B	Taglio selettivo nel tratto e/o raso su $\leq 50\%$ 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 perfluviale

Non risultano tagli effettuati negli ultimi 20 anni

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

		parz.	prog.	conf.
V1	Variazioni della configurazione morfologica (si applica solo ad alvei con larghezza > 30 m)			
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 (si applica solo ad alvei con larghezza > 30 m)		
A	Variazioni nulle o limitate ($\leq 15\%$) 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 (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	
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

Scostamento totale:

Stot = 65 62÷67

Scostamento massimo:

Smax = 142 - Sna = 139

dove Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

Indice di Alterazione Morfologica:

IAM = Stot / Smax = 0.47 0.45÷0.48

se Stot > Smax si assume IAM = 1

Indice di Qualità Morfologica:

IQM = 1 - IAM = 0.53 0.52÷0.55

Classe di qualità del tratto:

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 $\leq$ 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 $S_{max} = Max(Stot) - S_{na} = 142 - 3 = 139$ (essendo 3 il valore massimo attribuibile all'unico indicatore non applicabile, $F8$). Ne deriva un $IAM = Stot/S_{max} = 65/139 = 0.47$, 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 $F2$ e $A10$. Gli scostamenti associati a tali indicatori sono rispettivamente +2 (per $F2$) e -3 (per $A10$). Ne risulta che lo scostamento totale $Stot$, 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 7.8](#)).

Sub-indici verticali

SUB-INDICE DI FUNZIONALITÀ

$$IAM_F = S_F tot / S_{max} = 26 / 139 = 0.19 \text{ su } 0.31$$

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

$$\text{essendo } IAM_F max = IQM_F max = S_F max / S_{max} = 43 / 139 = 0.31$$

SUB-INDICE DI ARTIFICIALITÀ

$$IAM_A = S_A tot / S_{max} = 26 / 139 = 0.19 \text{ su } 0.52$$

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

$$\text{essendo } IAM_A max = IQM_A max = S_A max / S_{max} = 72 / 139 = 0.52$$

SUB-INDICE DI VARIAZIONI

$$IAM_V = S_V tot / S_{max} = 13 / 139 = 0.09 \text{ su } 0.17$$

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

$$\text{essendo } IAM_V max = IQM_V max = S_V max / S_{max} = 24 / 139 = 0.17$$

Sub-indici orizzontali

SUB-INDICE DI CONTINUITÀ

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

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

$$\text{essendo } IAM_C max = IQM_C max = S_C max / S_{max} = (S_{CL} max + S_{CLA} max) / S_{max} = (35 + 20) / 139 = 0.40$$

CONTINUITÀ LONGITUDINALE

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

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

CONTINUITÀ LATERALE

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

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

SUB-INDICE DI MORFOLOGIA

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

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

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

CONFIGURAZIONE MORFOLOGICA

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

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

CONFIGURAZIONE DELLA SEZIONE

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

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

SUBSTRATO

$$IAM_S = (F10+F11+A9/2+A10/2+A11)/S_{max} = 11.5/139 = 0.08$$

$$IQM_S = (S_S \max/S_{max}) - IAM_S = (21/139) - 0.08 = 0.07$$

SUB-INDICE DI VEGETAZIONE

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

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

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

Tabella 7.8 – 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
Verticali			
FUNZIONALITÀ	0.19	0.12	0.31
ARTIFICIALITÀ	0.19	0.33	0.52
VARIAZIONI	0.09	0.08	0.17
Orizzontali			
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

7.3 Individuazione e sintesi delle criticità

La condizione ideale di applicazione del sistema *IDRAIM* consiste nel valutare l'*IQM* per più tratti possibili all'interno del bacino, per avere un quadro complessivo delle condizioni morfologiche dei corsi d'acqua. Tale condizione può talora risultare alquanto onerosa, pertanto in alcuni casi (es., analisi finalizzate a singoli obiettivi) può porsi il problema di come effettuare una valutazione preliminare a grande scala e/o come selezionare alcuni tratti rappresentativi per i quali procedere con maggiore dettaglio. A tal fine, si può procedere con le seguenti modalità.

- (1) *Analisi preliminare delle pressioni.* L'analisi delle pressioni a scala di bacino può fornire una prima indicazione su quali possano essere le porzioni del bacino con maggiori o minori criticità.
- (2) *Valutazione IQM per tratti rappresentativi.* Questa procedura può basarsi sulla scelta di tratti rappresentativi in base all'unità fisiografica (a scala di segmenti) e della tipologia morfologica a cui appartengono. Questa procedura presuppone comunque di avere un quadro conoscitivo generale dell'artificialità sia a scala di bacino (attraverso un'analisi preliminare delle pressioni) che alla scala dell'unità spaziale gerarchicamente superiore che viene rappresentata dal tratto di

applicazione (segmento o tipologia). Infatti, il valore dell'*IQM* dipende in gran parte dalle condizioni di artificialità, pertanto bisogna prestare attenzione che il tratto scelto sia rappresentativo dell'unità spaziale di ordine superiore, in particolar modo rispetto alle opere trasversali che hanno un impatto sulla continuità longitudinale del flusso di sedimenti.

- (3) *Analisi preliminare IQM*. Tale analisi può essere condotta, a un livello preliminare a scala di bacino, attraverso interpretazione e analisi GIS di immagini telerilevate, conducendo l'analisi sul terreno solo per alcuni tratti rappresentativi. Per i tratti in cui non si effettua il rilevamento sul terreno, gli indicatori non risolvibili senza la fase di campo vengono lasciati incerti (adottando un livello di confidenza basso). In questo modo, l'*IQM* presenterà dei margini di incertezza elevati ma può fornire un'indicazione, in prima approssimazione, delle classi entro le quali potrebbe variare. Tale procedura presuppone una buona conoscenza delle artificialità a scala di bacino (ad es., attraverso un catasto delle opere o informazioni piuttosto diffuse sulle opere esistenti), condizione peraltro richiesta anche nelle procedure precedenti.

Una prima **sintesi delle criticità** è rappresentata dalla visualizzazione dell'*IQM* a scala di bacino al fine di individuare con immediatezza le porzioni del bacino e i tratti più fortemente alterati. Si procede poi alla comprensione delle possibili cause alla base delle alterazioni osservate.

Successivamente, le criticità legate alla qualità morfologica verranno incrociate con quelle legate alla dinamica morfologica per avere un quadro complessivo delle criticità esistenti.

8. VALUTAZIONE DELLA DINAMICA MORFOLOGICA

8.1 Introduzione

In questo paragrafo si vogliono richiamare alcuni concetti e definizioni utili per inquadrare come si collocano gli aspetti di dinamica morfologica nell'ambito della zonazione della pericolosità e del rischio idraulico.

Si riportano di seguito le principali definizioni legate ai rischi naturali, rimandando per ulteriori dettagli alla letteratura specifica (si veda ad es. [CANUTI & CASAGLI, 1994](#); [MATTM, 2013](#)).

- **Pericolosità (P)**: probabilità (usualmente espressa come tempo di ritorno) che in una zona si verifichi un potenziale evento dannoso con una certa intensità entro un dato periodo di tempo.
- **Elementi esposti (o elementi a rischio) (E)**: popolazione, proprietà, attività economiche, servizi pubblici e beni ambientali in una data area esposta a rischio.
- **Valore degli elementi esposti (W)**: valore economico o numero di unità relativo ad ognuno degli elementi esposti a rischio.
- **Vulnerabilità (V)**: grado di perdita per un elemento o un insieme di elementi a rischio determinato dall'occorrenza di un fenomeno naturale di una certa magnitudo.
- **Danno potenziale (D)**: combinazione del valore dell'elemento esposto e della vulnerabilità ($D = V \cdot W$).
- **Rischio totale (R)**: combinazione di pericolosità, vulnerabilità e valore degli elementi esposti ($R = P \cdot V \cdot W = P \cdot D$).
- **Rischio idraulico**: possibilità di danno a persone e/o beni in conseguenza dei principali fenomeni di trasporto in un corso d'acqua. Il rischio idraulico può essere suddiviso nelle due seguenti componenti principali (non viene qui considerato il rischio da inquinamento):
 - (1) **Rischio da esondazione**: possibilità di danno a persone e/o beni in conseguenza dei fenomeni di esondazione, ovvero in conseguenza di acque fuoriuscite da reti di drenaggio naturali e/o artificiali.
 - (2) **Rischio da dinamica morfologica**: possibilità di danno a persone e/o beni in conseguenza dei processi di erosione e/o sedimentazione, per effetto dell'interazione tra corrente liquida, sedimenti e materiale legnoso.

La frequenza delle portate liquide associabili ai diversi tipi di rischio varia sensibilmente. In aree antropizzate, il rischio di esondazione si manifesta in genere con tempi di ritorno relativamente elevati (superiori a 10-30 anni). Il rischio da dinamica morfologica non è necessariamente legato ad eventi di esondazione, ma si può manifestare anche per eventi la cui portata liquida è contenuta in alveo. I processi di dinamica morfologica sono infatti associati anche a portate relativamente frequenti (tempi di ritorno di 1-3 anni) anche se, durante eventi di portata elevata, essi possono manifestarsi con caratteri estremi (ad es., erosione delle sponde di decine o anche centinaia di metri).

Si possono inoltre definire i **rischi indotti**, i quali derivano dall'interazione dei diversi processi che concorrono alla definizione complessiva del rischio idraulico. Il **rischio da esondazione indotta** è legato alla possibilità che i processi di dinamica morfologica determinino un fenomeno di esondazione (ad es., la rottura di un argine a causa di erosione oppure l'esondazione a causa dell'innalzamento della quota del fondo, ecc.).

8.2 Struttura complessiva di valutazione ed analisi

La metodologia *IDRAIM* prende in considerazione i processi (variazioni del fondo, mobilità laterale, ecc.) che vanno a determinare i **rischi da dinamica morfologica e da esondazione indotta**. Tali valutazioni vanno ad integrarsi con le metodologie tradizionalmente impiegate per l'analisi del rischio da esondazione (analisi idrauliche e geotecniche inerenti la stabilità dei manufatti arginali).

La classificazione ed analisi della **dinamica morfologica** comprende due tipi di valutazioni a diverse scale spaziali:

- (1) *Valutazioni di tipo lineare*, consistente nella valutazione alla scala del tratto del grado di dinamica morfologica del corso d'acqua ed indirettamente quindi sulle sue condizioni di pericolosità.

- (2) *Valutazioni di tipo areale*, consistenti in una zonazione della pianura adiacente al tratto del corso d'acqua, attraverso la definizione delle *fasce fluviali di dinamica morfologica*.

Sono stati sviluppati pertanto tre **strumenti di classificazione ed analisi della dinamica morfologica** che differiscono tra di loro per le scale spazio-temporali di indagine e per la loro struttura:

- (1) *Indice di Dinamica Morfologica (IDM)*: valuta le condizioni di dinamica morfologica alla media - lunga scala temporale, dando particolare enfasi alle variazioni morfologiche passate ed in particolar modo alle tendenze attuali di evoluzione.
- (2) *Classificazione di Dinamica di Evento (CDE)*: vengono valutate le condizioni di dinamica morfologica alla scala dell'evento di piena, considerando gli indicatori che hanno maggior peso a tale scala ed i fattori locali di ostruzione dei flussi liquidi e solidi (strutture di attraversamento).
- (3) *Fasce fluviali di dinamica morfologica*: comprendono l'area legata alla dinamica di un corso d'acqua, area che pertanto include l'attuale alveo del corso d'acqua e le aree ad esso adiacenti che possono essere interessate dalla dinamica laterale.

I campi tipici di applicazione di tali strumenti si diversificano a seconda della tipologia di corso d'acqua (confinato, semiconfinato o non confinato), come riepilogato in [Tabella 8.1](#). L'*IDM* e le *fasce fluviali* si applicano preferibilmente agli alvei semiconfinati e non confinati, dato che numerosi indicatori riguardano i processi di mobilità laterale. Non è tuttavia da escludere una loro applicazione anche al caso di alvei confinati dove siano presenti porzioni seppur limitate di pianura.

L'*IDM* e la *CDE* sono utili sia ai fini della valutazione della pericolosità da dinamica morfologica che di quella da esondazione, in quanto, per quest'ultimo aspetto, permettono di identificare quei tratti dove sono necessarie modellazioni idrauliche e morfodinamiche che tengano in considerazione un'elevata dinamicità dell'alveo, ossia la variabilità del contorno fisico del corso d'acqua. Le *fasce fluviali di dinamica morfologica* si integrano con la zonazione delle aree inondabili in modo da ottenere una zonazione della pericolosità più completa, ed hanno inoltre una valenza anche ai fini della definizione di azioni di miglioramento della qualità morfologica, in quanto possono contribuire, attraverso azioni di pianificazione, sia alla preservazione di tratti con buone caratteristiche morfologiche che al miglioramento della funzionalità morfologica (si veda [CAPITOLO 11](#)).

Tabella 8.1 – Tipici campi di applicazione degli strumenti di valutazione ed analisi della dinamica morfologica. IDM e fasce fluviali sono comunque applicabili anche ai tratti confinati.

TIPOLOGIA DI CORSO D'ACQUA	IDM	CDE	FASCE FLUVIALI
Confinato		✓	
Semiconfinato	✓	✓	✓
Non confinato	✓	✓	✓

8.3 L'Indice di Dinamica Morfologica (IDM)

La valutazione della dinamica morfologica comprende 3 componenti:

- (1) **Morfologia e processi**. Riguarda le caratteristiche dell'alveo, del fondo, delle sponde, i processi e le tendenze attuali (localizzate e distribuite) manifestate ad una scala temporale degli ultimi 10 – 15 anni.
- (2) **Artificialità**. Considera nel dettaglio le opere che maggiormente condizionano i processi di dinamica morfologica.
- (3) **Variazioni morfologiche**. Si basano sull'analisi delle variazioni avvenute negli ultimi decenni (con particolare riferimento agli anni '50 del XX secolo per le variazioni planimetriche), le quali condizionano la propensione o meno ai vari tipi di pericolosità.

La valutazione complessiva viene effettuata attraverso l'ausilio di apposite **schede di valutazione**, per mezzo delle quali si effettua un'analisi attraverso l'impiego integrato di immagini telerilevate e rilevamenti sul terreno. Le schede si basano sull'utilizzo di una serie di **indicatori**, per ognuno dei quali sono fornite una serie di possibili risposte (in numero variabile). Gli indicatori sono basati su una o più variabili quantitative o qualitative: in genere si tratta della percentuale rispetto alla lunghezza totale del tratto lungo la quale si osservano determinate caratteristiche o processi.

L'analisi di alcuni indicatori planimetrici è effettuata attraverso il confronto in GIS tra immagini telerilevate in anni diversi. Tali indicatori possono essere certamente applicati a corsi d'acqua di grandi dimensioni (larghezze > 30 m), mentre potrebbero non essere applicabili nel caso di corsi d'acqua di dimensioni inferiori per i quali le caratteristiche delle immagini analizzate non permettono di effettuare stime attendibili. Nel caso di risoluzione spaziale delle immagini sufficientemente elevata, le misure possono essere estese anche ai corsi d'acqua con larghezze inferiori ai 30 m.

Nella [Tabella 8.2](#) si riporta la lista completa degli indicatori.

- (1) **Indicatori di morfologia e processi.** Essi partono da aspetti di carattere generale (tipologia d'alveo, materiale che costituisce le sponde ed il fondo); successivamente si prendono in esame i processi di arretramento delle sponde; infine si vanno ad esaminare le tendenze (alla scala degli ultimi 10 – 15 anni) di tipo distribuito della larghezza e del fondo. Alcuni indicatori di **morfologia e processi** includono l'esame degli elementi di artificialità, considerati ad esempio tra i tipi di materiale costituenti il fondo e le sponde.
- (2) **Indicatori di artificialità.** Essi prendono in esame in maniera più specifica gli elementi artificiali, analizzandoli dal punto di vista dei loro potenziali effetti sui processi (es. difese di sponda come impedimento dei processi di arretramento delle sponde). Questa suddivisione, seppure possa apparire parzialmente ridondante rispetto ad alcuni indicatori di morfologia e processi, è ritenuta utile in quanto è possibile successivamente (attraverso opportuni sub-indici) separare le varie componenti e cause che determinano o meno condizioni di dinamica morfologica. Si precisa che il metodo non prevede una valutazione puntuale sullo stato delle opere: quando esse sono presenti all'interno o nelle immediate vicinanze dell'alveo attuale, in assenza di informazioni a riguardo, esse vengono assunte come interferenti con la dinamica morfologica. Esse vengono invece escluse qualora si accerti che non esplicano più la loro funzione di protezione delle sponde o del fondo.
- (3) **Indicatori di variazioni morfologiche.** Le variazioni morfologiche durante gli ultimi decenni sono valutate come indicatori di instabilità, pertanto di dinamica morfologica. Tale instabilità infatti può ancora manifestarsi, con la possibilità che, durante eventi di piena di una certa intensità, possano verificarsi delle modifiche morfologiche verso precedenti configurazioni (ad es., rimodellamento di superfici abbandonate per restringimento dell'alveo).

Tabella 8.2 – Lista degli indicatori per la valutazione dell'*IDM*.

SIGLA	INDICATORE
Morfologia e Processi	
M1	Tipologia d'alveo
M2	Erodibilità delle sponde
M3	Erodibilità del fondo
M4	Processi di arretramento delle sponde
M5	Tendenze di larghezza
M6	Tendenze altimetriche
Artificialità	
A1	Difese di sponda
A2	Opere di rivestimento o consolidamento del fondo
Variazioni morfologiche	
V1	Variazione della configurazione morfologica
V2	Variazioni di larghezza
V3	Variazioni altimetriche

Ogni indicatore viene attribuito, a seconda dei suoi effetti prevalenti, ad una delle due componenti che costituiscono la dinamica morfologica: (1) dinamica verticale; (2) dinamica laterale.

La **dinamica verticale** riguarda tutti gli aspetti connessi con la dinamica morfologica del fondo (erodibilità del fondo, processi di fondo localizzati, tendenze altimetriche, opere di rivestimento o consolidamento, ecc.). La **dinamica laterale** è invece relativa a tutti gli aspetti connessi con

l'arretramento delle sponde e le variazioni di larghezza (erodibilità delle sponde, tendenze di larghezza, difese di sponda, ecc.).

GUIDA ALLE RISPOSTE E COMPILAZIONE DELLE SCHEDE

La **Guida alle risposte**, strumento utile per una più facile e corretta applicazione delle schede, è riportata in [APPENDICE 5](#). Le **Schede** da utilizzare sul terreno vengono riportate in [APPENDICE 6](#). La versione delle **schede in formato elettronico** è disponibile sul sito web di ISPRA.

ATTRIBUZIONE DEI PUNTEGGI E DEFINIZIONE DELL'IDM

In [Tabella 8.3](#) si riporta una sintesi dei punteggi di dinamica morfologica complessiva assegnati ai singoli indicatori.

Tabella 8.3 – Punteggi relativi agli indicatori di Dinamica Morfologica. [DL]: Punteggio attribuito alla Dinamica Laterale; [DV]: Punteggio attribuito alla Dinamica Verticale.

Indicatori		D-	C-	B-	A	B	C	D	E
Morfologia e processi									
M1	Tipologia d'alveo [DL]	-	-	-	0	3	6	10	-
M2	Erodibilità delle sponde [DL]	-	-	-	0	2	4	6	8
M3	Erodibilità del fondo [DV]	-	-	-	0	2	4	6	8
M4	Processi di arretramento delle sponde [DL]	-	-	-	0	2	4	6	8
M5	Tendenze di larghezza [DL]	-	8	4	0	4	8	-	-
M6	Tendenze altimetriche [DV]	-	8	4	0	4	8	-	-
Artificialità									
A1	Difese di sponda [DL]	-	-	-	0	4	8	12	15
A2	Opere rivestimento o consolidamento fondo [DV]	-	-	-	0	4	8	12	15
Variazioni morfologiche									
V1	Variazioni configurazione morfologica [DL]	-	-	-	0	3	5	-	-
V2	Variazioni di larghezza [DL]	-	5	3	0	3	5	-	-
V3	Variazioni altimetriche [DV]	10	6	3	0	3	6	10	-

I principali criteri di attribuzione dei punteggi sono i seguenti:

- Il punteggio complessivo attribuito ad ogni singolo indicatore è un numero intero non negativo.
- Esso è direttamente proporzionale al grado di dinamica (ovvero punteggi maggiori indicano dinamica morfologica maggiore).
- Si utilizza un numero variabile di classi (da un minimo di 3 ad un massimo di 7) a seconda delle esigenze di considerare un numero più o meno elevato di casi. Si utilizzano le lettere da A ad E per indicare le varie classi. I casi in cui si utilizzano le lettere seguite dal segno “+” o “-” (ad es., C-, ..., C+) servono per quegli indicatori in cui esistono variazioni o tendenze di segno opposto rispetto ad una situazione di equilibrio (ad es. “-” per incisione e “+” per sedimentazione). I segni dei punteggi rimangono sempre ≥ 0 .
- I punteggi sono stati differenziati in funzione dell'importanza relativa attribuita ad ogni indicatore e tengono inoltre conto del peso che si attribuisce ad ognuna delle tre categorie (Morfologia e processi, Artificialità e Variazioni) sul punteggio complessivo (secondo quanto deducibile dalla [Tabella 8.4](#)).

Tabella 8.4 – Riepilogo dei massimi punteggi per le principali tipologie. *P* = corsi d'acqua di piccole dimensioni per i quali non è possibile applicare gli indicatori basati su misure condotte su immagini telerilevate; *G* = corsi d'acqua di dimensioni medio-grandi per i quali è possibile applicare tutti gli indicatori.

Dimensioni	Morfologia e processi	Artificialità	Variazioni morfologiche	Massimo punteggio
<i>P</i>	34	30	10	74
<i>G</i>	50		20	100

Per quanto riguarda la valutazione finale, come riportato in dettaglio nella Guida alle risposte, si definisce un **Indice di Dinamica Morfologica (IDM)** come rapporto tra punteggio totale (*P_{tot}*) e punteggio massimo (*P_{max}* = 100 – *P_{na}*, dove *P_{na}* è la somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati). Tale indice assume valore pari a 0 per un corso d'acqua completamente privo di dinamica morfologica e pari ad 1 nel caso di massima dinamica. Sulla base dei valori dell'*IDM*, sono state definite le **classi di dinamica morfologica** secondo quanto specificato in [Tabella 8.5](#). La classe di dinamica morfologica più alta comprende quei casi in cui, oltre a condizioni di elevata dinamica (elevata energia, elevata erodibilità delle sponde, ecc.), esista una rilevante instabilità dell'alveo, verificatasi nel passato e/o durante gli ultimi 10-15 anni. La classe più bassa invece si identifica con quei casi di forte stabilità morfologica, associata normalmente a condizioni di bassissima energia, e/o di forte controllo artificiale.

Tabella 8.5 – Classi e relativi punteggi dell'Indice di Dinamica Morfologica.

IDM	CLASSE DI DINAMICA MORFOLOGICA
$0.0 \leq IDM < 0.2$	Molto bassa (per elevata stabilità o controllo artificiale)
$0.2 \leq IDM < 0.4$	Bassa
$0.4 \leq IDM < 0.6$	Media
$0.6 \leq IDM < 0.8$	Elevata
$0.8 \leq IDM \leq 1.0$	Molto elevata (per rilevante instabilità)

La **fase di test**, finalizzata all'applicabilità dei singoli indicatori, dei relativi punteggi e alla verifica delle classi e punteggi finali dell'*IDM*, è stata finora condotta su alcuni casi di studio (T. Aurino, F. Rienza, F. Tagliamento, F. Fella, F. Magra) ed è tuttora in corso su altri corsi d'acqua in modo da disporre di un campione sufficientemente rappresentativo della varietà di ambiti fisiografici e morfologie fluviali presenti nel contesto italiano.

DEFINIZIONE DEI SUB-INDICI

Per la sua struttura in categorie e suddivisione dei punteggi nelle varie componenti di dinamica morfologica, è possibile calcolare diversi **sub-indici**, come definiti di seguito, utili per meglio identificare le criticità di un tratto.

1. SUB-INDICE DI DINAMICA LATERALE

$$SDL = P_{DL\ tot}/P_{max}$$

dove:

P_{DL tot} = somma dei punteggi parziali relativi agli indicatori di dinamica laterale, ovvero *M1*, *M2*, *M4*, *M5*, *A1*, *V1* e *V2*

P_{max} = *Max(P_{tot})* - *P_{na}*

Max(P_{tot}) = somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori

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

2. SUB-INDICE DI DINAMICA VERTICALE

$$SDV = P_{DV\ tot}/P_{max}$$

dove:

$P_{DV\ tot}$ = somma dei punteggi parziali relativi agli indicatori di dinamica verticale, ovvero M3, M6, A2 e V3

$$P_{max} = \text{Max}(P_{tot}) - P_{na}$$

$\text{Max}(P_{tot})$ = somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori

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

Si noti che $SDL + SDV = IDM$.

3. SUB-INDICE DI MORFOLOGIA E PROCESSI

$$IDM_M = P_M\ tot/P_{max}$$

dove:

$P_M\ tot$ = somma dei punteggi parziali relativi agli indicatori di Morfologia e Processi

$$P_{max} = \text{Max}(P_{tot}) - P_{na}$$

$\text{Max}(P_{tot})$ = somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori

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

4. SUB-INDICE DI ARTIFICIALITÀ

$$IDM_A = P_A\ tot/P_{max}$$

dove:

$P_A\ tot$ = somma dei punteggi parziali degli indicatori di Artificialità

$$P_{max} = \text{Max}(P_{tot}) - P_{na}$$

$\text{Max}(P_{tot})$ = somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori

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

5. SUB-INDICE DI VARIAZIONI MORFOLOGICHE

$$IDM_V = P_V\ tot/P_{max}$$

dove:

$P_V\ tot$ = somma dei punteggi parziali degli indicatori di Variazioni morfologiche

$$P_{max} = \text{Max}(P_{tot}) - P_{na}$$

$\text{Max}(P_{tot})$ = somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori

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

Si noti che $IDM_M + IDM_A + IDM_V = IDM$.

6. SUB-INDICE DI ESONDAZIONE INDOTTA

Oltre ai precedenti sub-indici che scaturiscono dai punteggi riportati sulle schede, viene inoltre effettuata una valutazione della possibilità di **esondazione indotta** dalla dinamica morfologica, basata su punteggi definiti indipendentemente da quelli di dinamica laterale e verticale. Tale sub-indice esprime gli effetti potenziali che i processi di dinamica morfologica possono avere sulle condizioni di esondazione. Non viene invece valutata la pericolosità di esondazione in senso stretto, in quanto essa dipende dalle condizioni idrauliche del tratto, non prese in esame in questa analisi. I punteggi parziali di esondazione indotta attribuiti ai soli indicatori significativi per questo sub-indice sono riportati in [Tabella 8.6](#). Essi sono numeri interi ma possono essere anche negativi, essendo proporzionali all'incremento o riduzione di possibilità di esondazione indotta dalla dinamica morfologica (valori negativi indicano che un determinato processo o elemento artificiale determina una riduzione delle condizioni di esondazione indotta).

Dato il numero ridotto di indicatori, è possibile valutare tale sub-indice solo nel caso in cui siano stati applicati tutti e quattro gli indicatori previsti. Il sub-indice, pertanto, **si applica solo al caso di alvei sufficientemente grandi**, tali da poter valutare gli indicatori basati su misure da immagini telerilevate (M5 e V2) e laddove esistano informazioni/evidenze tali da consentire l'applicazione degli indicatori M6 e V3.

Si riportano di seguito i criteri di massima utilizzati per l'attribuzione dei punteggi:

- Un restringimento (passato o attuale) viene valutato come un aumento delle possibilità di esondazione indotta (valori positivi) in quanto la sezione bagnata diminuisce. Viceversa, un allargamento è valutato con punteggi negativi in conseguenza dell'aumento di sezione bagnata.
- Un abbassamento della quota del fondo (passato o attuale) viene valutato come una riduzione delle possibilità di esondazione indotta (valori negativi), e viceversa nel caso di sedimentazione (valori positivi).
- Si attribuisce un peso maggiore alle tendenze attuali (*M5* ed *M6*) rispetto alle variazioni passate (*V2* e *V3*).

Il sub-indice complessivo intende quindi esprimere, in maniera semplificata e qualitativa, un bilancio tra fattori di aumento e di riduzione delle condizioni di esondazione indotta. Ad esempio, un valore positivo del sub-indice indicherebbe che i processi di dinamica morfologica potrebbero aver indotto un aumento delle condizioni di esondazione indotta. Esso pertanto fornisce un'indicazione di massima sulle possibili conseguenze della dinamica morfologica sui processi di esondazione, propedeutica ad una quantificazione più rigorosa basata su analisi di tipo idraulico.

Tabella 8.6 – Punteggi relativi al sub-indice di Esondazione Indotta.

INDICATORI		D-	C-	B-	A	B	C	D	E
Morfologia e processi									
<i>M5</i>	Tendenze di larghezza	-	5	3	0	-3	-5	-	-
<i>M6</i>	Tendenze altimetriche	-	-5	-3	0	3	5	-	-
Variazioni morfologiche									
<i>V2</i>	Variazioni di larghezza	-	3	2	0	-2	-3	-	-
<i>V3</i>	Variazioni altimetriche	-3	-2	-1	0	1	2	3	-

Il **SUB-INDICE DI ESONDAZIONE INDOTTA** si definisce quindi come segue:

$$SEI = P_{EI\ tot}/P_{max}$$

dove:

P_{EI tot} = somma dei punteggi parziali relativi all'esondazione indotta

P_{max} = 16 (somma dei punteggi massimi di tutti gli indicatori).

8.4 La Classificazione di Dinamica di Evento (CDE)

La determinazione della pericolosità potenziale derivante da processi di dinamica morfologica, alla scala temporale del singolo evento di piena, presenta notevoli differenze rispetto al caso della dinamica a scale temporali maggiori analizzate tramite l'*IDM*. In particolare, l'utilizzo di un sistema euristico di valutazione a punteggi, sebbene con approccio non lineare, non appare adeguato. Si ritiene più opportuno cercare di guidare l'identificazione dei tratti a potenziale pericolosità "morfologica" tramite un percorso logico basato su alcuni indicatori che rilevano su due o più livelli l'attitudine di un tratto ad essere soggetto a modifiche drastiche del suo assetto plano-altimetrico nel corso di un singolo evento di piena. Inoltre, negli alvei confinati le variazioni storiche occorse nel tratto (sia passate che recenti) sono spesso di lieve entità (per la presenza di substrato stabile e corazzato) o comunque di difficile valutazione, data la dimensione laterale (larghezza) contenuta e la frequente assenza di monitoraggio topografico tramite sezioni trasversali, disponibile in genere su corsi d'acqua di dimensioni maggiori. Di conseguenza, vengono presi in esame soltanto indicatori sullo stato attuale del bacino/tratto. Infatti, gli alvei montani confinati presentano notevoli difficoltà nella valutazione della loro dinamica morfologica in quanto possono rimanere stabili per decenni, dato che le portate liquide, solide e di materiale legnoso che possono creare variazioni alla configurazione geometrica del sistema (per erosione, sedimentazione, occlusione) si manifestano spesso soltanto con tempi di ritorno elevati (>30-50 anni), quindi non permettendo di inferire facilmente a quali variazioni un tratto sarà soggetto per un determinato evento.

In aggiunta, la forte dipendenza tra dinamica d'alveo e dei versanti in questi corsi d'acqua (si tratta spesso di tratti il cui trasporto solido è limitato dall'alimentazione di sedimento e non dalla capacità di trasporto generalmente elevata), rende ancora più stocastica la risposta morfologica di un certo tratto rispetto al caso di alvei non confinati (a bassa pendenza e quindi non corazzati), dove si può spesso assumere che l'entità del trasporto solido e quindi la sua dinamica morfologica sia una funzione continua (di potenza) della portata liquida. Il verificarsi o meno di rilevanti processi gravitativi di versante connessi con il reticolo idrografico a monte o nel tratto stesso può quindi cambiare drasticamente (in termini anche di incisione o deposizione) la variazione morfologica di un tratto. Per queste ragioni si preferisce puntare a classificare i tratti secondo 4 categorie di dinamica morfologica senza l'attribuzione di punteggi che suggerirebbero invece la capacità di determinare aspetti per i quali non si hanno le informazioni necessarie.

8.4.1 Definizione di “evento”

Per “evento” viene qui inteso un fenomeno di elevata magnitudo e quindi di bassa probabilità di accadimento. L'ordine di grandezza è assimilabile a quello degli eventi di maggior magnitudo tra quelli considerati comunemente nella mappatura della pericolosità, ovvero con tempi di ritorno idrologici (basati sulla frequenza della precipitazione causa dell'evento) >100 anni. Tuttavia, data l'enorme incertezza insita nelle analisi statistiche di intensità-frequenza degli eventi di piena, soprattutto in bacini dove le osservazioni idrologiche siano scarse o assenti, si ritiene che l'entità da considerare per la “classificazione di dinamica di evento” (*CDE*) sia da valutarsi anche con l'ausilio dell'indagine storica degli eventi passati, che per il territorio italiano risultano in generale ben documentati (seppure in maniera qualitativa e localmente lacunosa, vedasi il caso di piccoli bacini montani scarsamente abitati) a partire almeno dal XVI - XVII secolo. In particolare, la descrizione delle piene maggiori avvenute soprattutto durante gli ultimi 100-150 anni (ovvero dal XIX secolo) potrà fornire delle utili indicazioni soprattutto per comprendere la dinamica morfologica associata a tali eventi estremi. Una tale analisi storica non deve ovviamente dimenticare che notevoli sono le variazioni occorse nei bacini idrografici dal XIX secolo ad oggi ([COMITI, 2012](#)), sia per cause naturali (la “Piccola Età Glaciale” si ritiene conclusa attorno alla metà del XIX secolo, ma i suoi effetti sulla produzione di sedimento si sono manifestati probabilmente fino ai primi decenni del XX secolo) che antropiche, soprattutto a partire dai primi decenni del XX secolo (riforestazione naturale ed artificiale in montagna, bonifica idraulica dei fondovalle, sistemazioni idrauliche dei corsi d'acqua, invasi artificiali). Tutti questi cambiamenti hanno molto probabilmente comportato delle variazioni nella relazione tra magnitudo (intesa come portata liquida e solida) e frequenza degli eventi di piena nei bacini idrografici ([SCHMOCKER-FACKEL & NAEF, 2010](#)).

Tuttavia, allo stato attuale delle conoscenze non è possibile determinare l'entità di tali variazioni idrologiche, che potrebbero essere state modeste in alcuni bacini e rilevanti in altri a seconda delle loro caratteristiche fisiografiche e di uso del suolo. In aggiunta, dovendo per la *CDE* immaginare un evento di piena “di riferimento” che potrebbe accadere magari soltanto una volta nei futuri 100-200 anni, si dovrebbe affrontare il tema di come il cambiamento climatico, in atto e previsto per i prossimi decenni, possa modificare la relazione magnitudo-frequenza delle precipitazioni estreme, per il quale ancora non si dispone di modellazioni affidabili alle relativamente modeste scale spaziali di interesse per i bacini idrografici italiani. Si capisce quindi come, di fronte a tanta incertezza sugli scenari sia passati che futuri, gli eventi storici realmente accaduti (e documentati) risultino comunque dei punti fermi irrinunciabili per la comprensione – e quindi per la possibile previsione – dei processi di trasporto solido (inteso sia come sedimento che materiale legnoso) durante fenomeni di elevata magnitudo, ovvero estremi.

In alternativa, qualora per un certo bacino non siano disponibili notizie su eventi passati oppure le variazioni occorse dal loro verificarsi siano considerevoli, può risultare utile lo studio dei fenomeni di piena avvenuti in bacini attigui a quello di studio e paragonabili ad esso per caratteristiche idrologiche, geologiche e morfometriche. Questo confronto è spesso il più comunemente perseguibile nei bacini di piccole dimensioni o comunque laddove nel passato non esistevano insediamenti importanti e di conseguenza scarsa era la copertura informativa.

Infine, gli eventi considerati nella presente metodologia includono processi di trasporto solido aventi reologia sia di tipo “newtoniano” che “non-newtoniano”, ovvero possono anche essere caratterizzati da elevate concentrazioni di sedimento come spesso avviene in alvei ad elevata pendenza in ambito montano.

8.4.2 Scopo della CDE

La classificazione della dinamica di evento (*CDE*) intende sintetizzare l'attitudine di un certo tratto di reticolo idrografico a manifestare delle variazioni del contorno fisico del flusso in risposta ai processi di trasporto di sedimento e di materiale legnoso attesi per l'evento di riferimento. Tali variazioni possono essere sia morfologiche in senso stretto, ovvero dovute alla dinamica del trasporto di sedimenti (cambiamenti di forma e dimensione delle sezioni trasversali, variazioni del profilo longitudinale, migrazione nello spazio delle posizioni assolute delle sponde dell'alveo, processi di avulsione), che inerenti il contorno complessivo dell'alveo, includendo quindi anche eventuali accumuli di materiale legnoso che possano determinare modifiche alla capacità di portata (*channel conveyance* o "conduttanza" idraulica) del tratto.

Tali variazioni morfologiche si presentano ad una scala temporale molto breve quale è quella dell'evento, tipicamente dell'ordine dei minuti o delle ore per la maggior parte dei bacini idrografici italiani che presentano dimensioni relativamente ridotte. Nonostante il breve lasso di tempo durante il quale avvengono, tali variazioni dell'alveo (ovvero delle "condizioni al contorno" del flusso liquido usando una terminologia modellistica) possono essere di entità notevole e sono spesso la principale causa di pericolosità idraulica, come dimostrano praticamente tutti gli eventi di piena occorsi nel recente passato in Italia. All'interno di tali variazioni ricadono anche i cedimenti di strutture di difesa idraulica quali opere trasversali (briglie), scogliere ed argini, i quali seppure progettati per resistere per eventi estremi (ovvero dello stesso ordine di grandezza dell'evento di riferimento per la *CDE*) possono collassare a seguito di vetustà, scarsa qualità o manutenzione inadeguata.

Oltre alle variazioni morfologiche in senso stretto, si è detto che la *CDE* intende valutare anche la possibilità che si verifichino variazioni di capacità di portata (ovvero variazioni di area bagnata e/o di scabrezza idraulica) le quali anche se localizzate possono generare grandi conseguenze in termini di aree inondate, fino a determinare vere e proprie avulsioni (ossia modifiche sostanziali nel tracciato del corso d'acqua). Questi fenomeni si realizzano tipicamente a seguito dell'occlusione di luci di attraversamenti (ponti, tombinature) ma anche di sezioni trasversali naturalmente ridotte, primariamente da parte di materiale legnoso, con spesso la successiva partecipazione del sedimento trasportato al fondo. Nei piccoli alvei montani, le occlusioni di tombinature possono anche essere dovute solamente a processi di trasporto di sedimento molto grossolano.

È importante evidenziare come la *CDE* non intenda valutare il verificarsi o meno di esondazioni (e delle loro caratteristiche) per valori di portata liquida e solida associati a diversi tempi di ritorno, obiettivi perseguibili primariamente tramite modelli numerici idrodinamici (a fondo fisso) e morfodinamici (a fondo mobile). Un primo scopo della *CDE* è di identificare i tratti dove i processi di variazione del contorno fisico dell'alveo siano ritenuti più rilevanti, al fine di eseguire modellazioni idrauliche e morfodinamiche più aderenti alla realtà dell'evento previsto e di valutarne criticamente i risultati. Infatti allo stato attuale non esistono modelli numerici capaci di simulare adeguatamente tali variazioni, includendo inoltre il cedimento di strutture e le occlusioni. L'analisi condotta con la *CDE* porterà ad identificare seppur in maniera semplificata gli scenari di evento più probabili ([MAZZORANA et al., 2012, 2013](#)), e quindi sarà funzionale alla simulazione – tramite modelli numerici – di condizioni al contorno differenti al fine di valutare il ruolo delle variazioni previste durante l'evento. Se quindi per la valutazione dei processi di esondazione è necessaria una modellazione numerica, il *CDE* rappresenta lo strumento geomorfologico per l'individuazione delle porzioni di reticolo idrografico dove la dinamica d'alveo può risultare particolarmente elevata alla scala temporale dell'evento di piena.

Oltre a consentire una più efficace modellazione idraulica e quindi previsione dei processi di esondazione, la *CDE* ha lo scopo di fornire indicazioni relative alla pericolosità geomorfologica, comunemente non considerata nella definizione del rischio idraulico. La pericolosità derivante dalla dinamica d'alveo (ad esempio forti arretramenti delle sponde o erosione al piede dei versanti con innesco di fenomeni gravitativi) è certamente rilevante in molti contesti, e in alcuni più rilevante della pericolosità da esondazione (ad esempio in corsi d'acqua di piccole-medie dimensioni in ambito montano-collinare). Anche in contesti dove generalmente l'aspetto idraulico risulta più rilevante, ad esempio in tratti di pianura arginati, il *CDE* può fornire utili indicazioni sulla probabilità che il manufatto arginale, se sprovvisto di adeguate opere di protezione, possa essere danneggiato a causa della dinamica plano-altimetrica dell'alveo. Tuttavia, è importante sottolineare che il *CDE* non analizza la probabilità dei collassi arginali, eventi che molto frequentemente determinano estese

inondazioni in aree di pianura ma che richiedono valutazioni anche di tipo geotecnico. Per queste, si rimanda alle metodologie specificamente sviluppate allo scopo ([VIERO et al., 2013](#); [DOMENEGHETTI et al., 2013](#)).

8.4.3 Valutazione della CDE

La classificazione della dinamica di evento lungo un tratto viene determinata tramite una procedura guidata che consta di due fasi: (i) valutazione delle variazioni morfologiche attese durante l'evento (con due procedure distinte per tratti confinati/semiconfinati e tratti non confinati); (ii) valutazione della probabilità che si verifichino occlusioni in corrispondenza di sezioni critiche da parte di materiale legnoso (procedura unica per tutte le tipologie). L'incrocio delle due fasi di valutazione porta alla determinazione della classe di dinamica di evento secondo la [Tabella 8.7](#) (4 classi).

Tabella 8.7 – Classificazione della Dinamica di Evento (4 classi, da “molto elevata” a “bassa”) ottenuta in base all'incrocio tra entità delle variazioni morfologiche e probabilità che si verifichino occlusioni principalmente ad opera del materiale legnoso.

		Probabilità occlusioni	
		Alta (A)	Bassa (B)
Entità variazioni morfologiche	Molto forti (I)	Molto elevata	Molto elevata
	Forti (II)	Molto elevata	Elevata
	Medie (III)	Elevata	Intermedia
	Lievi (IV)	Intermedia	Bassa

Analogamente all'*IDM*, sono state messe a punto una serie di schede che possono servire da supporto e da promemoria della procedura di valutazione della *CDE*. La **Guida alle risposte** è riportata in [APPENDICE 7](#), mentre le **Schede** vengono riportate nelle [APPENDICE 8](#) ed [APPENDICE 9](#), rispettivamente per alvei confinati / semiconfinati e per alvei non confinati.

8.4.4 Classificazione dei tratti

La classificazione dei diversi tratti del reticolo idrografico secondo la loro attitudine a manifestare delle variazioni nella geometria del flusso di piena viene operata attribuendo ciascun tratto ad una delle seguenti **4 classi di “dinamica di evento”**:

- (1) **Molto elevata**: un tratto viene classificato a dinamica di evento molto elevata se presenta delle variazioni morfologiche attese “molto forti” (p.e. avulsioni e forti allargamenti, fenomeni di instabilità di versante o di forte apporto solido dagli affluenti) oppure se queste siano ritenute “forti” (vedi sotto) ma lungo il tratto vi sia alta probabilità che si verifichino occlusioni di sezioni da parte del trasporto intenso di materiale legnoso. Variazioni morfologiche classificabili come “molto forti” sono in genere possibili soltanto su alvei a pendenza sostenuta (>1%) in ambito montano e collinare, mentre i fenomeni di occlusione possono essere sufficienti ad indurre esondazioni ed avulsioni di grande rilevanza – in termini di estensione, rapidità ed impatto che non si sarebbero realizzate altrimenti per una certa tipologia d'alveo. Tale livello massimo di dinamica di evento descrive i casi nei quali ci si attende che gran parte del flusso venga deviato rapidamente al di fuori dell'alveo stesso da frane, colate detritiche e intenso trasporto solido al fondo, a causa di forte sedimentazione o accumuli di legname (e sedimento) per intercettazione da parte di opere di attraversamento.

-
- (2) **Elevata:** un tratto viene definito a dinamica di evento “elevata” quando le variazioni morfologiche nel tratto sono attese di grado “forte” oppure quando le variazioni morfologiche siano di carattere “medio” ma vi sia una “alta” probabilità di occlusioni. Variazioni morfologiche classificabili come “forti” sono da attendersi in alvei ad energia relativamente elevata (identificabili in linea di massima con tratti aventi pendenze $> 0.2\% - 0.3\%$) e quindi con elevata capacità di trasporto al fondo, anche se in ambito di pianura. In questa classe rientrano tratti per i quali si ritiene molto probabile che l’evento di riferimento comporti notevoli fenomeni di allargamento d’alveo (per ingenti erosioni della piana alluvionale), innalzamento del fondo od incisioni rilevanti per la stabilità delle sponde e dei versanti adiacenti, avulsioni parziali e tagli di meandro.
- (3) **Intermedia:** un tratto viene definito a dinamica di evento “intermedia” quando le variazioni morfologiche sono attese di media entità e vi è bassa probabilità che si verifichino occlusioni, oppure queste ultime sono altamente probabili mentre le variazioni morfologiche sono di lieve entità. Variazioni morfologiche di media entità sono caratteristiche di tratti dove non si attendono processi di avulsione ma soltanto erosioni di sponda (anche se estese per lunghezze rilevanti) e/o variazioni di quota del fondo tali da determinare processi di esondazione indotta (nel caso di sedimentazione) o di crollo localizzate delle sponde (nel caso di incisione).
- (4) **Bassa:** le variazioni morfologiche nel tratto sono attese di lieve entità e vi è una bassa probabilità che si verifichino occlusioni delle sezioni. Non si attendono né processi di avulsione né erosioni di sponda rilevanti (a parte erosioni all’estradosso dei meandri o piccoli arretramenti di sponda locali dell’ordine di pochi metri), e le variazioni di quota del fondo sono tali da non determinare effetti apprezzabili sui processi di inondazione. Si tratta tipicamente di tratti a bassa energia e/o efficacemente sistemati tramite difese di sponda. Nel caso di tratti arginati, la presenza degli argini non può bastare a garantire una “bassa dinamica”, dovendosi valutare la loro resistenza a possibili cedimenti per erosione laterale. I tratti confinati a bassa dinamica di evento non sono numerosi, data la loro tendenziale forte energia, e possono essere identificati come quelli in roccia e con versanti stabili, oppure quelli sistemati efficacemente con opere trasversali e longitudinali. A queste caratteristiche morfologiche si deve aggiungere che tratti a bassa dinamica di evento non devono presentare delle sezioni critiche o comunque non ci si attendono tassi significativi di trasporto di materiale legnoso.

8.4.5 Valutazione dell’entità delle variazioni morfologiche attese

Come già anticipato, la valutazione delle variazioni morfologiche attese durante l’evento di riferimento viene effettuata attraverso due procedure distinte per i) alvei confinati e semiconfinati e ii) alvei non confinati. A differenza dell’IQM dove la valutazione accorpa gli alvei semiconfinati a quelli non confinati, per il CDE è più opportuno assimilare i semiconfinati ai confinati in virtù della rilevanza dell’interazione con i processi di versante in termini di dinamica di evento “estremo”, che avviene per entrambe le categorie. La valutazione della probabilità di occlusioni invece è unica per tutte le tipologie e verrà presentata al [paragrafo 8.4.6](#).

Entrambe le valutazioni si attuano attraverso “percorsi guidati” dove l’operatore deve scegliere tra due o più risposte possibili per ogni quesito, ed i percorsi sono organizzati in modo da “far uscire” l’operatore con la classe di variazione morfologica (da I a IV) nella maniera più speditiva possibile, ovvero ponendo all’inizio della procedura i quesiti che possono portare a classificare un tratto direttamente come soggetto alla condizione peggiore senza necessità di approfondimenti ulteriori.

Per ogni quesito/indicatore nella Guida alle risposte viene fornita una breve descrizione del processo analizzato e delle modalità possibili per rispondere correttamente. L’approccio generale della metodologia CDE è di lasciare un certo margine di libertà all’operatore per la risposta ai quesiti, fornendogli indicazioni sull’utilizzo di strumenti diversi a seconda delle informazioni, dei tempi e delle risorse disponibili. Pur adottando strumenti diversi, l’operatore deve comunque seguire l’ordine della procedura proposto ed attribuire le classi di variazione morfologica previste.

ALVEI CONFINATI E SEMICONFINATI

Il diagramma di flusso riportato in [Figura 8.1](#) illustra schematicamente la procedura guidata di valutazione dell’entità delle variazioni morfologiche attese per gli alvei confinati e semiconfinati.

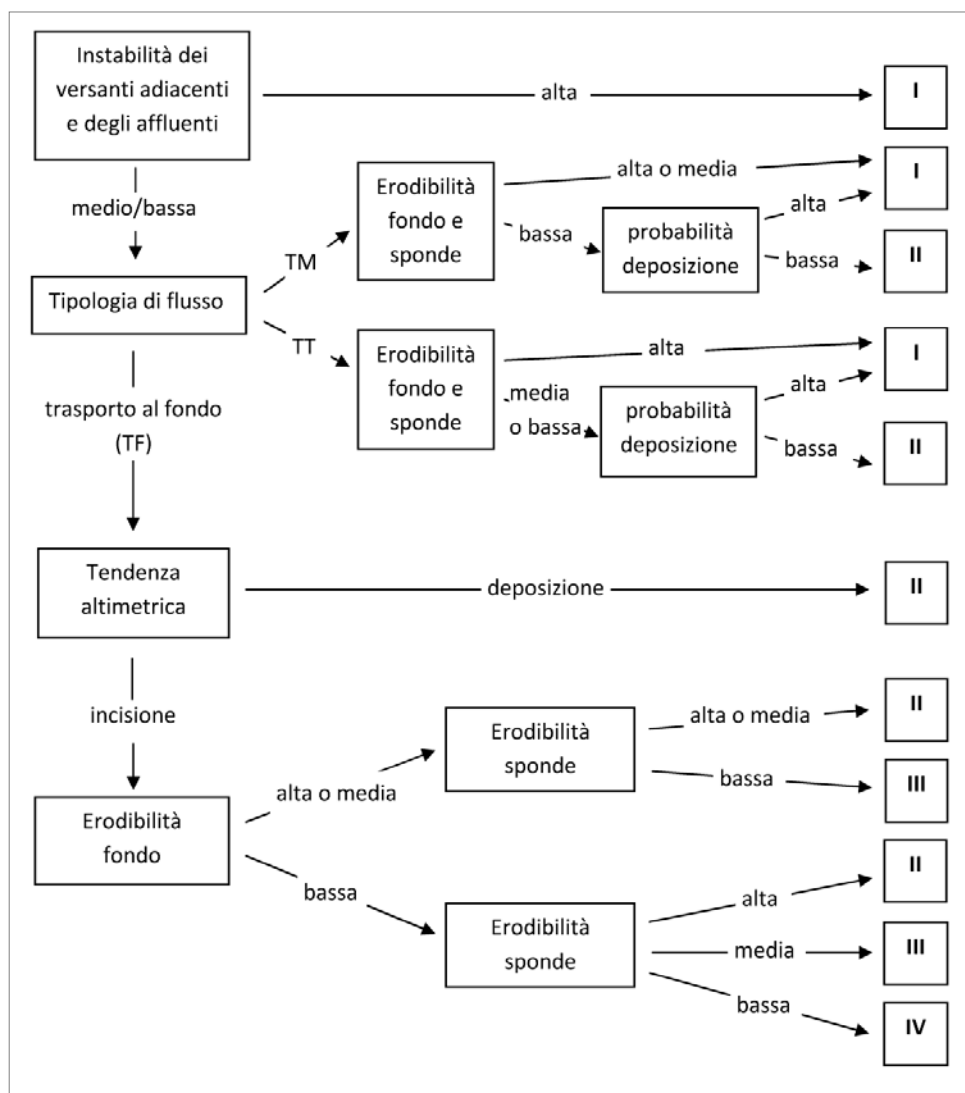


Figura 8.1 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle variazioni morfologiche (*Fase 1*) in tratti confinati e semiconfinati.

ALVEI NON CONFINATI

Per valutare l'entità delle variazioni morfologiche attese nel caso di **alvei non confinati** si utilizza uno schema di valutazione simile a quello predisposto per alvei confinati e semiconfinati, ma con l'importante differenza che non si valuta l'"instabilità dei versanti e degli affluenti". Infatti, gli effetti di tale instabilità sono nella maggior parte dei casi di scarso significato per un alveo non confinato, anche se, in qualche raro caso (ad es., grandi eventi di frana) e con probabilità di accadimento molto bassa, potrebbe verificarsi un'interferenza fra instabilità dei versanti e dinamica d'alveo anche in un tratto non confinato. Inoltre, la "tipologia di flusso" deve essere analizzata soltanto nel caso di tratti su conoidi, essendo gli alvei non confinati di pendenza modesta caratterizzati, generalmente, da trasporto al fondo. Un aspetto aggiuntivo rispetto ai tratti confinati e semiconfinati sono le "avulsioni e tagli di meandro", fenomeni di grande rilevanza nel contesto di alvei non confinati. Infine, per valutare la dinamica di evento in tratti non confinati si fa ricorso in alcuni casi agli indicatori utilizzati per definire l'indice di dinamica morfologica (*IDM*), anche se non sempre sono necessarie le stesse osservazioni e misure definite per tali indicatori. È auspicabile quindi che la valutazione dell'*IDM* preceda la valutazione per la dinamica di evento di alvei non confinati.

Nell'ambito degli alvei non confinati si è ritenuto di trattare a parte i **conoidi** in quanto su queste morfologie si possono verificare condizioni di flusso più diversificate (dal trasporto al fondo alle colate detritiche) rispetto alle altre situazioni di non confinamento. Per tale ragione i conoidi vengono esaminati in questa parte riguardante gli alvei non confinati, ma con una procedura specifica.

Il diagramma di flusso riportato in [Figura 8.2](#) illustra schematicamente la procedura guidata di valutazione dell'entità delle variazioni morfologiche attese per gli alvei non confinati.

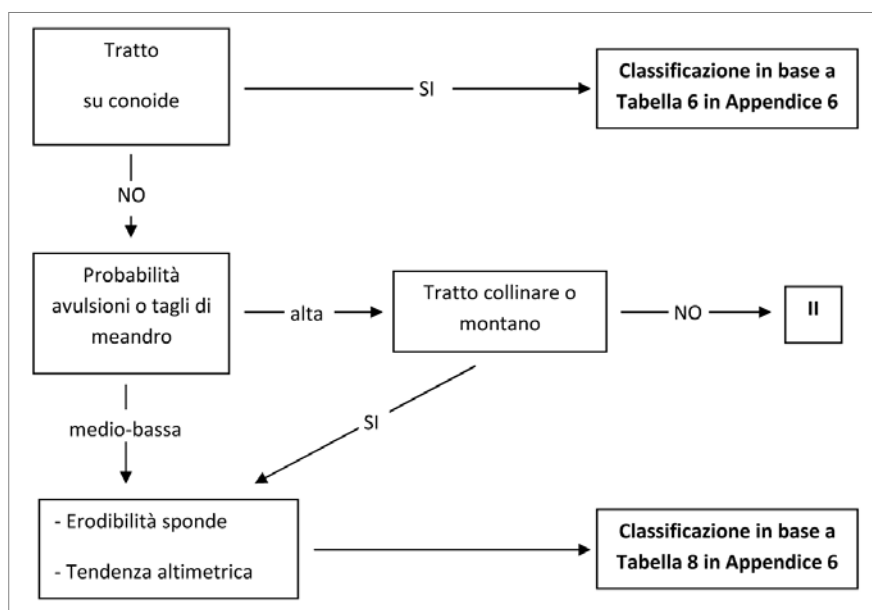


Figura 8.2 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle variazioni morfologiche (Fase 1) in tratti non confinati.

8.4.6 Valutazione della probabilità di occlusioni

Il diagramma di flusso riportato in [Figura 8.3](#) illustra schematicamente la procedura guidata di valutazione della probabilità di occlusioni (A: alta probabilità; B: bassa probabilità) da applicarsi a tutte le tipologie di alveo.

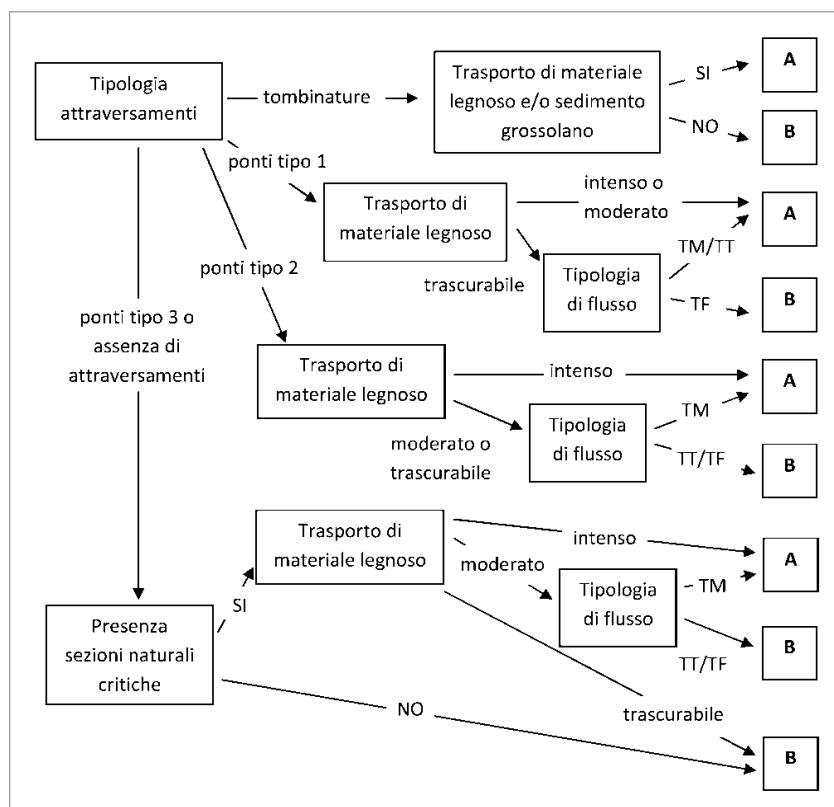


Figura 8.3 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle probabilità da occlusioni (Fase 2) (per tutte le tipologie di alveo).

8.5 Le fasce fluviali di dinamica morfologica

L'analisi della dinamica d'alveo necessita di essere integrata attraverso un'analisi areale (ovvero bidimensionale), in quanto *IDM* e *CDE* rappresentano approcci lineari (monodimensionali) che portano ad una quantificazione (*IDM*) e classificazione (*CDE*) della dinamica di un certo tratto fluviale, ma non alla mappatura delle zone che possono essere interessate dalla dinamica d'alveo. Le "fasce fluviali di dinamica morfologica" rappresentano quindi il terzo tassello per definire la dinamica morfologica di un corso d'acqua in *IDRAIM* ([Tabella 8.1](#)).

In generale, una fascia fluviale di dinamica morfologica corrisponde all'area legata alla dinamica di un corso d'acqua, area che pertanto comprende l'attuale alveo e le aree ad esso adiacenti che sono state o che potranno essere interessate dalla sua dinamica laterale. Nel definire le fasce di dinamica morfologica è necessario fare riferimento a determinati intervalli temporali ed ad eventi di piena di determinata frequenza attesa. Ad esempio, per quanto riguarda la ricostruzione della dinamica passata si possono prendere come riferimento gli ultimi 50-60 anni, oppure intervalli temporali più lunghi (ad es., gli ultimi 100 o 200 anni). Per quanto riguarda gli eventi di piena va considerato che la dinamica futura potrà essere determinata sia da eventi formativi di differente magnitudo, ma comunque relativamente frequenti, che da eventi di elevata magnitudo con bassa probabilità di accadimento (ad es., tempi di ritorno > 100 anni). Tale zonazione, se da una parte concorre a definire la pericolosità geomorfologica di una determinata area, dall'altra può essere utilizzata come riferimento per conservare o migliorare la funzionalità geomorfologica e la qualità ecologica del corso d'acqua.

8.5.1 Rassegna di approcci analoghi alla fascia fluviale di dinamica morfologica

Il concetto di fascia fluviale di dinamica morfologica non è nuovo e negli ultimi vent'anni, seppur utilizzando terminologie differenti, è stato sviluppato ed applicato sia in Italia (ad esempio [DUTTO, 1994](#); [GOVI & TURITTO, 1994](#), [BARUFFI et al., 2004](#), [RINALDI et al., 2009](#)) che in altri paesi, soprattutto in Francia ([MALAVOI et al., 1998](#)). In Italia si è spesso utilizzato negli ultimi anni il termine "fascia di pertinenza fluviale", che [GOVI & TURITTO, 1994](#) descrivono nel seguente modo: "all'esterno dell'alveo stesso si sviluppa una fascia più o meno ampia che risente degli effetti della dinamica fluviale in termini idraulici, morfologici e biologici"; [...] "la fascia di pertinenza fluviale non corrisponde necessariamente al campo di massima inondazione; le due aree possono spesso coincidere lungo gli alvei pluricursali, ma la seconda può risultare molto più estesa della prima lungo i corsi d'acqua unicursali, soprattutto nel caso di rotte arginali". Pur essendo la fascia fluviale di dinamica morfologica molto simile al concetto di fascia di pertinenza fluviale, si è preferito definire un nuovo termine in quanto le fasce di pertinenza fluviale sono state definite in passato anche attraverso differenti approcci (es. approcci idraulici).

Dall'analisi bibliografica svolta su approcci simili alla fascia fluviale di dinamica morfologica ([Tabella 8.8](#)) si possono trarre le seguenti considerazioni: (1) La metodologia più largamente utilizzata è quella che si basa sull'analisi storica, attraverso l'impiego di immagini telerilevate e di cartografia storica. La modellazione morfodinamica, citata in alcuni lavori, può essere di supporto, ma attualmente ha ancora alcune limitazioni, sia in termini previsionali che di applicabilità su grande scala (si veda [CAPITOLO 10](#)); (2) può essere definita un'unica fascia o più fasce, a seconda dell'intervallo temporale che si intende esaminare e delle finalità della zonazione. In pratica, volendo realizzare una previsione della mobilità laterale nel medio termine si può definire un'unica fascia, mentre se la previsione vuole essere sul lungo termine è preferibile la definizione di più fasce; (3) le fasce/zone, pur partendo dall'obiettivo comune di previsione della mobilità laterale del corso d'acqua, sono funzionali a differenti aspetti gestionali, dalla mitigazione del rischio (ad esempio [RAPP & ABBE, 2003](#); [LAGASSE et al., 2004](#)) alla gestione complessiva dei sedimenti fluviali (es. [RINALDI et al., 2009](#)).

Tabella 8.8 – Rassegna bibliografica di pubblicazioni, italiane e straniere, nelle quali sono stati utilizzati approcci simili a quello di fascia fluviale di dinamica morfologica.

FASCIA / ZONAZIONE	METODOLOGIA	NUMERO DI FASCE / ZONE	FINALITÀ DELLA ZONAZIONE	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO
Fascia di pertinenza fluviale	Analisi storica (cartografia e foto aeree) e modellazione idraulica	1	Pianificazione a scala di bacino: pericolosità idraulica, tutela ambientale	<i>GOVI & TURITTO, 1994</i>
Fascia di pertinenza fluviale	Analisi storica (cartografia e foto aeree)	1	Pianificazione a scala di bacino: pericolosità idraulica, tutela ambientale	<i>DUTTO (1994)</i>
Fascia di pertinenza fluviale	Analisi storica (cartografia e foto aeree)	1	Pianificazione a scala di bacino	<i>SURIAN (1998)</i>
<i>Espace de liberte</i>	Diversi approcci geomorfologici	3 (<i>espace de mobilité maximal, fonctionnel, minimal</i>)	-	<i>MALAVOI et al., (1998)</i>
<i>Streamway</i>	Analisi storica e rilievi sul terreno	3	Valutazione del rischio associato ad erosione spondale ed altri aspetti gestionali	<i>PIEGAY & SAULNIER (2000)</i>
<i>Channel migration zone</i>	Analisi storica e rilievi sul terreno	L'estensione della fascia è messa in relazione con il "design life"	Previsione pericolosità geomorfologica (erosione da dinamica fluviale)	<i>RAPP & ABBE (2003)</i>
<i>Channel migration</i>	Analisi storica (cartografia e foto aeree)	-	Previsione della migrazione dei meandri per la sicurezza delle infrastrutture	<i>LAGASSE et al., 2004</i>
Fascia di pertinenza fluviale	Analisi storica (cartografia e foto aeree)	3	Pianificazione a scala di bacino	<i>BARUFFI et al., 2004</i>
<i>Erodible corridor</i>	Analisi storica; modellazione numerica	-	Gestione dell'erosione di sponda	<i>PIÉGAY et al. (2005)</i>
Fascia di mobilità funzionale	Analisi storica (dagli anni '50 del XX sec.)	1	Gestione dei sedimenti a scala di bacino	<i>RINALDI & SIMONCINI (2006)</i>
Fasce di mobilità	Analisi storica	2	Pianificazione di bacino e gestione dei sedimenti	<i>ADBPO, 2008b</i>
<i>Functional mobility corridor</i>	Analisi storica (dagli anni '50 del XX sec.)	1	Gestione dei sedimenti a scala di bacino	<i>RINALDI et al. (2009)</i>

8.5.2 Definizione delle fasce fluviali di dinamica morfologica e approccio metodologico

Le fasce fluviali di dinamica morfologica sono definite primariamente per alvei non confinati e semiconfinati. Questo non esclude comunque che la metodologia possa essere applicata a tratti confinati, laddove siano presenti significative porzioni di pianura. Vengono definite 2 fasce: la Fascia di Dinamica Morfologica (*FDM*) e la Fascia di Dinamica di Evento (*FDE*). Le due fasce sono strettamente legate agli altri due strumenti, *IDM* e *CDE*, utilizzati per caratterizzare la dinamica di un tratto fluviale. Nel definire la prima fascia, *FDM*, si considera infatti la dinamica del corso d'acqua in assenza di eventi di elevata magnitudo. Nella definizione della *FDE* si tiene invece conto di eventi estremi, in analogia con l'approccio utilizzato nell'applicazione della *CDE*.

Le 2 fasce all'interno di *IDRAIM* sono così definite:

Fascia di Dinamica Morfologica (FDM). Questa fascia comprende l'attuale alveo del corso d'acqua, le zone che sono state attive a partire dagli anni '50 del secolo scorso e le zone di possibile riattivazione nel medio periodo (prossimi 50 anni). La delimitazione della fascia si basa inoltre sulla presenza delle opere di difesa, che la vanno a delimitare dove presenti. Si tratta di una fascia che ha una probabilità elevata di essere interessata dalla dinamica laterale del corso d'acqua nel medio termine, anche in assenza di eventi di piena di elevata magnitudo.

Fascia di Dinamica di Evento (FDE). Questa fascia, più ampia della precedente, comprende l'attuale alveo del corso d'acqua, le zone della pianura che sono state attive negli ultimi 100-200 anni e le zone di possibile riattivazione nel corso di un evento estremo. A differenza della *FDM*, il limite esterno di questa fascia non è di norma limitato dalla presenza di opere di difesa, in quanto la dinamica molto elevata che si verifica nel corso di un evento estremo spesso arriva a compromettere la funzionalità delle opere, a meno che queste non vengano esplicitamente considerate di sicura affidabilità anche durante tali eventi.

Per delimitare le fasce si prendono in considerazione i seguenti aspetti del corso d'acqua: a) ambito fisiografico e morfologia dell'alveo; b) evoluzione storica, in particolare la dinamica planimetrica; c) dinamica futura, ossia erosione potenziale nel medio termine e probabilità di avulsioni; d) elementi naturali di confinamento; e) opere di difesa. Attraverso l'analisi congiunta di questi aspetti si giunge all'individuazione delle porzioni della pianura di un corso d'acqua che potranno essere interessate dalla sua dinamica. Il primo aspetto, ambito fisiografico e morfologia dell'alveo, consente di inquadrare in modo adeguato la problematica, in quanto è necessario utilizzare criteri differenti quando si considera un contesto collinare-montano piuttosto che uno di pianura. Analogamente è necessario utilizzare criteri differenti per alvei molto dinamici (es. alvei a canali intrecciati) o a pendenza sostenuta (es. >1%), rispetto ad alvei a bassa energia, poco dinamici. L'evoluzione storica è utile per individuare le zone che nel passato (ultimi 50-200 anni) sono state interessate dalla dinamica fluviale in quanto è possibile che tali zone verranno interessate nuovamente dalla dinamica in futuro. D'altra parte tale analisi storica può non essere sufficiente, in quanto un corso d'acqua potrà anche occupare porzioni della pianura che non sono state interessate dalla sua dinamica nell'intervallo di tempo considerato. Pertanto è necessario individuare quali aree potrebbero in futuro essere interessate dalla dinamica fluviale. Ciò può essere realizzato partendo dalla posizione attuale del corso d'acqua, stimando il tasso medio di arretramento delle sponde, per definire quindi l'erosione potenziale che si può realizzare in un certo intervallo temporale (ad es., nei prossimi 50 anni). Oltre all'erosione potenziale, deve essere considerata la probabilità che possano verificarsi fenomeni di avulsione. Ad integrazione dell'analisi storica e della valutazione della dinamica futura, si considerano poi gli elementi naturali che determinano il confinamento del corso d'acqua (versanti, scarpate di terrazzi o conoidi), in quanto questi elementi definiscono l'intera pianura che può essere potenzialmente interessata dalla dinamica fluviale. Infine vengono considerate le opere di difesa presenti poiché tali opere, se efficienti e continue, determinano i limiti della *FDM*.

Il prodotto finale della delimitazione delle due fasce è una cartografia da realizzare attraverso strumenti GIS, come descritto nel paragrafo successivo.

8.5.3 Procedura per la delimitazione delle fasce fluviali di dinamica morfologica

Come indicato in precedenza, la delimitazione delle fasce fluviali di dinamica morfologica richiede l'analisi dei seguenti aspetti del corso d'acqua: a) ambito fisiografico e morfologia dell'alveo;

b) evoluzione storica; c) dinamica futura, ossia erosione potenziale nel medio termine e probabilità di avulsioni; d) elementi naturali di confinamento; e) opere di difesa.

Le fasce possono essere definite per alvei di qualsiasi dimensione. Si precisa però che nel caso di alvei di dimensioni minori (larghezza ≤ 30 m), l'evoluzione storica e la stima dell'erosione potenziale potrebbero non essere valutabili, soprattutto se non sono disponibili immagini telerilevate ad elevata risoluzione spaziale.

AMBITO FISIOGRAFICO E MORFOLOGIA DELL'ALVEO

L'ambito fisiografico, la morfologia dell'alveo e la pendenza media dell'alveo nel tratto in esame sono i primi aspetti da prendere in considerazione. Si tratta di caratteristiche del corso d'acqua che sono già disponibili se sono stati applicati altri strumenti di *IDRAIM* (ad es., *IDM*), in caso contrario queste vanno valutate come descritto nel [CAPITOLO 4](#). Tali aspetti, a differenza di quelli che verranno descritti di seguito (ad es., evoluzione storica, ecc.), non sono direttamente utilizzati per tracciare i limiti delle fasce, ma sono essenziali per poter applicare gli altri criteri. Come descritto più avanti, infatti, sono previste differenti procedure a seconda dell'ambito fisiografico e della tipologia/pendenza dell'alveo. Ad esempio la procedura utilizzata in ambito collinare-montano per alvei di piccole dimensioni con pendenze sostenute ($>1\%$) prevede che la *FDE* corrisponda all'intera pianura presente, mentre per alvei di piccole dimensioni, a bassa pendenza ($\leq 0.1\%$) in ambito di pianura la *FDE* può risultare non applicabile.

EVOLUZIONE STORICA

La ricostruzione dell'evoluzione storica dell'alveo mira ad individuare e delimitare le zone interessate dalla dinamica fluviale in passato. La ricostruzione viene realizzata attraverso analisi GIS di cartografia storica ed immagini telerilevate. Per la delimitazione della *FDM* è necessario considerare l'immagine telerilevata più recente a disposizione, le **foto aeree del volo GAI** degli anni 1954/55 e, possibilmente, altre immagini telerilevate riprese dagli anni '50 del secolo scorso ad oggi. Si può notare che la delimitazione in GIS dell'alveo attuale e degli anni 1954/55 viene effettuata anche per il calcolo dell'*IDM* (indicatori *V1* e *V2*). La fascia di divagazione storica si ottiene dall'involuppo delle diverse aree occupate dall'alveo in questo intervallo di tempo, pertanto disporre di altre riprese nel periodo anni '50 – oggi rende l'analisi più affidabile. Per delimitare la *FDE* è necessario estendere l'analisi storica agli ultimi 100-200 anni. Le **prime edizioni della cartografia IGM**, realizzate alla fine del XIX sec. e all'inizio del XX sec., consentono un'analisi degli ultimi 100 anni per tutti i corsi d'acqua italiani. Ci sono poi molte regioni italiane coperte da **cartografia del XIX sec.** adatta agli scopi di questa analisi, ad esempio la "Carta topografica - geometrica militare del Ducato di Venezia" del 1801-1805. Se la cartografia del XIX sec. è disponibile, l'utilizzo è auspicabile in quanto rende più robusta l'analisi storica nel lungo termine, soprattutto nel caso di corsi d'acqua che risultassero già sistemati nelle successive cartografie.

La delimitazione della fascia va effettuata con modalità differenti a seconda della **tipologia d'alveo**. Per alvei a canali intrecciati, transizionali e rettilinei la fascia si ottiene dall'involuppo delle aree occupate dall'alveo nel periodo di tempo considerato. Nel caso di alvei sinuosi e meandriformi viene definita attraverso l'analisi storica la "fascia dei meandri" ([Figura 8.4](#)).

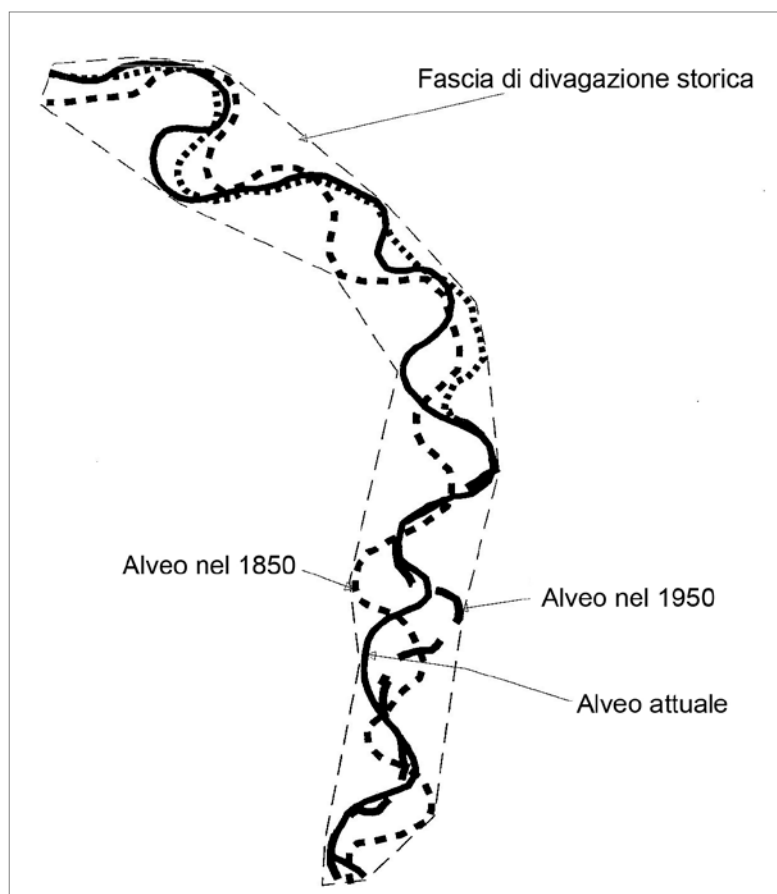


Figura 8.4 – Definizione della fascia dei meandri attraverso l'analisi storica (modificata da [MALAVOI et al., 1998](#)).

EROSIONE POTENZIALE NEL MEDIO TERMINE E PROBABILITA' DI AVULSIONI

L'analisi dell'erosione potenziale nel medio termine, ossia delle zone che potrebbero essere interessate dalla dinamica laterale del corso d'acqua in futuro, si basa principalmente sulla stima del tasso d'arretramento delle sponde. Il **tasso di arretramento**, espresso in metri per anno, si valuta dal confronto di due immagini telerilevate recenti (ultimi 10-15 anni), come descritto per l'indicatore *M4* dell'*IDM*. Si precisa che le misure vanno eseguite solo sui tratti di sponda in arretramento, quindi porzioni di sponda in avanzamento o stabili non vanno considerate. Se le diverse misure non si discostano molto fra loro, il tasso di arretramento può essere stimato come media delle misure effettuate. In caso contrario, è cautelativo assumere come tasso di arretramento il valore massimo misurato. Avendo a disposizione un numero maggiore di immagini telerilevate e la cartografia storica, si può effettuare la stima del tasso di arretramento anche per altri periodi, soprattutto nel caso in cui la stima del tasso non sia praticabile per il periodo più recente (ad esempio per scarsa mobilità laterale dell'alveo in questo periodo o per fissazione artificiale delle sponde).

Il passo successivo consiste nel moltiplicare il tasso di arretramento stimato nel tratto in esame per il numero di anni per i quali si intende fare la previsione, ossia per 50 anni per la *FDM*. Il valore finale che si ottiene rappresenta quindi l'arretramento complessivo che ci si può attendere in tale intervallo temporale. Se ad esempio è stato stimato un tasso di arretramento di 2 m per anno, le fasce di erosione potenziale, definite a partire da entrambe le sponde attuali del corso d'acqua, avranno un ampiezza di 100 m per ciascun lato.

L'approccio appena descritto è senz'altro grossolano e non ha la pretesa di prevedere con precisione le zone che saranno interessate dalla mobilità laterale del corso d'acqua in futuro. D'altro canto ha il pregio di essere un approccio relativamente semplice, praticabile e, comunque, necessario per integrare l'analisi dell'evoluzione storica. In varie esperienze internazionali sono state adottate procedure simili ([MALAVOI et al., 1998](#); [RAPP & ABBE, 2003](#); [LAGASSE et al., 2004](#)), sottolineando come approcci empirici di questo tipo, basati su analisi storica e tassi di arretramento delle sponde, siano attualmente preferibili e più affidabili di altri, ad esempio di una modellazione numerica. Si sottolinea

infine che la previsione dell'erosione potenziale nel medio termine può risultare meno accurata per tratti fluviali che sono stati soggetti a variazioni morfologiche consistenti in passato, ossia in tratti attualmente in condizioni di instabilità.

Per la definizione della *FDE* si utilizza una procedura simile a quella appena descritta, ma in questo caso il tasso di arretramento viene moltiplicato per 50 o per 100 a seconda che la probabilità che si verifichino fenomeni di avulsione sia rispettivamente medio-bassa o alta. Il motivo dell'utilizzo di tali fattori moltiplicativi è il seguente. Nel caso di media-bassa probabilità che si verifichino avulsioni (ad esempio per un alveo sinuoso a bassa pendenza), si ritiene che l'area interessata dalla dinamica laterale durante un evento estremo non sia eccessivamente estesa e, pertanto, paragonabile a quella definita per la *FDM*. Nel caso invece di alta probabilità di avulsioni (ad esempio alvei a canali intrecciati) l'area interessata potrebbe essere molto più estesa e, quindi, è ragionevole utilizzare un fattore moltiplicativo maggiore, ossia 100. Per valutare la propensione o meno di un tratto a fenomeni di avulsione, si rimanda alla "Guida alle risposte" relativa al *CDE* (indicatori relativi a tratti non confinati).

ELEMENTI NATURALI DI CONFINAMENTO

Sulla base delle condizioni morfologiche e geologiche è necessario individuare gli elementi naturali di confinamento del corso d'acqua, ossia quegli elementi che impediscono la mobilità laterale dell'alveo. Il confinamento è determinato da un punto di vista strettamente morfologico dai versanti, da scarpate di terrazzi antichi o da conoidi. Pertanto la fascia definita dagli elementi naturali coincide con l'intera pianura alluvionale. Ai fini della delimitazione delle fasce risulta però importante anche considerare l'erodibilità dei versanti o delle scarpate in quanto, se costituite da depositi facilmente erodibili (ad es., depositi fluviali, glaciali o di frana), possono essere soggette ad arretramento anche se la loro altezza è considerevole (ad esempio altezza di alcune decine di metri). Versanti o scarpate facilmente erodibili andranno quindi cartografate con una simbologia differente in modo tale da evidenziare il fatto che in questi tratti il limite della fascia può subire delle modificazioni, attraverso l'arretramento di tali versanti o scarpate. In questi casi, in relazione all'altezza del versante o scarpata, andranno considerati dei tassi di arretramento minori rispetto a quelli stimati per l'arretramento delle sponde.

Gli strumenti per definire la pianura alluvionale sono carte topografiche, foto aeree, DTM (possibilmente da rilievi LiDAR). Per definire l'erodibilità dei versanti e delle scarpate dei terrazzi si utilizza la cartografia geologica o altra cartografia geotematica disponibile (ad esempio carte geomorfologiche).

OPERE DI DIFESA E ALTRI ELEMENTI ANTROPICI

Vanno qui individuate tutte quelle opere di difesa, o altre strutture antropiche, che costituiscono un reale vincolo nella mobilità laterale del corso d'acqua. Le **opere di difesa** comprendono sia le strutture longitudinali (argini, muri di sponda) che quelle trasversali (pennelli, traverse, soglie). Un primo aspetto da esaminare è l'**estensione e continuità delle opere** nel tratto. La presenza di singole opere che interessano per porzioni limitate ed in modo discontinuo il tratto non vanno considerate per la delimitazione delle fasce, mentre, al contrario, le opere risultano un aspetto prioritario da considerare, nel caso della *FDM*, se hanno elevata continuità nel tratto in esame. Un secondo aspetto da considerare, generalmente più problematico del precedente, è l'**affidabilità delle strutture esistenti** e, in particolare, il loro grado di efficacia nel contrastare i processi di erosione laterale del corso d'acqua. Se quindi opere con un certo grado di continuità e ritenute affidabili concorrono a definire il limite della *FDM*, per la *FDE* la presenza delle opere non può essere valutata allo stesso modo. La dinamica molto elevata che si verifica nel corso di un evento estremo spesso arriva a compromettere la funzionalità delle opere. Pertanto, seppure le opere potrebbero limitare la mobilità laterale del corso d'acqua, si ritiene cautelativo di norma non considerare la presenza delle opere nelle delimitazioni della *FDE*, a meno che queste non vengano valutate esplicitamente di sicura funzionalità anche durante l'evento estremo di riferimento.

Per mappare le opere di difesa e le altre strutture antropiche rilevanti per la mobilità laterale si utilizzano il catasto delle opere, le carte topografiche e le foto aeree. Il rilievo sul terreno si rende necessario, almeno nelle situazioni ritenute più critiche, soprattutto per valutare l'efficacia e lo stato delle opere.

DELIMITAZIONE FINALE DELLA FDM E FDE

Riassumendo, la procedura per delimitare le 2 fasce prevede l'analisi congiunta di diversi aspetti come di seguito illustrato in [Tabella 8.9](#).

Tabella 8.9 – Schema riassuntivo dell'integrazione dei diversi aspetti per giungere alla definizione della FDM e FDE. Elemento prioritario sta ad indicare che l'elemento è vincolante nella delimitazione della fascia, mentre non prioritario indica che l'elemento va considerato ma non influisce sulla delimitazione finale che dipenderà dagli altri elementi.

	EVOLUZIONE STORICA	EROSIONE POTENZIALE E PROBABILITÀ DI AVULSIONI	ELEMENTI NATURALI DI CONFINAMENTO	OPERE DI DIFESA E ALTRI ELEMENTI ANTROPICI
FDM	Anni '50 del XX sec. - presente	50 anni	Non prioritario	Prioritario
FDE	XIX/inizio XX sec. - presente	Fattore moltiplicativo: 50 o 100	Prioritario/Non prioritario ^(*)	Non Prioritario

^(*) Gli elementi naturali di confinamento sono prioritari per alvei di piccole dimensioni, mentre non lo sono per quelli di grandi dimensioni.

L'applicazione dello schema generale riassunto in [Tabella 8.9](#) deve inoltre tenere in considerazione l'ambito fisiografico e la morfologia dell'alveo.

Ambito collinare – montano

- Alvei con pendenza $\geq 1\%$. Nel caso di alvei di alvei di grandi dimensioni sia la FDM che la FDE non dovrebbero porre problemi nell'applicazione. Per la FDE si applica il fattore moltiplicativo 100 per l'erosione potenziale. Per alvei di piccole dimensioni la delimitazione delle due fasce può invece risultare più problematica, in quanto l'analisi dell'evoluzione storica potrebbe non fornire indicazioni significative (ad esempio nel caso l'alveo sia stato caratterizzato per lungo tempo da stabilità planimetrica) e la stima dell'erosione potenziale non può essere effettuata. In tali situazioni gli elementi naturali di confinamento divengono l'aspetto fondamentale su cui basare la delimitazione della FDE, che va fatta coincidere con l'intera pianura alluvionale, mentre non ci sarebbero elementi sufficienti per definire la FDM. Una delimitazione di questo tipo della FDE, che apparentemente può sembrare eccessivamente cautelativa, si basa sul fatto che in vari corsi d'acqua è stato osservato che durante eventi di elevata magnitudo la dinamica del corso d'acqua può interessare l'intera pianura alluvionale e causare significativa erosione sui versanti e sulle scarpate che delimitano la pianura (ad esempio: bacino del F. Fella, agosto 2003; bacino del F. Magra, ottobre 2011).
- Alvei con pendenza $< 1\%$. Nel caso di alvei di alvei di grandi dimensioni sia la FDM che la FDE non dovrebbero porre problemi nell'applicazione. Per la FDE si applica il fattore moltiplicativo 50 o 100 in relazione alla probabilità di avulsioni (media-bassa o alta). Per alvei di piccole dimensioni, fare riferimento alla procedura illustrata nel caso precedente (alvei con pendenza $> 1\%$).

Ambito di pianura

- Alvei con pendenza $\geq 0.1\%$. Si tratta in genere dei tratti dei corsi d'acqua con maggiore mobilità laterale. La delimitazione della FDM e FDE è comunemente abbastanza agevole. Per la FDE, il fattore moltiplicativo (dinamica futura) può essere 50 o 100 in relazione alla probabilità di fenomeni di avulsione.
- Alvei con pendenza $< 0.1\%$. In ambiti di pianura, ed in particolare di bassa pianura, sono frequenti tratti di corsi d'acqua arginati storicamente, con argini vicini o a contatto dell'alveo. In questi casi l'analisi dell'evoluzione storica non darebbe indicazioni, o molto limitate, e ugualmente può non essere valutabile l'erosione potenziale nel medio termine dal confronto di immagini telerilevate. In queste situazioni, ossia presenza di arginature storiche vicine o a contatto dell'alveo, la delimitazione delle fasce potrebbe essere risolta con le seguenti modalità di stima dei tassi di arretramento delle sponde: (i) facendo riferimento a tratti contigui o simili per caratteristiche morfologiche e idrauliche al tratto in esame; (ii) facendo riferimento a tassi

stimati in corsi d'acqua simili, sia in termini di caratteristiche morfologiche ed idrauliche, che di ambito fisiografico e climatico. Se attraverso tali approcci non si è in grado di stimare i tassi di arretramento si può optare per non definire *FDM* e *FDE*. Questa soluzione è giustificata dal fatto che la delimitazione delle fasce risulterebbe molto arbitraria mancando elementi oggettivi a supporto. Pur rinunciando in questi casi alla delimitazione delle fasce, va comunque indicato nella cartografia delle fasce che in questi tratti le sponde possono essere soggette ad arretramento, per collasso delle opere di difesa. Inoltre vanno evidenziati i punti dove con maggior probabilità potrebbero verificarsi dei processi di avulsione.

Si precisa infine che le fasce possono essere applicate anche in contesti di **conoidi alluvionali** anche se, in questi casi, deve essere visto come un approccio preliminare di zonazione. Infatti la dinamica in questi contesti è strettamente collegata ai fenomeni di avulsione, fenomeni che nella procedura qui definita vengono considerati, ma in modo relativamente semplificato. Le fasce non si applicano invece in contesti di conoidi da colate detritiche o misti, per i quali esistono già in letteratura metodi specifici per la zonazione della pericolosità (ad es., [AA.VV. 2005](#)).

8.5.4 Finalità delle fasce e relativo utilizzo

Come indicato in precedenza le fasce fluviali definite in *IDRAIM* possono essere utilizzate per differenti finalità. Il primo scopo è senz'altro quello di definire la pericolosità geomorfologica, ossia di individuare le zone che con maggior probabilità verranno interessate dalla dinamica morfologica del corso d'acqua. La *FDM* ha come riferimento un intervallo temporale di 50 anni e non è associata ad uno specifico evento di piena, bensì ad un serie di eventi "formativi" aventi tempi di ritorno non elevati. Questa fascia intende descrivere arealmente la dinamica "progressiva" del corso d'acqua. La *FDE* è invece associata ad eventi di elevata magnitudo con bassa probabilità di accadimento (relativa quindi ad un "evento di riferimento" *sensu* CDE). Nella definizione della pericolosità, la *FDM* e la *FDE* non vanno pertanto interpretate come fasce aventi una relazione diretta con quelle definite attraverso criteri idraulici, quanto piuttosto come una zonizzazione che va ad integrarsi con quella derivante dalle aree inondabili per diversi tempi di ritorno. E' opportuno comunque sottolineare come durante un evento estremo alcune aree non incluse nella *FDE* possano comunque risentire della dinamica d'alveo.

La *FDM* può essere utilizzata anche con altre finalità, ad esempio per definire la fascia di mobilità funzionale, ossia la fascia che consente al corso d'acqua una buona funzionalità in termini di processi geomorfologici.

Infine, è opportuno prevedere un aggiornamento delle fasce fluviali, con una cadenza variabile in relazione alla dinamicità dell'alveo.

FASE 3: TENDENZE FUTURE

La *Fase 3* della metodologia *IDRAIM* riguarda l'evoluzione futura dei corsi d'acqua in esame.

Si possono distinguere due sottofasi ([Figura III](#)), trattate nei due successivi capitoli. La prima sottofase ha per oggetto il monitoraggio morfologico, al fine di seguire le tendenze evolutive e monitorare come si modificano le condizioni di qualità e di pericolosità dei corsi d'acqua analizzati.

La sottofase successiva riguarda la previsione di possibili scenari di evoluzione futura degli alvei fluviali, sulla base delle loro caratteristiche attuali e delle traiettorie di evoluzione passate. Gli scenari di evoluzione sono necessari per valutare le possibili implicazioni che tali tendenze possano avere sulle condizioni di qualità e di dinamica morfologica.

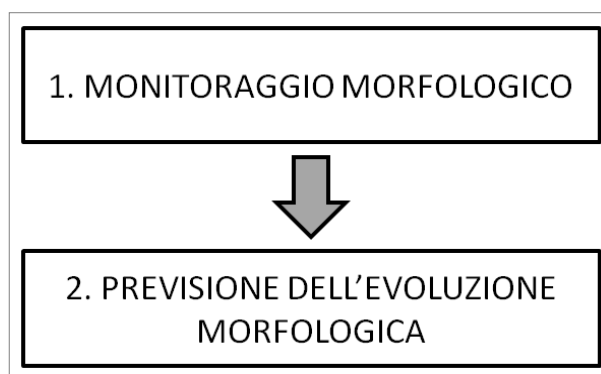


Figura III – Suddivisione della *Fase 3* in sottofasi.

9. MONITORAGGIO MORFOLOGICO

9.1 Monitoraggio dell'alveo e del sistema fluviale

In questa prima parte si effettua una rassegna dei possibili parametri morfologici che possono essere impiegati per i vari tipi di monitoraggio. Il monitoraggio morfologico viene solitamente effettuato su un sottoinsieme dei tratti precedentemente soggetti alla valutazione iniziale. I tratti di monitoraggio sono selezionati in base a criteri di rappresentatività, oppure per motivi particolari (situazioni di criticità) che inducono a seguirne l'evoluzione morfologica con maggiore attenzione rispetto ad altri.

9.1.1 Monitoraggio degli elementi morfologici naturali

Per quanto riguarda il rilievo degli aspetti morfologici naturali, i parametri che possono essere utili per un monitoraggio morfologico generale sono sintetizzati in [Tabella 9.1](#)

. Riguardo alla **scansione spaziale**, si possono distinguere due strategie di rilevamento: (1) rilievo in continuo lungo l'intero tratto; (2) campionamento all'interno del tratto.

Per gli aspetti morfologici naturali vengono adottate le due strategie di rilievo differenziandole a seconda della metodologia adottata, e quindi a seconda dei parametri misurati ([Tabella 9.1](#)): (1) le misure da immagini telerilevate e analisi GIS vengono effettuate in continuo alla scala del **tratto**; (2) le misure e osservazioni sul terreno vengono effettuate in genere su un **sito** di campionamento scelto come rappresentativo 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 in un programma di monitoraggio, le misure sul terreno verranno effettuate sempre nello stesso sito, mentre le misure da telerilevamento verranno estese alla lunghezza del tratto a cui il sito appartiene.

In seguito vengono descritte in dettaglio tutte le procedure ed i metodi per il monitoraggio degli aspetti morfologici secondo l'ordine riportato in [Tabella 9.1](#) (rimandando al [CAPITOLO 4](#) per quei parametri già definiti durante la *Fase 1*). 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., 2009b](#)).

PARAMETRI PLANIMETRICI

(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 *anabranching* si può calcolare la media dei valori relativi ai singoli canali.

Tabella 9.1 – Metodologie e scansione spaziale per il monitoraggio degli aspetti morfologici. **G**: di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).

ELEMENTO MORFOLOGICO	METODO DI RILEVAMENTO / MISURA E RELATIVA SCALA SPAZIALE	TIPOLOGIA DI CORSO D'ACQUA
Parametri planimetrici		
1. Indice di sinuosità	Telerilevamento o misura terreno (corsi d'acqua piccole dimensioni) (tratto)	Tutti esclusi a canali intrecciati
2. Indice di intrecciamento	- Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)	Tutti esclusi a canale singolo
3. Indice di anabranching	- Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)	Tutti esclusi a canale singolo
4. Morfometria di barre e isole	Telerilevamento (tratto)	Solo corsi d'acqua G
5. Lunghezza sponde in arretramento e tassi di arretramento	Telerilevamento (tratto)	Solo corsi d'acqua non confinati o semiconfinati
6. Ampiezza e continuità piana inondabile	Telerilevamento (tratto)	Solo corsi d'acqua non confinati o semiconfinati
Profilo longitudinale		
7. Pendenza del fondo	Rilievo profilo fondo, possibilmente esteso dal sito al tratto	Tutti
8. Variazione di quota del fondo	Rilievo profilo fondo esteso dal sito all'intero tratto	Tutti
Sezione trasversale		
9. Larghezza alveo	- Telerilevamento (tratto) - Rilievo sezioni (sito)	- Solo corsi d'acqua G - Tutti
10. Profondità alveo	Rilievo sezioni: 2 o 3 sezioni nel sito (preferibilmente estremità monte, centro, estremità valle)	Tutti
11. Rapporto larghezza / profondità	Da valori misurati in base a rilievo sezioni (sito)	Tutti
Sedimenti del fondo		
12. Dimensioni granulometriche sedimenti del fondo	Misura granulometrica (metodo <i>pebble counts</i>) (unità sedimentaria) Misura granulometrica (metodo volumetrico) (unità sedimentaria)	- Alvei ghiaioso -ciottolosi guadabili - Alvei sabbiosi e/o di elevata profondità
13. Struttura del fondo: grado di corazzamento e clogging	Valutazione qualitativa (sito) Misure granulometriche (unità sedimentaria) solo nei casi di corazzamento molto accentuato	Solo alvei ghiaiosi e/o ciottolosi
Materiale legnoso		
14. Abbondanza di materiale legnoso di grandi dimensioni	- Conteggio sul terreno (sito) - Telerilevamento (sito)	- Alvei a canale singolo - Corsi d'acqua G transizionali - canali intrecciati
Vegetazione nella fascia perifluviale		
15. Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Telerilevamento (tratto)	Tutti
16. Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Telerilevamento (tratto)	Tutti
Parametri idrologici		
17. Portate liquide	Misure idrometriche in corrispondenza di stazioni di misura esistenti (in continuo)	Tutti

(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, ai fini del monitoraggio 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). Nel caso di alvei normalmente asciutti durante i periodi di magra (ad es., in regioni con clima mediterraneo) 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.

(3) Indice di anabranching

Definizione

L'indice di anabranching (*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, ai fini del monitoraggio 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 anabranching è pari ad 1, quindi non è significativo misurarlo; può diventare necessario effettuarne la misura nei casi in cui ci siano situazioni locali di anabranching.

(4) Morfometria di barre e isole

Definizione

Si tratta di parametri che possono essere utili in studi di dettaglio sulle variazioni temporali di unità morfologiche in alveo. Le variazioni di alcune superfici fluviali possono infatti 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 9.1](#)):

- **Lunghezza delle barre laterali (*lbl*)**: è la lunghezza di alveo nel tratto (in percentuale) interessata dalla presenza di barre laterali (comprese le barre di meandro).
- **Lunghezza delle barre longitudinali (*lblo*)**: è la lunghezza di alveo nel tratto (in percentuale) interessata dalla presenza di barre longitudinali.
- **Area delle isole (*Ai*)** (in m²).

Può inoltre risultare 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 km⁻¹).
- **Densità delle barre longitudinali (*Dblo*)**: è il numero di barre longitudinali diviso per la lunghezza del tratto (n km⁻¹).
- **Densità delle isole (*Di*)**: è il numero di isole diviso per la lunghezza del tratto (n 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.

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.

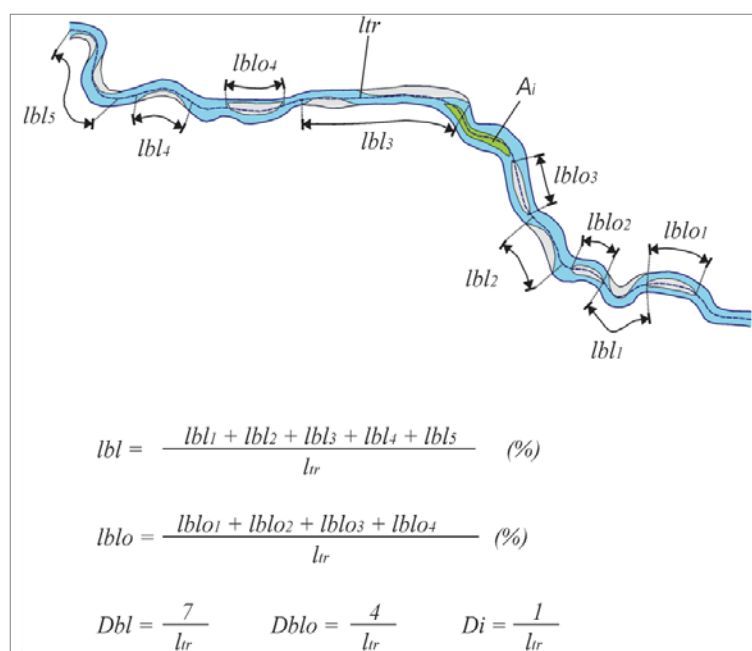


Figura 9.1 – Morfometria di barre ed isole. Misura della lunghezza delle barre laterali (*lbl*), lunghezza delle barre longitudinali (*lblo*), area delle isole (*Ai*) e rispettive densità (*Dbi*, *Dblo*, *Di*), queste ultime ottenute **Good Ecological Potential** dividendo il numero per la lunghezza *l_{tr}* 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 generalmente effettuata solo per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).

(5) Sponde in arretramento

Definizione

La presenza ed estensione di sponde in arretramento 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 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 (Isa):** 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 9.2](#)).
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 9.3](#)). 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.

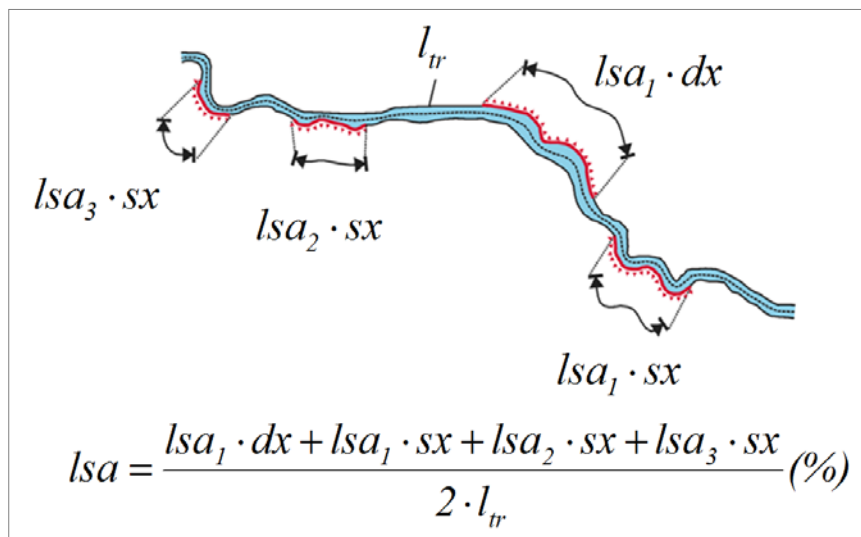


Figura 9.2 – Misura della Lunghezza di sponde in arretramento (*lsa*).

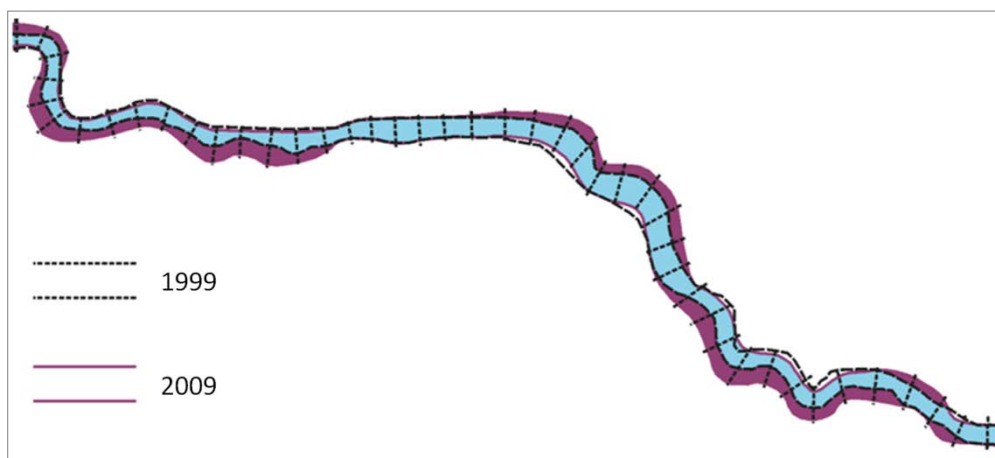


Figura 9.3 – Misura del Tasso di arretramento delle sponde (*Tas*). I segmenti tratteggiati rappresentano le sezioni di misura; le aree in viola rappresentano i tratti di sponde in arretramento. Il valore di arretramento medio nel tratto va diviso per l'intervallo di tempo tra i due rilievi successivi (10 anni).

Scala spaziale

Le misure vanno effettuate alla scala del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

(6) Ampiezza 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 al massimo di 1 m). 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:

- **Ampiezza della piana inondabile (A_p)**: rappresenta la larghezza complessiva (somma sui due lati) di piana inondabile mediata nel tratto (in m).
- **Continuità longitudinale di piana inondabile (C_p)**: è la percentuale di lunghezza del tratto interessata dalla presenza di piana inondabile su almeno uno dei due lati.

TERMINOLOGIA: *pianura alluvionale, piana inondabile, terrazzo*

I termini relativi alle superfici alluvionali 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 (*alluvioni*) depositati dal corso d'acqua stesso (enfaticandone 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 enfaticamente 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 1](#)) 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 $TR = 1\div3$ 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÷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 $TR = 1\div3$ anni, cioè solo quella superficie formatasi recentemente (post-incisione degli ultimi 100÷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'ampiezza e della continuità longitudinale delle superfici in oggetto ([Figura 9.4](#)) 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 $1\div3$ 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 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 15](#).
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 almeno uno dei due lati. Tale lunghezza viene espressa in percentuale della lunghezza del tratto (l_{tr}) misurata lungo l'asse dell'alveo ([Figura 9.4](#)).

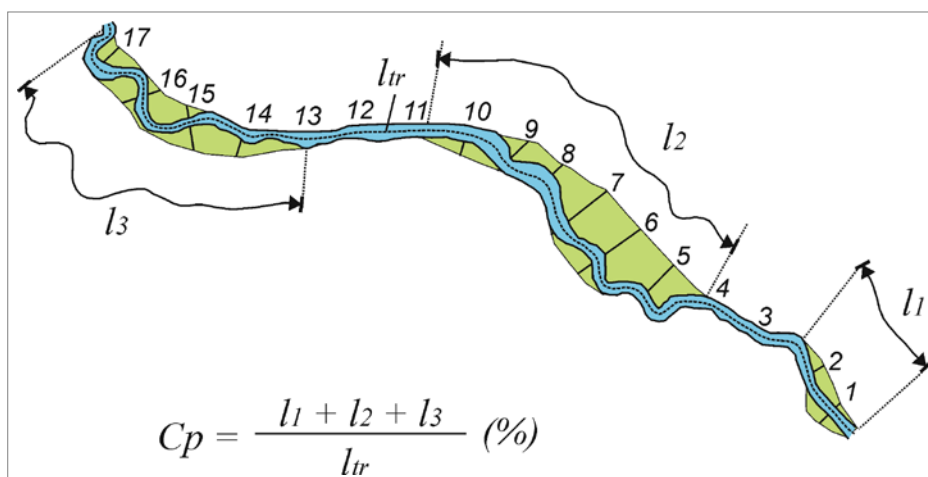


Figura 9.4 – Misura dell'ampiezza (A_p) e della continuità longitudinale (C_p) della piana inondabile. L'area in verde rappresenta la piana inondabile. L'ampiezza si ricava dalla media delle misure effettuate per le sezioni dalla 1 alla 17.

Scala spaziale

Le misure vanno effettuate alla scala del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

PROFILO LONGITUDINALE

(7) 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 8](#)), 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 può misurare per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

(8) 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 10](#)), 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 (Δqf)** (in m/a) (tale parametro è utile per confronti relativi ad intervalli temporali differenti).

Come si misura (si veda anche [CAPITOLO 6](#))

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 10](#), le misure possono essere effettuate con distanziometro-teodolite, stazione totale, o 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 10](#)). 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 9.5](#)), 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 9.6](#)), 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.

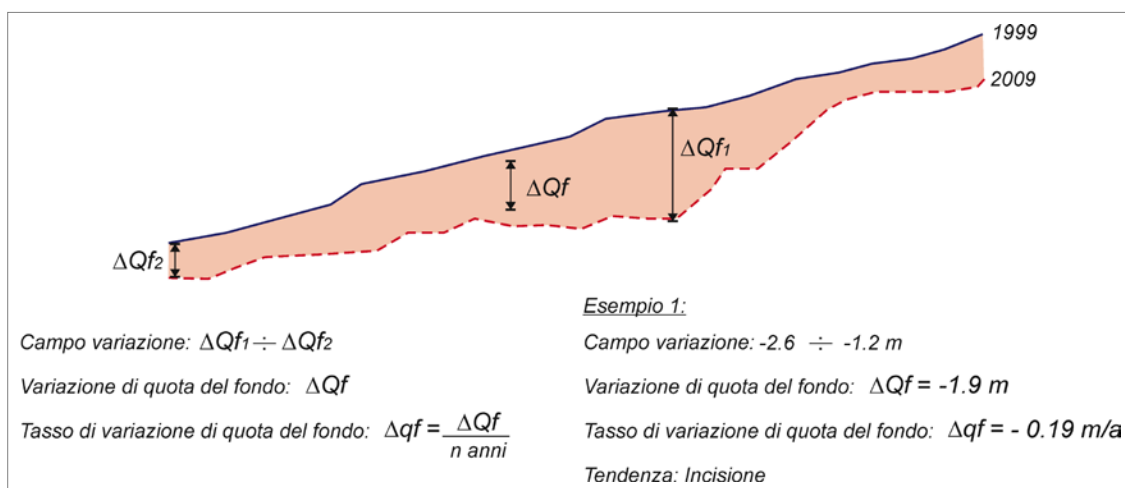


Figura 9.5 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQf) e del relativo Tasso di variazione (Δqf) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto con tendenza unica all'incisione.

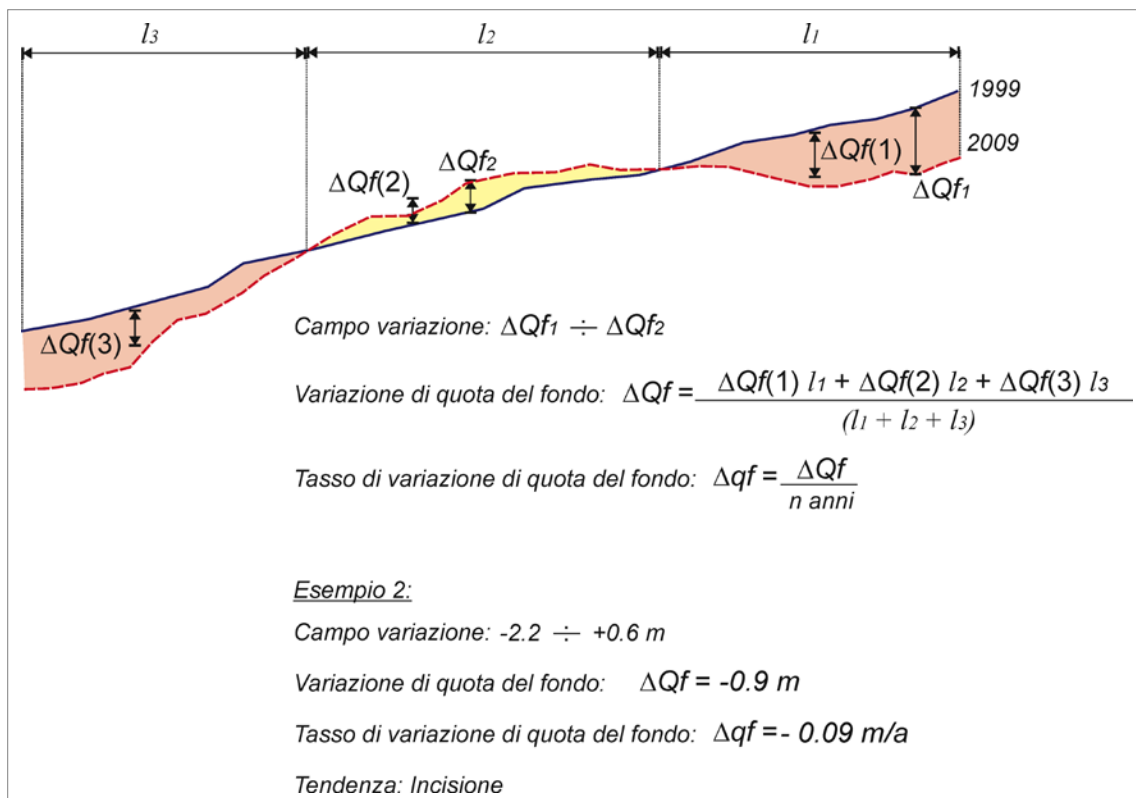


Figura 9.6 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQf) e del relativo Tasso di variazione (Δqf) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto caratterizzato da 3 sottotratti a tendenze diverse.

$\Delta Qf(1)$, $\Delta Qf(2)$ 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 misura della quota del fondo si applica a tutte le tipologie di corsi d'acqua.

SEZIONE TRASVERSALE

(9) 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 mobilitazione 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 10](#)). La **larghezza dell'alveo (La)** (in m) è quindi definibile una volta delimitato l'alveo.

Come si misura

Si veda il [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 può misurare per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

(10) 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. 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 ghiaiosi - ciottolosi la cui configurazione del fondo non sia omogenea (ad 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 (P_{max})** (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 può misurare per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

(11) Rapporto larghezza / profondità

Definizione

Il **rapporto larghezza / profondità (La/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 può misurare per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

SEDIMENTI DEL FONDO

(12) 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 quadabili

Nel caso di alvei guadabili con fondo prevalentemente costituito da sedimenti ghiaioso - ciottolosi, 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 clasti, in caso di sedimenti eterogenei (come di norma), deve variare da un minimo di 200 (alvei ghiaioso - ciottolosi) 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 $D_{max} < 32$ mm, deve risultare un peso minimo del campione $m = 1000 m(D_{max})$, dove $m(D_{max})$ è il peso della particella con diametro massimo, in kg. Nel caso di $D_{max} > 32$ 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 S_d (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 si può effettuare lungo qualunque corso d'acqua, ma con modalità differenti come prima descritto.

(13) 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 e, soprattutto, limo e 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 mobilitato 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 mobilitato 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 12](#)) 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 può essere effettuata solo per corsi d'acqua con fondo ghiaioso - ciottoloso.

MATERIALE LEGNOSO

(14) 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}) ($n\ km^{-2}$) 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 9.7](#)):

- **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 9.7](#)):

- **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.

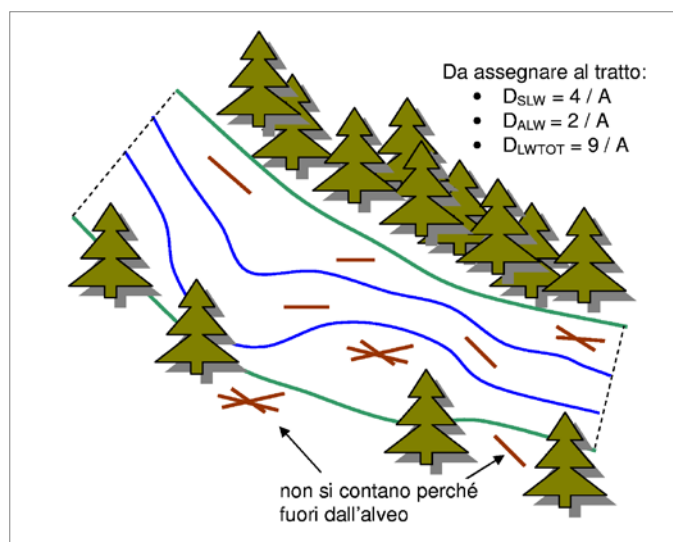


Figura 9.7 – Esempio di conteggio di LW nel sito di monitoraggio, delimitato a monte e a valle dalle linee nere tratteggiate. La linea verde continua simboleggia il limite dell'alveo (sponde), mentre quella blu l'alveo di magra. I segmenti marroni rappresentano tronchi con dimensioni > 1 m in lunghezza e > 0.1 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 può essere effettuata per tutti i corsi d'acqua, con modalità eventualmente differenti per alcune tipologie (transizionali e canali intrecciati).

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'ecotono tra alveo e territorio circostante, si estende anche oltre la zona occupata dalle formazioni riparie e dove si rinvenivano formazioni tipiche del territorio circostante ([SILIGARDI et al., 2007](#)).

(15) Ampiezza 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 canneto, in analogia al metodo *IFF*. Si considera quindi la seguente grandezza:

Ampiezza 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 6](#)).

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

(16) 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 possono essere effettuate per ogni tipologia di corso d'acqua.

(17) 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).

9.1.2 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, può rendersi necessario individuare e caratterizzare le nuove opere sul terreno o, quando possibile, da immagini. L'ubicazione e l'estensione lineare e/o areale di tutte le nuove opere ed interventi, e tutte le altre informazioni, possono essere poi riportate in ambiente GIS opportunamente georeferenziate e codificate. Si riporta di seguito l'elenco delle opere possibili, che hanno interesse dal punto di vista morfologico, e dei tipi di informazioni utili per il monitoraggio.

(18) Dighe

Si tratta delle opere di maggiore impatto sulla continuità delle portate liquide e solide. Le informazioni che possono essere utili sono le seguenti: (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 utile estendere il monitoraggio di nuove opere anche al bacino sotteso dal tratto.

(19) 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).

Le informazioni che possono essere utili sono le seguenti: (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. Le informazioni che possono essere utili per queste opere sono le seguenti: (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 26](#).

(20) 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.

Le informazioni che possono essere utili per ciascuna opera sono le seguenti: (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.

(21) 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 ridurre 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 ($< 1 \div 2$ m, [BENINI, 1990](#)), comprese le rampe in massi.

Le informazioni che possono essere utili per ciascuna opera sono le seguenti: (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.

(22) 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). Le informazioni che possono essere utili per ciascuna opera sono le seguenti: (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.

(23) Difese di sponda

Comprendono sia le opere di tipo longitudinale che i pennelli. Le informazioni che possono essere utili sono le seguenti: (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 DEPPA et al., 2004](#)).

(24) Arginature

Le informazioni che possono essere utili per questo tipo di opere sono le seguenti: (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.

(25) 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. Le informazioni che possono essere utili sono le seguenti: (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 utile 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 le informazioni che possono essere utili sono le seguenti: (1) ubicazione; (2) tipologia di intervento; (3) riduzione areale della forma fluviale; (4) anno di intervento.

(26) 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](#)). 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'involuppo 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 (ad 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 (ad es., 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 attraversata da una via di comunicazione).

(27) 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.

Le informazioni che possono essere utili sono le seguenti: (1) ubicazione; (2) tipologia (cunettone, rivestimento con massi, ecc.); (3) lunghezza del tratto interessato; (4) anno dell'intervento.

(28) 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.). Le informazioni che possono essere utili sono le seguenti: (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); (4) volume di sedimenti rimossi; (5) anno dell'intervento.

(29) 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 14](#) del paragrafo precedente.

(30) 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 perifluviali (ad esempio ingresso o incremento della presenza di specie esotiche).

Il complesso delle alterazioni viene comunque rilevato ai [punti 15](#) e [16](#) del paragrafo precedente, 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 perifluviale, i dati da reperire sono: (1) ubicazione; (2) estensione; (3) data dell'intervento.

9.1.3 Ulteriori elementi per l'analisi ed il monitoraggio

(31) Portate solide

Nell'elenco degli elementi morfologici naturali da monitorare precedente 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.

(32) 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.

9.2 Monitoraggio della qualità morfologica

A differenza di quanto avviene nella fase di valutazione dello stato attuale di un corso d'acqua, per la quale la normativa indica l'utilizzo dell'IQM, la fase di monitoraggio della qualità morfologica può essere realizzata attraverso l'impiego di differenti metodi. Il presente documento ha lo scopo di fornire un quadro di riferimento dei metodi utilizzabili per il monitoraggio, facendo riferimento, in particolare, a quanto prevede la normativa vigente (*Direttiva 2000/60/CE - WFD*) in materia di monitoraggio.

Viene illustrato inizialmente l'*Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQM_m)*, ossia una metodologia di monitoraggio molto in linea, da un punto di vista concettuale ed operativo, con l'IQM. Successivamente vengono presentate altre metodologie di monitoraggio morfologico, quali il monitoraggio e l'analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici e la modellazione morfodinamica. È utile sottolineare sin d'ora che la strategia di monitoraggio morfologico da adottare nei singoli casi specifici può essere in parte definita sulla base di quanto previsto dalla normativa vigente, in parte dipenderà da una serie di fattori, quali la tipologia di corso d'acqua in esame e le risorse finanziarie che si intende dedicare all'attività di monitoraggio.

9.2.1 L'Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQM_m)

L'esigenza di adottare una nuova procedura di valutazione morfologica ai fini del monitoraggio deriva dalle scale spaziali e temporali indagate, le quali sono differenti rispetto alla prima fase di valutazione e classificazione dello stato attuale di un corso d'acqua. In particolare, per quanto riguarda le scale temporali, l'*Indice di Qualità Morfologica (IQM)* consente una valutazione complessiva dello stato morfologico attuale di un tratto del corso d'acqua, prendendo in considerazione intervalli temporali di 50÷100 anni e, talvolta, anche maggiori. ***L'Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQM_m)*** è uno strumento specifico per il monitoraggio, utile per quantificare variazioni della qualità morfologica alla scala di alcuni anni, ad esempio dopo l'esecuzione di interventi che possono aver migliorato o peggiorato la qualità morfologica del corso d'acqua.

Le principali differenze tra IQM e IQM_m sono sintetizzate in [Tabella 9.2](#) e brevemente riportate di seguito:

- (1) L'IQM è lo strumento da utilizzare per la valutazione, la classificazione ed il monitoraggio dello stato morfologico (ovvero per determinare se un corpo idrico è in stato elevato, buono, ecc.). L'IQM_m è uno strumento specifico per il monitoraggio delle condizioni morfologiche nel breve periodo (si veda [punto \(3\)](#)). Esso rappresenta, abbinato all'IQM, l'indice da utilizzare ai fini dei diversi tipi di monitoraggio previsti dalla WFD, nonché nel caso di valutazioni di impatto e monitoraggio di interventi di stabilizzazione o di riqualificazione fluviale.
- (2) I punteggi dell'IQM si basano su una suddivisione in classi discrete, mentre nell'IQM_m i punteggi di alcuni indicatori vengono calcolati attraverso funzioni matematiche continue.
- (3) In conseguenza del punto precedente, l'IQM_m è più sensibile a variazioni degli indicatori che possono avvenire alla scala temporale di qualche anno, mentre l'IQM è stato sviluppato per fornire una valutazione complessiva ad una scala temporale più ampia (50÷100 anni) e può risultare pertanto insensibile, in termini di punteggio finale e classe di qualità, a variazioni, anche significative, di un certo indicatore.
- (4) Nonostante gli indicatori di variazioni morfologiche (V1, V2 e V3) utilizzati nell'IQM vadano monitorati, essi non vengono inclusi nel calcolo dell'IQM_m. Mentre nell'IQM è necessario considerare le variazioni morfologiche per valutare l'instabilità o meno del corso d'acqua nel recente passato, una variazione recente non può essere interpretata e quantificata con lo stesso criterio. Infatti, nel caso di un corso d'acqua che ha subito in passato delle variazioni morfologiche, le variazioni recenti vanno interpretate alla luce della traiettoria evolutiva del corso d'acqua stesso. In altre parole una significativa variazione morfologica recente, che comunque è indice di instabilità del corso d'acqua, può anche rappresentare un aspetto positivo per il corso d'acqua (ad esempio una fase di allargamento che segue ad un'intensa fase di restringimento). Le variazioni recenti devono quindi essere contestualizzate nella traiettoria evolutiva e non possono essere facilmente quantificate ai fini dell'IQM_m. Le variazioni morfologiche vengono comunque tenute in conto indirettamente attraverso gli indicatori di funzionalità. Ad esempio, nel caso di un fiume che da canale singolo si modifica verso una morfologia a canali multipli (a causa ad es.,

della rimozione di difese di sponda), le variazioni non sono calcolate nell' IQM_m , ma la funzionalità deve essere interpretata tenendo conto di questa tendenza (ossia non bisogna considerare come alterazione della morfologia la comparsa di forme non più tipiche di un corso d'acqua a canale singolo).

Tabella 9.2 – Principali caratteristiche di IQM e IQM_m .

INDICE	SCOPO	SCALA TEMPORALE	PUNTEGGI	APPLICAZIONI
IQM	Valutazione, classificazione e monitoraggio dello stato morfologico	50 ÷ 100 anni	Classi discrete	Strumento per valutare scostamento rispetto ad una condizione di riferimento
IQM_m	Monitoraggio delle condizioni morfologiche nel breve periodo	5 ÷ 10 anni	Funzioni continue e classi discrete	Strumento per valutare variazioni della qualità morfologica nel breve periodo

Nell' IQM_m , gli indicatori basati su criteri di presenza/assenza e/o prevalentemente basati su osservazioni ed interpretazioni sul terreno vengono mantenuti nel formato utilizzato per l' IQM , mentre vengono definite delle funzioni matematiche per quegli indicatori basati su parametri quantitativi (quali stime della percentuale di tratto soggetta ad alterazioni o numero di opere) ([Tabella 9.3](#)).

Tabella 9.3 – Lista degli indicatori per i cui punteggi sono definite funzioni matematiche per la valutazione attraverso l' IQM_m .

FUNZIONALITÀ	ARTIFICIALITÀ
F2, F3, F5, F6, F7, F9, F12, F13	A2, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A12

In maniera analoga all' IQM , l'Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQM_m) è definito come:

$$IQM_m = 1 - Stot/Smax$$

dove $Stot$ è lo scostamento totale, ottenuto dalla sommatoria dei punteggi relativi a tutti gli indicatori utilizzati, il quale viene normalizzato rapportandolo allo scostamento massimo possibile per la tipologia in esame ($Smax$). Il valore di $Smax$ per il calcolo dell' IQM_m è maggiore rispetto a quello utilizzato per l' IQM , dato che il punteggio massimo derivante dagli indicatori con funzione matematica dell' IQM_m risulta più elevato rispetto agli stessi indicatori dell' IQM .

Per l'applicazione pratica dell' IQM_m è possibile utilizzare le stesse schede di campo impiegate per l'applicazione dell' IQM , sfruttando i riquadri bianchi al di sotto degli indicatori riportati in [Tabella 9.3](#) per riportare le misure necessarie per l'applicazione delle funzioni matematiche. Le schede in formato elettronico dell' IQM_m sono disponibili sul sito web di ISPRA e consentono il calcolo in maniera automatica dell'indice.

Ai fini del monitoraggio, si possono distinguere due modalità di valutazione di entrambi gli indici IQM_m e IQM :

- (1) Valutazione completa: si basa su una ripetizione dettagliata della procedura di valutazione degli indici, la quale è possibile quando si rende disponibile un nuovo rilievo di immagini telerilevate.
- (2) Aggiornamento: si effettua sulla base degli elementi rilevabili sul terreno e delle informazioni riguardo a variazioni dello stato di artificialità del tratto (realizzazione di nuove opere, modifica o rimozione di opere esistenti, nuovi interventi di manutenzione, ecc.). Per quanto riguarda le misure ed osservazioni determinabili esclusivamente da immagini telerilevate, si fa riferimento agli stessi rilievi utilizzati nella precedente valutazione completa.

Esistono alcuni casi per i quali è necessario prestare particolare attenzione:

- (1) Interventi di riqualificazione fluviale. Nel caso di interventi di riqualificazione di poco precedenti alla valutazione in programma e che abbiano interessato porzioni significative del tratto, è consigliabile effettuare una nuova valutazione ad una certa distanza di tempo dagli interventi (ad

esempio dopo che si sia verificata almeno una piena formativa). Nel caso di interventi di “ricostruzione morfologica” (ovvero di una modificazione diretta della morfologia dell’alveo), è necessario attendere un certo periodo di tempo affinché il corso d’acqua si adatti alle nuove condizioni determinate dall’intervento.

- (2) Eventi di piena di forte intensità. Nel caso in cui, nell’intervallo temporale tra le due valutazioni, si sia verificato un evento di piena di forte intensità, ovvero con elevati tempi di ritorno (di norma $TR > 20$ anni), occorre prestare particolare attenzione all’interpretazione delle osservazioni in quanto possono essere influenzate, in una certa misura, dalle eventuali modificazioni morfologiche legate all’evento.

USO INTEGRATO DI IQM_m E IQM

Gli indici IQM e IQM_m valutano la qualità morfologica ad una diversa scala temporale, pertanto non devono essere considerati alternativi quanto complementari tra loro. L’ IQM fornisce infatti un giudizio complessivo sulle condizioni morfologiche del corso d’acqua ed è adatto per scopi di classificazione e monitoraggio dello stato morfologico (ad es. il passaggio da uno stato moderato a buono o viceversa viene verificato attraverso l’ IQM). L’ IQM_m fornisce un’indicazione sulla tendenza della qualità morfologica nel breve termine. A tal fine, il valore di IQM_m relativo ad una singola situazione non è di per sé indicativo, ma lo è la differenza dell’indice tra due rilievi successivi, la quale indicherà la tendenza al miglioramento o al peggioramento della qualità morfologica. È pertanto sempre indispensabile abbinare all’ IQM_m anche una nuova valutazione dell’ IQM , necessaria per valutare eventuali modificazioni nello stato complessivo del corso d’acqua. A tal proposito, è utile ricordare che quest’ultimo viene automaticamente determinato una volta che si effettua la valutazione IQM_m , in quanto sono disponibili tutte le informazioni necessarie per il suo calcolo, eccetto quelle relative agli indicatori di variazione morfologica (le quali comunque vanno monitorate indipendentemente dall’ IQM_m).

9.2.2 Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici

Un approccio di monitoraggio differente rispetto all’ IQM_m è quello di effettuare misure periodiche di uno o più parametri morfologici, sulla base delle quali visualizzarne ed analizzarne la tendenza temporale. Questo tipo di approccio può essere richiesto per alcuni tipi di monitoraggio finalizzati ad una comprensione dettagliata dell’evoluzione temporale di alcuni aspetti e delle relative cause (si veda in seguito).

La scelta dei parametri da monitorare nel dettaglio dipende caso per caso, in funzione delle finalità del monitoraggio e del tipo di pressione, ovvero vanno selezionati quei parametri più sensibili alle pressioni a cui il corso d’acqua è soggetto. A seconda della tipologia morfologica, gli aspetti da monitorare possono essere i seguenti:

- Indici planimetrici (indice di sinuosità, intrecciamento, anabranching, a seconda della tipologia del corso d’acqua): determinabili da telerilevamento/GIS, nel caso di disponibilità di nuove immagini, ed in alcuni casi sul terreno (alvei di piccole dimensioni).
- Configurazione della sezione e profilo longitudinale (larghezza, profondità, rapporto larghezza/profondità, variazione di quota del fondo, pendenza): determinabili attraverso misure sul terreno (la larghezza è determinabile da telerilevamento/GIS nel caso di nuove immagini disponibili).
- Struttura del fondo (corazzamento, clogging): tali aspetti possono essere importanti soprattutto nel caso di opere trasversali con forte impatto (es. diga, briglia di trattenuta, impianti idroelettrici). Le valutazioni si possono basare su osservazioni visive in base alle quali accertare l’esistenza e l’estensione longitudinale dell’alterazione. In alcuni casi particolarmente problematici, si potrebbe valutare quantitativamente il grado di corazzamento.
- Indicatori IQM_m : in presenza di pressioni specifiche che possono avere effetti solo su determinati aspetti, è possibile prevedere il monitoraggio di dettaglio di alcuni indicatori IQM_m da selezionare a seconda dei casi. In questo caso, per la valutazione delle variazioni degli indicatori, si farà riferimento ai punteggi definiti attraverso le funzioni matematiche utilizzate per il calcolo dell’ IQM_m .

La scansione temporale è anch’essa variabile in funzione di finalità e pressioni, ma in genere le misure vanno effettuate con maggiore frequenza rispetto alle valutazioni degli indici IQM e/o IQM_m .

Di norma, la frequenza temporale può essere di 1 volta ogni anno e può essere programmata anche sulla base della frequenza/intensità delle portate formative che si verificano nel periodo d'interesse.

Il risultato di questo tipo di monitoraggio è la ricostruzione della traiettoria evolutiva di uno più parametri morfologici. La traiettoria evolutiva consente di valutare eventuali modificazioni nella morfologia del corso d'acqua con una maggiore risoluzione temporale rispetto a quanto realizzato con IQM e IQM_m e può consentire una migliore comprensione dei fattori che controllano l'evoluzione morfologica (ossia una migliore definizione di relazioni causa-effetto).

9.2.3 Monitoraggio ai fini della WFD

Ai fini della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (*Water Framework Directive – WFD*) sono previsti 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 a rischio di non soddisfare gli obiettivi della *WFD*, per i quali tale rischio è legato anche a cause e pressioni idromorfologiche. Il programma di misure per il monitoraggio operativo deve quindi fare uso di quei parametri indicativi degli elementi di qualità morfologica 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 accertare le cause per le quali gli obiettivi non sono raggiunti; (c) per accertare gli impatti di eventi accidentali (ad esempio collasso di opere e/o realizzazione di nuove opere alle quali potrebbe essere legato il mancato raggiungimento di determinati obiettivi).

Nella [Tabella 9.4](#) si riportano sinteticamente le metodologie di monitoraggio e le relative frequenze spaziali e temporali associabili ad ognuno dei tipi di monitoraggio previsti dalla *WFD*. Infine, nel caso di forti pressioni idrologiche, è opportuno abbinare al monitoraggio morfologico l'uso dell'indice *Indice di Alterazione del Regime Idrologico (IARI)*.

Tabella 9.4 – Tipi di monitoraggio ai fini della WFD e relative metodologie applicabili.

TIPO DI MONITORAGGIO PER WFD	METODOLOGIA DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO	FREQUENZA SPAZIALE	FREQUENZA TEMPORALE
Sorveglianza	- Ripetizione periodica della valutazione IQM _m e IQM	Numero relativamente elevato di corpi idrici nel bacino rappresentativi di contesti fisiografici e morfologie diverse	1 volta ogni 6 anni (ciclo di gestione)
Operativo	- Ripetizione periodica della valutazione IQM _m e IQM - Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici	Corpi idrici a rischio di non soddisfare gli obiettivi	1 volta ogni 2 o 3 anni
Investigativo	- Ripetizione periodica della valutazione IQM _m e IQM - Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici	Casi particolari	1 volta ogni anno

MONITORAGGIO DI SORVEGLIANZA

Secondo quanto riportato in [Tabella 9.4](#), il monitoraggio di sorveglianza consiste nella ripetizione periodica della valutazione IQM_m e IQM.

Modalità

L'intervallo temporale tra due rilievi successivi dovrebbe consentire di disporre nella maggior parte dei casi di un nuovo rilievo di immagini telerilevate (foto aeree o immagini satellitari), tale da permettere l'applicazione della valutazione completa dei due indici. In caso contrario, si procede ad un aggiornamento IQM_m e IQM sulla base di osservazioni/misure sul terreno ed informazioni da parte degli enti relativamente agli elementi che possono aver subito variazioni rispetto al precedente rilievo.

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto. Nel caso il corpo idrico comprenda 1 o 2 tratti, il monitoraggio va effettuato lungo l'intero corpo idrico. Nel caso il corpo idrico comprenda numerosi tratti (>2), il monitoraggio morfologico si effettua almeno sui due tratti con valore minimo e massimo dell' IQM iniziale.

Frequenza temporale

La frequenza temporale è di una volta ogni 6 anni.

MONITORAGGIO OPERATIVO

Il monitoraggio operativo degli aspetti idromorfologici è finalizzato a verificare le variazioni future di quei corsi d'acqua identificati come corpi idrici a rischio, ed è strettamente legato alle pressioni a cui il corso d'acqua è soggetto.

In accordo a quanto riportato in [Tabella 9.4](#), si possono definire due procedure di monitoraggio soprattutto in funzione delle variazioni di artificialità, come di seguito descritto.

(1) Casi in cui l'artificialità non sia significativamente cambiata

Tale modalità è simile al monitoraggio di sorveglianza, e si applica ai casi di corpi idrici a rischio ma lungo i quali non è cambiato significativamente lo stato di artificialità, ovvero in tempi recenti non si sono realizzate nuove opere o modificate opere esistenti aventi un impatto significativo. In questi casi, l'aggiornamento e, periodicamente, la valutazione completa dei due indici (quando sono disponibili nuove immagini telerilevate) sono necessari per monitorare eventuali peggioramenti del corpo idrico a rischio.

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto. Nel caso il corpo idrico comprenda più tratti, il monitoraggio morfologico si effettua su tutti i tratti.

Frequenza temporale

La frequenza temporale è superiore a quella che caratterizza il monitoraggio di sorveglianza, ovvero l'aggiornamento degli indici si effettua una volta ogni 2 o 3 anni, mentre la valutazione completa si effettua con frequenza inferiore (ogni 6 anni).

(2) Casi di realizzazione o modifica recente di opere

Nel caso di recente realizzazione o modifica di opere di una certa importanza che potrebbero condizionare significativamente la qualità morfologica del corpo idrico a rischio, si effettuano: (1) valutazione tramite IQM_m e IQM ; (2) monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici; (3) nel caso di forti pressioni di natura idrologica, valutazione tramite lo IARI. Sono da considerare opere importanti le seguenti:

- Opere trasversali aventi impatti significativi sulla continuità longitudinale nel flusso di sedimenti (dighe, briglie di trattenuta, traverse, sequenza di briglie a gradinata, rampe, rivestimenti).
- Opere con impatti significativi sulle portate formative (dighe, casse di espansione, diversivi o scolmatori).
- Opere di derivazione con impatti significativi sul regime idrologico.
- Per quanto riguarda le opere non incluse nei punti precedenti (ad es., difese di sponda), esse vanno valutate o meno a seconda dei casi, in funzione soprattutto della dimensione dell'opera in rapporto alla dimensione del corso d'acqua. Il loro impatto verrà in tutti i casi valutato attraverso l'applicazione degli indici IQM_m e IQM .
- Tale tipo di procedura può essere applicata anche laddove si ravvisa la presenza di pressioni importanti, non necessariamente all'interno del corpo idrico (ad es. diga o briglie ad una certa distanza a monte, variazioni di uso del suolo, ecc.), alle quali potrebbero essere riconducibili significative alterazioni morfologiche.

L'analisi dei dati si concretizza in: (1) *valutazione IQM_m* (oltre che *IQM*), particolarmente indicata per seguire nel dettaglio l'evoluzione nel tempo dello stato morfologico complessivo del corso d'acqua; (2) *ricostruzione dei trend temporali dei singoli parametri*, utile per visualizzare/analizzare la traiettoria evolutiva del corso d'acqua e quindi meglio comprendere la sua risposta morfologica alle pressioni.

Scala spaziale

La scala spaziale è variabile a seconda dei parametri misurati. Per i parametri misurati da immagini telerilevate, la scala spaziale rimane quella del tratto. Per i parametri misurati sul terreno, la scala spaziale va valutata in funzione dell'impatto che può essere determinato dall'opera.

Frequenza temporale

La frequenza temporale è di una volta ogni 2 o 3 anni.

MONITORAGGIO INVESTIGATIVO

Il monitoraggio investigativo degli aspetti idromorfologici si applica in casi particolari, ad esempio quando non si conoscono le cause per le quali non sono raggiunti determinati obiettivi. Tale monitoraggio, in linea di massima, è riconducibile a quello operativo, prevedendo due possibili modalità (valutazione *IQM_m* e *IQM* e/o tendenze temporali di parametri specifici). Tuttavia esso va adattato in funzione del problema specifico che si va ad investigare.

9.2.4 Valutazione di impatto di opere

Ai fini di una valutazione di impatto di una singola opera o intervento (inclusi eventuali interventi di riqualificazione fluviale), sia durante la fase progettuale che nella fase successiva alla sua realizzazione, si possono impiegare diversi tipi di analisi geomorfologiche con grado di complessità crescente:

- (1) Valutazione di impatto attraverso l'*IQM_m*: tale procedura può essere impiegata per una prima valutazione degli impatti di qualunque nuovo intervento.
- (2) Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici.
- (3) Valutazione degli impatti dell'opera sulle portate solide attraverso la quantificazione dei bilanci di sedimenti: tale procedura si utilizza nel caso di opere che possono avere un impatto sulla continuità longitudinale delle portate solide (ad es., impianti idroelettrici a serbatoio, briglie di trattenuta, ecc.).
- (4) Modellistica idrodinamica e morfodinamica: tale approccio può essere utilizzato per quantificare nel dettaglio gli impatti che un'opera può avere sul campo di moto della fase liquida e sulla morfologia dell'alveo.
- (5) Modellistica di habitat: è un approccio utile per quantificare l'effetto sugli habitat di particolari tipi di impatto o di interventi di riqualificazione.

(1) Valutazione di impatto attraverso l'*IQM_m*

L'*IQM_m* è uno strumento particolarmente adatto per la valutazione dei possibili impatti dell'opera in fase di progetto in quanto, a differenza dell'*IQM*, è stato sviluppato proprio per essere sensibile agli impatti di interventi che hanno piccola estensione spaziale rispetto al tratto. Si realizza una *valutazione ante operam*, che coincide con lo stato attuale del corso d'acqua, ed una *valutazione post operam*, che ipotizza come varieranno gli indicatori morfologici a seguito della realizzazione dell'intervento e li quantifica in termini di *IQM_m*.

All'*IQM_m* si affianca l'applicazione dello *IARI* per valutare gli effetti dell'opera sul regime idrologico, utilizzando i dati giornalieri od eventualmente sub-giornalieri (orari) in relazione alla pressione indotta dall'intervento.

(2) Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici

In seguito all'eventuale realizzazione dell'opera, si procede con il monitoraggio e l'analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici (analogamente a quanto previsto nel monitoraggio operativo per la *WFD*). La valutazione *IQM_m* può essere anche in questo caso affiancata al monitoraggio per valutare come le modificazioni temporali dei parametri monitorati si riflettano sullo stato morfologico complessivo.

(3) Quantificazione degli impatti sulle portate solide

La quantificazione delle portate solide e del bilancio di sedimenti può essere opportunamente impiegata per valutare gli impatti sulla continuità di sedimenti che possono avere vari tipi di opere.

Ad esempio nel caso di un'opera trasversale, anche se questa non causa un'intercettazione completa dei sedimenti, essa può comunque variare le condizioni idrauliche del tratto a monte (ad esempio tramite la riduzione della pendenza e quindi di velocità e tensioni tangenziali) e pertanto può incidere sulla capacità di trasporto complessiva di un certo tratto e di conseguenza sulla dinamica temporale del trasferimento verso valle del sedimento, oltre che sulla morfologia ed evoluzione del tratto stesso. Infatti, le classi granulometriche più grossolane potrebbero risultare non più trasportabili del tutto oppure soltanto con portate liquide a frequenza minore. Di questi effetti si può tener conto attraverso l'applicazione di equazioni di trasporto solido adeguate al contesto morfologico in esame. Nel caso "estremo" di intercettazione totale del trasporto solido al fondo, questo potrà essere modellato imponendo una portata solida nulla in ingresso al tratto immediatamente a valle. Nel caso di realizzazione dell'opera, un bilancio di sedimenti può anche essere realizzato attraverso il confronto di DTM o di sezioni topografiche.

Discretizzando opportunamente la porzione di corso d'acqua influenzata dall'opera, è pertanto possibile valutare gli effetti della stessa sulle condizioni di erosione – sedimentazione a monte ed a valle rispetto alla condizione *ante operam*.

(4) Modellistica idrodinamica e morfodinamica

È possibile utilizzare un approccio basato sulla modellistica numerica per valutare nel dettaglio gli effetti di un'opera. La modellistica idrodinamica permette di valutare gli effetti dell'opera sul campo di moto della fase liquida, mentre la modellistica morfodinamica permette di valutare gli effetti dell'opera sulle portate solide e sulla morfologia dell'alveo.

(5) Modellistica di habitat

Tale approccio consiste nella combinazione di modelli idrodinamici (ed eventualmente morfodinamici) con modelli di habitat, ossia funzioni specifiche (curve di preferenza) che definiscono quali variabilità e disponibilità di condizioni idrodinamiche siano necessarie per supportare determinate specie. L'applicazione di modelli di simulazione alla scala di mesohabitat e di indici ad essi associati può quindi essere utile sia per quantificare l'impatto sugli habitat di particolari tipi di impatto (ad esempio, alterazione delle portate liquide per realizzazione di impianti idroelettrici) che per valutare gli effetti di interventi di riqualificazione ([PARASIEWICZ et al., 2012](#); [VEZZA et al., 2013](#)).

9.3 Monitoraggio della dinamica morfologica

In maniera analoga alla qualità morfologica, il monitoraggio della dinamica morfologica si può basare sulle seguenti procedure: (1) Valutazione tramite l'Indice di Dinamica Morfologica (*IDM*) e della Classificazione della Dinamica di Evento (*CDE*); (2) Monitoraggio e tendenze temporali di parametri morfologici.

(1) Valutazione tramite IDM e CDE

Consiste nell'applicazione periodica della procedura dettagliata o dell'aggiornamento degli indici sulla base della conoscenza delle variazioni di alcuni indicatori (ad es., a seguito della realizzazione di nuove opere).

(2) Monitoraggio e tendenze temporali di parametri morfologici

I parametri più rilevanti, in questo caso, sono quelli associati alle variazioni morfologiche e quindi alla conoscenza dettagliata delle tendenze attuali. Essi comprendono in primo luogo la larghezza e la quota del fondo. La scelta dei parametri da monitorare nel dettaglio dipende caso per caso, in funzione delle finalità del monitoraggio e del tipo di problema particolare, ovvero vanno selezionati quei parametri maggiormente legati alle condizioni di pericolosità associate al corso d'acqua in esame. Ad esempio, in tratti non confinati con elevata pericolosità dovuta alla mobilità laterale, l'arretramento delle sponde è un aspetto preponderante da monitorare.

Riguardo infine la valutazione di impatto di opere, valgono analoghe considerazioni fatte per la qualità morfologica, ovvero l'impatto può essere valutato attraverso: (1) valutazione di impatto tramite *IDM* e *CDE*; (2) quantificazione degli impatti sulle portate solide; (3) modellistica idrodinamica e morfodinamica; (4) monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici.

10. PREVISIONE DELL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA

10.1 Premessa

L'utilizzo di strumenti e modelli previsionali sta acquisendo un ruolo importante nel campo della Geomorfologia Fluviale e delle sue applicazioni pratiche alla gestione dei corsi d'acqua. Tuttavia, la previsione dell'evoluzione morfologica degli alvei fluviali è un tema complesso per il quale, a differenza di molti argomenti trattati nei capitoli precedenti, non esistono a oggi metodologie e strumenti ben consolidati e pienamente condivisi, sia in campo scientifico che in quello applicativo. Ciò è dovuto alla complessità intrinseca dei processi attraverso i quali si esplicano le variazioni morfologiche in risposta ai vari tipi di fattori di controllo e alla difficoltà di esprimere i legami causa-effetto ([WILCOCK & IVERSON, 2003](#)). Numerose sono, infatti, le discussioni sull'argomento che evidenziano le problematiche, le incertezze, i vantaggi e i limiti nell'uso di modelli previsionali (si veda, ad es., a [WILCOCK & IVERSON, 2003](#); [DARBY & VAN DE WIEL, 2003](#); [COULTHARD & VAN DE WIEL, 2012](#)). Uno dei problemi nella capacità di previsione dell'evoluzione morfologica risiede ad esempio nel fatto che i sistemi fluviali sono per loro natura non-lineari, pertanto qualunque modello è fortemente sensibile alla definizione delle condizioni iniziali e alla variabilità delle condizioni al contorno, le quali possono talora impedire una qualunque previsione attendibile dell'evoluzione futura del sistema ([MURRAY & PAOLA, 1994](#); [DARBY & VAN DE WIEL, 2003](#)).

Tenendo conto di tali problematiche, in questo capitolo si intende fornire una breve rassegna delle metodologie disponibili e dei relativi limiti per la previsione dell'evoluzione morfologica degli alvei fluviali. Successivamente, saranno identificati gli aspetti di maggior interesse e le valutazioni che meglio si adattano alle finalità della metodologia IDRAIM.

10.2 Metodologie per la previsione dell'evoluzione morfologica degli alvei fluviali

I modelli sono rappresentazioni della realtà fisica, utilizzati per descriverne o spiegarne il comportamento e/o per realizzare previsioni quali-quantitative ([DARBY & VAN DE WIEL, 2003](#)). Nel campo della Geomorfologia Fluviale si possono distinguere cinque categorie di modelli ([DARBY & VAN DE WIEL, 2003](#); [HOOKE, 2003](#); [ZILIANI, 2011](#)): (1) concettuali; (2) empirico/statistici; (3) analitici; (4) fisici; (5) numerici. Di seguito si descrivono le principali caratteristiche di ognuna di queste categorie, mentre in [Tabella 10.1](#) è riportata una sintesi complessiva di applicazioni, vantaggi e limiti.

10.2.1 Modelli concettuali

I modelli concettuali rappresentano un'importante categoria di strumenti in grado di fornire descrizioni e previsioni qualitative delle variazioni morfologiche di alvei fluviali e, più in generale, dell'evoluzione del paesaggio. Tali modelli si basano sull'utilizzo di dati empirici e osservazioni sul terreno relative all'evoluzione di un certo numero di casi di studio. Il loro campo di applicazione, pertanto, è necessariamente limitato a contesti simili a quelli per i quali sono state condotte le osservazioni. Il principale vantaggio dei modelli concettuali consiste nella loro relativa semplicità, caratteristica che ne rappresenta al tempo stesso anche uno dei maggiori limiti. I risultati dell'applicazione di un modello concettuale sono, infatti, di tipo qualitativo. Essi permettono la comprensione e la previsione delle possibili direzioni di evoluzione del sistema fluviale, eventualmente seguite dall'applicazione di modelli più complessi finalizzati a stime di tipo quantitativo ([DARBY & VAN DE WIEL, 2003](#)).

Gli esempi più diffusi di modelli concettuali nel campo della Geomorfologia Fluviale sono i cosiddetti *Channel Evolution Models* (CEMs), sviluppati negli USA per descrivere l'evoluzione dei corsi d'acqua a canale singolo a seguito di interventi di canalizzazione e rettificazione ([SCHUMM et al., 1984](#); [WATSON et al., 1986](#); [SIMON & HUPP, 1986](#); [SIMON, 1989](#)). Tali modelli si basano sul concetto di sostituzione spazio-tempo, nota anche come ipotesi ergodica ([BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)).

Tabella 10.1 – Sintesi delle principali caratteristiche di modelli previsionali in Geomorfologia Fluviale (modificato da [DARBY & VAN DE WIEL, 2003](#) e da [ZILIANI, 2011](#)).

TIPO DI MODELLI	TIPICHE APPLICAZIONI	VANTAGGI	LIMITI	SCALA SPAZIALE
Concettuali	- Indagini preliminari - Previsioni qualitative	- Adatto per rapida valutazione e per ampie aree - Relativamente semplici, richiedono poche risorse e dati limitati	- Richiedono training ed esperienza in Geomorfologia e capacità di osservazioni sul terreno - Solo risultati qualitativi - Applicabili solo a contesti simili a quello di costituzione del set di dati di riferimento	Dal sito all'intera asta fluviale
Empirico/ Statistici	- Progettazione di alvei fluviali stabili - Previsioni quantitative - Paleo-idrologia	- Facili da comprendere e utilizzare - Dati di input generalmente reperibili con relativa facilità	- Specificità di applicazione al singolo sito - Non forniscono informazioni su tassi di variazione - Richiedono una stima delle portate formative - Dimensionalmente inconsistenti	Sezioni rappresentative di tratti fluviali relativamente brevi
Analitici	- Progettazione di alvei fluviali stabili - Previsioni quantitative	- Il miglioramento delle basi fisiche li rende spesso applicabili a un range di situazioni - Richiedono dati di input in genere acquisibili agevolmente - Notevole rilevanza teorica	- Forte semplificazione di alcuni processi e talora sono piuttosto complessi - Non forniscono informazioni su tassi di variazione - Richiedono in genere una stima delle portate formative	Sezione/tratto
Fisici	- Impatti di interventi - Verifica modelli numerici	- Massima aderenza alla realtà	- Costi e tempi di realizzazione molto elevati - Applicabili a contesti limitati nello spazio - Simulazioni a evento o per valori di portata di progetto/ formativi; difficoltà di simulare serie idrometriche naturali	Sito/tratto
Numerici	- Progettazione di alvei fluviali - Previsioni quantitative	- Range di condizioni di applicabilità molto ampio - Forniscono previsioni anche di dettaglio	- Modelli complessi che richiedono training specifico ed esperienza - Dati di input richiesti piuttosto onerosi per quantità e dettaglio	Dal sito all'intera asta fluviale

Ulteriori esempi di modelli concettuali sono quelli proposti da [SURIAN & RINALDI \(2003\)](#) ([Figura 1.18](#)) e da [RINALDI et al. \(2008\)](#) ([Figura 1.21](#)), relativi all'evoluzione recente dei fiumi italiani (si veda [CAPITOLO 1](#)). Uno sviluppo aggiuntivo di tali modelli è rappresentato dalla possibilità di fornire indicazioni sui possibili scenari futuri di evoluzione. Nel modello concettuale descritto in [SURIAN et al. \(2009e\)](#), viene classificata l'entità della risposta morfologica di alcuni corsi d'acqua veneto-friulani (A: intensa, B: moderata, C: lieve o assente) sulla base della traiettoria evolutiva degli ultimi 200 anni. Per ciascuna classe della risposta morfologica vengono formulate alcune ipotesi evolutive, pesando qualitativamente gli effetti indotti da eventuali interventi gestionali a scala di bacino o di tratto ([Figura 10.1](#)).

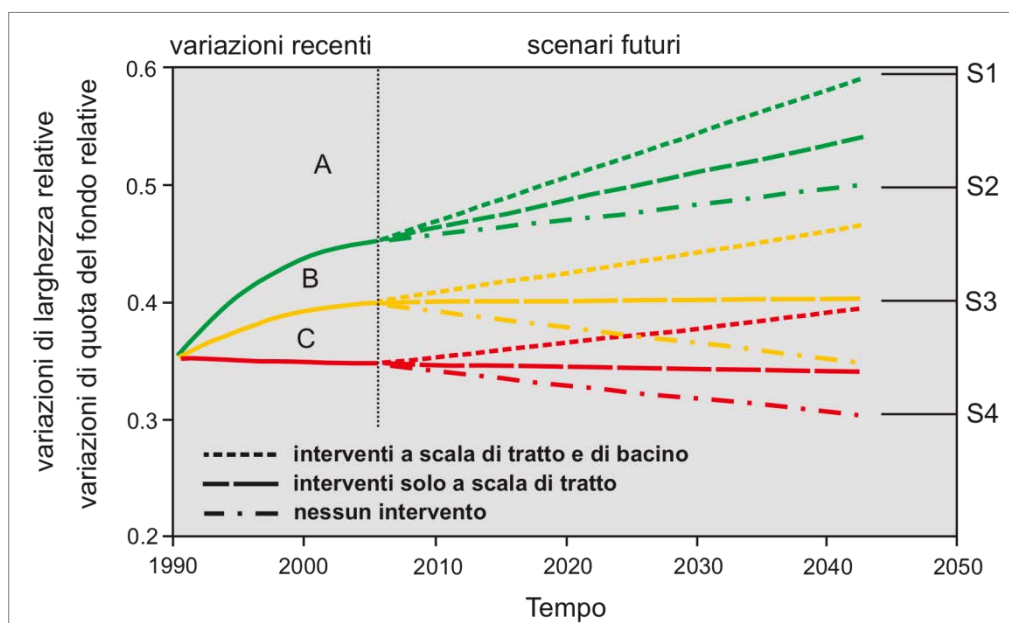


Figura 10.1 – Scenari futuri di variazione morfologica in accordo con le differenti strategie di gestione dei sedimenti. L'intensità relativa delle variazioni di larghezza e di quota del fondo sono calcolate in riferimento alla morfologia di fine XIX sec.–inizio XX sec.. Vengono mostrate differenti traiettorie di evoluzione recente: A: variazione morfologica intensa; B: variazione morfologica moderata; C: variazione morfologica lieve o assente. S1–S4: possibili condizioni finali (da S1 = massima variazione morfologica a S4 = ulteriore restringimento/abbassamento del fondo) (modificato da [SURIAN et al. \(2009e\)](#)).

10.2.2 Modelli empirico / statistici

I modelli di tipo empirico / statistico hanno svolto un ruolo preminente nello sviluppo della Geomorfologia Fluviale durante gli ultimi 60 anni circa. A partire dai primi studi di “geometria idraulica” ([LEOPOLD & MADDOCK, 1953](#)), questi modelli sono stati soprattutto impiegati per sviluppare le relazioni funzionali tra variabili dipendenti (dimensioni e forma del corso d'acqua) e variabili indipendenti (portate liquide e solide) ([WILLIAMS, 1978](#); [HEY & THORNE, 1986](#); [RHOADS, 1992](#)). Il limite principale delle equazioni di “geometria idraulica” è che esse sono utilizzate per quantificare le dimensioni di un corso d'acqua stabile, ovvero in condizioni di ‘equilibrio dinamico’ (generalmente si tratta di corsi d'acqua a canale singolo). Esse sono quindi poco adatte a prevedere i possibili aggiustamenti morfologici che occorrono durante una condizione di instabilità ([SHIELDS et al., 2003](#)).

Numerose equazioni di tipo empirico e analitico sono state sviluppate per prevedere la stabilità di una data configurazione morfologica planimetrica. Esse consistono infatti in una funzione di ‘soglia’ che separa il campo di esistenza di differenti configurazioni planimetriche, per vari tipi morfologici e dimensioni dei sedimenti dell'alveo. Una lista di funzioni utilizzabili per prevedere la configurazione planimetrica stabile è riportata in [Tabella 10.2](#), derivata dalla revisione sull'argomento di [THORNE \(1997\)](#). Tale tabella include anche l'equazione derivata successivamente da [EATON et al. \(2010\)](#) che hanno introdotto la resistenza della sponda come variabile addizionale di cui tener conto.

Tabella 10.2 – Equazioni per la previsione della configurazione morfologica (modificata da [BRIDGE, 1993](#) e da [THORNE, 1997](#)). (*): unità di misura Sistema Internazionale

AUTORE	EQUAZIONE (*)	DESCRIZIONE
LANE (1957)	$S = 0.007 Q_m^{-0.25}$	Soglia meandriformi-transizionali, corsi d'acqua sabbiosi
	$S = 0.0041 Q_m^{-0.25}$	Soglia transizionali-canali intrecciati, corsi d'acqua sabbiosi
	dove S = pendenza del fondo; Q_m = portata media annua (m ³ /s)	
LEOPOLD & WOLMAN (1957)	$S = 0.013 Q_b^{-0.25}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati
	dove S = pendenza del fondo; Q_b = portata ad alveo pieno (m ³ /s)	
HENDERSON (1961)	$S = 0.000196 D^{1.14} Q_b^{-0.44}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati
	dove S = pendenza del fondo; D = profondità media (m); Q_b = portata ad alveo pieno (m ³ /s)	
ANTROPOVSKY (1972)	$S = 1.4 Q_{ma}^{-1}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati
	dove S = pendenza del fondo; Q_{ma} = portata media al colmo (m ³ /s)	
PARKER (1976)	$S/Fr \approx d/w$	Soglia meandriformi-canali intrecciati
	dove S = pendenza del fondo; Fr = numero di Froude; d = profondità dell'alveo (m); w = larghezza dell'alveo (m)	
FREDSOE (1978)	$\Theta = (\tau(s - 1)) D_{50}$	Diagramma di stabilità con soglie rettilinee -meandriformi-canali intrecciati
	dove Θ = tensione adimensionale o parametro di Shields; τ = tensione tangenziale (N/m ²); s = gravità specifica dei sedimenti; D_{50} = dimensione mediana dei sedimenti (m)	
BEGIN et al. (1981)	$S = 0.0016 Q_m^{-0.3}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati per alveo standard con $\tau = \tau_{ave}$
	$S = 0.0016 (\tau/\tau_{ave}) Q_m^{-0.3}$	Relazione per alvei non standard ($\tau \neq \tau_{ave}$)
	dove S = pendenza del fondo; τ = tensione tangenziale (N/m ²); τ_{ave} = tensione tangenziale media nella sezione (N/m ²); Q_m = portata media annua (m ³ /s)	
ACKERS (1982)	$S = 0.0008 Q^{-0.21}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati per alvei sabbiosi
BRAY (1982)	$S = 0.07 Q_2^{-0.44}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati per alvei ghiaiosi
	dove S = pendenza del fondo; Q = portata (m ³ /s); Q_2 = portata con tempo di ritorno di 2 anni (m ³ /s);	
FERGUSON (1984)	$S = 0.042 Q^{-0.49} D_{50}^{0.09}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati per alvei ghiaiosi
	$S = 0.056 Q^{-0.5}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati per qualunque corso d'acqua
	$S = 0.0049 Q^{-0.21} D_{50}^{0.52}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati basata su teoria di <i>Parker</i> e geometria idraulica
	dove S = pendenza del fondo; Q = portata (m ³ /s); D_{50} = dimensione mediana dei sedimenti (m)	
CHANG (1985)	$S \approx a Q^{-0.5} D^{0.5}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati
	dove S = pendenza del fondo; Q = portata (m ³ /s); a = coefficiente empirico; D = diametro caratteristico dei sedimenti (m)	

Tabella 10.2 (segue) – Equazioni per la previsione della configurazione morfologica (modificata da [BRIDGE, 1993](#) e da [THORNE, 1997](#)). (*): unità di misura Sistema Internazionale

AUTORE	EQUAZIONE (*)	DESCRIZIONE
ROBERTSON-RINTOUL & RICHARDS (1993)	$\Sigma P = 1 + 5.52 (Q S_v)^{0.4} D_{84}^{-0.14}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati per alvei ghiaiosi
	$\Sigma P = 1 + 2.64 (Q S_v)^{0.4} D_{84}^{-0.14}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati per alvei sabbiosi
	ΣP = sinuosità totale; Q = portata; S_v = pendenza della valle; D_{84} = 84 ^{imo} percentile della distribuzione granulometrica dei sedimenti (m)	
VAN DE BERG (1995)	$\omega_{vt} = 843 D_{50}^{0.41}$	Soglia meandriformi-canali intrecciati
	$\omega_v = 2.15 S_v Q_b^{0.5}$	Potenza della corrente specifica per alvei sabbiosi
	$\omega_v = 3.3 S_v Q_b^{0.5}$	Potenza della corrente specifica per alvei ghiaiosi
	dove ω_{vt} = potenza della corrente specifica alla transizione tra meandriforme e canali intrecciati (W/m ²); ω_v = potenza della corrente specifica (W/m ²); D_{50} = dimensione mediana dei sedimenti (m); S_v = pendenza della valle; Q_b = portata ad alveo pieno (m ³ /s)	
EATON et al. (2010)	$S^* = 0.40 \mu' 1.41 Q^{*-0.43}$	Soglia canale singolo- <i>anabranching</i>
	$S_N^* = 0.72 \mu' 1.41 Q^{*-0.43}$	Soglia <i>anabranching</i> -canali intrecciati
	dove: $Q^* = \frac{Q}{D_{50}^2 \sqrt{(s-1)gD_{50}}}$ S^* = soglia di pendenza tra canale singolo e <i>anabranching</i> ; μ' = resistenza della sponda (adimensionale) data dal rapporto tra la tensione critica per i sedimenti di sponda e la tensione critica per i sedimenti del fondo; S_N^* = soglia di pendenza tra canali multipli stabili e instabili; Q = portata; s = gravità specifica dei sedimenti; g = accelerazione di gravità; D_{50} = dimensione mediana dei sedimenti (m);	

Al fine di prevedere le risposte morfologiche relative a qualche tipo di disturbo del sistema fluviale, si possono annoverare le relazioni sviluppate da [LANE \(1955\)](#) e da [SCHUMM \(1977\)](#) (per le quali si rimanda al [CAPITOLO 1](#)). Tali espressioni non hanno una valenza quantitativa previsionale, ma consistono piuttosto in una serie di relazioni semi-quantitative (dimensionalmente inconsistenti) utili per una previsione della possibile direzione o del tipo di aggiustamento morfologico derivante da alterazioni di una o più tra le variabili considerate. Esse possono essere infatti considerate un approccio intermedio tra i modelli empirici (in quanto esprimono una relazione funzionale tra variabili dipendenti e indipendenti) e concettuali.

Un diverso metodo rientrando tra i modelli di tipo empirico / statistico è quello di individuare una funzione matematica che meglio approssima l'andamento temporale (ovvero la traiettoria di evoluzione) di un determinato parametro morfologico (ad es. la quota del fondo) in base ai dati disponibili in una sezione o in un tratto del corso d'acqua. In alvei instabili, l'andamento temporale della quota del fondo è tipicamente descritto da funzioni non lineari in cui la risposta ai disturbi si verifica rapidamente nella fase iniziale, per poi tendere verso un valore asintotico. Varie funzioni matematiche (esponenziali, di potenza, iperboliche) sono state utilizzate per caratterizzare le variazioni temporali della quota del fondo e/o della larghezza in una sezione e per fare previsioni sulle variazioni future della quota del fondo ([GRAF, 1977](#); [WILLIAMS & WOLMAN, 1984](#); [SIMON & HUPP, 1986](#); [SIMON, 1989, 1992](#); [WU et al., 2012](#)).

10.2.3 Modelli analitici

I limiti propri dei modelli empirici e statistici hanno condotto alla ricerca di modelli maggiormente basati sui processi fisici coinvolti nella dinamica fluviale. Oltre ai modelli fisici, rientrano tra questi i modelli analitici che consistono in sintesi nel formulare un problema in termini di equazioni e nella ricerca una soluzione analitica. I modelli analitici risultano di più idonea

applicazione quando il sistema e le relative condizioni al contorno sono relativamente semplici da poter essere descritti da equazioni risolvibili in forma chiusa; tuttavia la maggior parte dei sistemi naturali sono così complessi da richiedere numerose assunzioni semplificative ([HOOKE, 2003](#); [ZILIANI, 2011](#)). Nonostante tali semplificazioni, le indicazioni dei modelli analitici possono essere estremamente utili sia a livello progettuale ([HOOKE, 2003](#)) sia per una migliore comprensione dei principali processi morfologici ([ZOLEZZI et al., 2012](#)).

Analogamente ai modelli empirico/statistici, molti modelli analitici sono stati sviluppati in Idraulica Fluviale per quantificare la morfologia o le dimensioni di equilibrio alla scala della sezione fluviale. Tra questi si ricordano, ad esempio, l'approccio basato sull'utilizzo di una 'ipotesi estrema' o la teoria dell'equilibrio limite o '*tractive force method*', impiegati nell'ambito della teoria del regime. È invece limitato l'utilizzo di modelli analitici per la previsione dell'evoluzione morfologica durante le fasi di instabilità.

Un altro campo di indagine, sviluppatosi durante gli ultimi decenni soprattutto in campo nazionale, si è concentrato sulla modellazione fisica e analitica della dinamica di evoluzione e predizione delle barre fluviali nei corsi d'acqua a canale singolo o multicanale (ad es., [SEMINARA & TUBINO, 1989](#); [TUBINO et al., 1999](#); [ZOLEZZI & SEMINARA, 2001](#); [LUCCHI ET AL., 2010](#)) nonché sulla comprensione dei meccanismi di biforcazione nelle morfologie a canali intrecciati ([BOLLA PITTALUGA et al., 2003](#); [MIORI et al., 2006](#); [TUBINO & BERTOLDI, 2008](#); [ZOLEZZI et al., 2012](#); [BERTOLDI, 2012](#)).

10.2.4 Modelli fisici

La modellazione fisica consiste nella riproduzione in scala della realtà fisica e nello studio dei processi alla scala ricreata. Tale tecnica può essere particolarmente utile per riprodurre processi molto complessi ([PEAKALL et al., 1996](#)), così come per verificare e validare modelli numerici esistenti ([LESSER et al., 2004](#)). La modellazione fisica presenta numerosi vantaggi, tra i quali la possibilità di osservare i processi indagati in una finestra temporale ridotta e sotto condizioni controllate. Tuttavia, si tratta di una tecnologia impiegata quasi esclusivamente per scopi di ricerca, e quindi di difficile applicazione pratica nel campo della gestione dei corsi d'acqua, se non in casi particolari di progetti che possono produrre considerevoli effetti morfologici, quali ad esempio la rimozione di dighe ([CANTELLI et al., 2004](#); [CUI et al., 2006](#)).

10.2.5 Modelli numerici

I modelli numerici differiscono dalle altre categorie (concettuali, empirico/statistici, analitici) in quanto capaci di simulare i processi in entrambe le componenti spaziali e temporali. Nei modelli numerici il dominio fisico è rappresentato da una maglia discreta di punti a distribuzione spaziale omogenea o con densità variabile, a seconda del modello. In corrispondenza di questi punti (detti comunemente *grid*, *mesh* o celle di calcolo) vengono rappresentate le grandezze fisiche descrittive del sistema (quali quota del fondo, altezza idrica, velocità, granulometria del fondo, ecc.). La rappresentazione dei processi fisici avviene attraverso due fasi ([DARBY & VAN DE WIEL, 2003](#)): (1) nella prima si identificano e descrivono in forma matematica i processi più rilevanti (cioè si identificano le equazioni che governano i processi che si intende simulare), in particolare l'idrodinamica e il trasporto di sedimenti; (2) nella seconda, si sviluppa l'algoritmo numerico per risolvere o approssimare le equazioni di governo sul dominio fisico. La dimensione temporale viene anch'essa discretizzata in una serie di passi temporali in cui l'evoluzione viene riprodotta attraverso le variazioni dei valori calcolati in ogni punto della maglia discreta.

Lo sviluppo e l'utilizzo di modelli numerici nel campo della Geomorfologia e dell'Idraulica Fluviale ha avuto negli ultimi anni un progresso molto significativo ([Tabella 10.3](#)). I primi modelli sono stati prevalentemente di tipo mono-dimensionale, ma i recenti progressi tecnologici hanno permesso lo sviluppo di modelli sempre più complessi, di tipo 2-3D, non solo "idrodinamici" ma anche "morfodinamici" (ovvero a fondo mobile).

Tabella 10.3 – Principali modelli numerici morfodinamici.

MODELLO	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO	PAGINA WEB
Bilanci di sedimenti (0-D)		
SIAM (HEC RAS 4.1)	USACE (2010)	http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/
SETRAC	RICKENMANN et al. (2006)	http://www.bedload.at/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=55&lang=en
1-D		
BASEMENT (Modulo BASEchain, Version 2.1)	FÄH et al. (2008)	http://www.basement.ethz.ch/
SOBEK		http://sobek.ipp-hydro-consult.de/
RubarBE		http://www.irstea.fr/en/research/research-units/river-hydraulics/sediment-transport-and-river-morphology
CONCEPTS	LANGENDOEN & ALONSO (2008)	http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=5453
CCHE1D	VIEIRA & WU (2002)	http://www.ncche.olemiss.edu/sw_download
FLORIS2000	REICHEL et al. (2000)	http://www.sciotec.at/navigation/powerslave.id,17,nodeid,17,_language,en.html
FLUVIAL-12	CHANG et al. (1996)	http://chang.sdsu.edu/fluvial.html
HEC 6	USACE (1993)	http://www.hec.usace.army.mil/software/legacysoftware/hec6/hec6.htm
MIKE 11		http://www.mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKE11.aspx
SRH-1D	GREIMANN et al. (2008)	http://www.usbr.gov/pmts/sediment/model/srh1d/index.html
2-D / 3-D		
Rubar 20 TS		http://www.irstea.fr/rubar20
MIKE 21C		http://www.dhisoftware.com/Products/CoastAndSea/MIKE21.aspx
CCHE2D	WU (2001)	http://www.ncche.olemiss.edu/cche2d
BASEMENT Version 2.2	FAEH et al. (2011)	http://www.basement.ethz.ch/
FLUMEN	BEFFA (2003)	http://www.fluvial.ch/p/flumen.html
SED-2D		http://chl.erdc.usace.army.mil/sed2d
TELEMAC (Modulo SISYPHE)	VILLARET et al. (2013)	http://www.opentelemac.org/
SSIM	OLSEN (2000)	http://folk.ntnu.no/nilsol/ssim/
Delft3D	WL DELFT HYDRAULICS (2006)	http://www.deltaresystems.com/hydro/product/621497/delft3d-suite
RCM (Reduced Complexity Models)		
CAESAR	COULTHARD et al. (2002)	http://www.coulthard.org.uk/CAESAR.html

Anche se la modellazione numerica rappresenta il livello più alto di complessità attualmente raggiunto in Geomorfologia Fluviale, esistono ancora limiti nella sua capacità predittiva così sintetizzabili ([ZILIANI, 2011](#)): (1) stretta correlazione tra capacità previsionale e livello di dettaglio nella discretizzazione della realtà fisica ([BATES et al., 1998](#); [LANE et al., 1999](#); [DARBY & VAN DE WIEL, 2003](#)); (2) ampia richiesta di dati con dettaglio spazio-temporale che necessitano specifiche e onerose campagne di rilievo ([NELSON et al., 2003](#); [FORMANN et al., 2007](#)); (3) estensione spazio-temporale del fenomeno riprodotto spesso non paragonabile a quella di diretto interesse gestionale ([BRASINGTON & RICHARDS, 2007](#)); (4) richiesta di una potenza di calcolo notevole e crescente, ancora non estensivamente diffusa ([COULTHARD et al., 2007](#)); (5) lo sviluppatore o utilizzatore di modelli necessita di competenze molto specifiche e di esperienza ([FERGUSON, 2008](#)); (6) difficoltà sia nella simulazione di particolari dinamiche morfologiche di elevata complessità sia nella modellazione completa dei processi di erosione di sponda in accoppiamento con quelli interni all'alveo ([MOSELMAN, 1998](#); [FERGUSON, 2008](#); [RINALDI et al., 2008b](#); [MOSELMAN, 2012](#)). Questi limiti non hanno tuttavia rallentato lo sviluppo recentissimo dei modelli numerici, al contrario essi hanno indotto nuove ricerche nel campo della modellistica numerica aprendo la strada alla cosiddetta modellazione a complessità ridotta (RCM: *Reduced Complexity Model*) rispetto ai modelli numerici CFD “classici” (*Computational Fluid Dynamics*).

10.3 Fattori di controllo dell'evoluzione morfologica

Il punto di partenza di una qualunque previsione delle possibili tendenze evolutive future di un corso d'acqua deve essere necessariamente rappresentato da un'accurata comprensione dei fattori che ne hanno condizionato l'evoluzione nel recente passato e che attualmente ne controllano la forma e le dimensioni. Si richiamano in questo paragrafo alcuni aspetti già descritti ampiamente nei capitoli precedenti, ma che è opportuno tenere ben presenti nell'ottica dell'individuazione dei fattori di controllo e di una previsione della possibile evoluzione morfologica.

La **forma** di un alveo fluviale è determinata da una complessa interazione tra le cosiddette **variabili guida** del sistema fluviale (identificabili con il regime delle portate liquide e solide) e le **condizioni al contorno** (pendenza e topografia della valle, sedimenti del fondo e delle sponde, vegetazione riparia; [Figura 1.8](#)). Questo schema vale in particolar modo per gli alvei alluvionali semi- e non confinati, ma può essere esteso entro certi limiti a qualunque corso d'acqua, tenendo presente che, nel caso di alvei confinati, la forma planimetrica è imposta fortemente dai versanti.

Le **variazioni morfologiche** di un alveo fluviale, ovvero gli aggiustamenti della sua forma, possono essere determinate in primo luogo da una modifica delle variabili guida, come ad esempio da una riduzione delle portate liquide o solide, le quali rivestono pertanto un ruolo preponderante nell'evoluzione morfologica. Le variazioni delle condizioni al contorno possono anch'esse, entro certi limiti, causare una modifica della forma dell'alveo, come ad esempio la riduzione o l'aumento di vegetazione riparia può condizionarne la larghezza. Infine, è possibile che si verifichino, per cause naturali o artificiali, delle modifiche dirette della forma dell'alveo (ad esempio la pendenza può modificarsi a causa di un taglio di meandro). In quest'ultimo caso, la forma e le dimensioni dell'alveo possono trovarsi in una condizione di disequilibrio, soprattutto nel caso in cui vengano superate delle soglie geomorfologiche, determinando una condizione d'instabilità del corso d'acqua. Questo tenderà a recuperare una nuova condizione di “equilibrio dinamico” attraverso una serie di retroazioni.

Nello studio di un sistema fluviale e della sua evoluzione, è quindi indispensabile avere una comprensione di quali possano essere i fattori che hanno determinato le variazioni passate e che controllano la morfologia attuale, prima di poter effettuare previsioni future. Al tal fine, si richiamano alcuni concetti chiave che possono essere utili per la previsione delle tendenze future:

- (1) Le **variabili guida**, ossia le portate liquide e solide, rappresentano i principali fattori di controllo dell'evoluzione morfologica. È necessario quindi identificare le possibili cause di variazione delle portate liquide e solide e, nell'ottica di una previsione delle tendenze future, tener conto delle possibili variazioni future.
- (2) I processi di **produzione di sedimenti** e la loro **connettività** all'interno del sistema fluviale svolgono un ruolo importante nella dinamica evolutiva dei corsi d'acqua, determinando la variabilità temporale delle portate solide. È quindi importante tener conto del modo in cui le sorgenti di sedimenti e la loro connessione con la rete idrografica si siano modificate in passato e di come si potrebbero modificare in futuro.

-
- (3) La conoscenza dell'evoluzione morfologica passata dei corsi d'acqua ([CAPITOLO 6](#)), ovvero della loro **traiettoria di evoluzione**, è fondamentale per capire come in passato la morfologia dell'alveo ha risposto a modifiche delle variabili guida e/o delle condizioni al contorno. Nel caso di alvei alluvionali semi- non confinati, la variabilità storica del corso d'acqua (*historical range of variability*: [WOHL, 2011](#)) è un aspetto fondamentale per comprendere quali possano essere le configurazioni e le dimensioni teoriche del corso d'acqua in futuro. Eventuali modifiche delle variabili guida o delle condizioni al contorno, infatti, potrebbero rendere impossibile, almeno in una scala temporale gestionale, il ritorno a una specifica morfologia del passato.

10.3.1 Cause delle variazioni morfologiche

Le cause di variazioni morfologiche e di instabilità sono molteplici, alcune delle quali attribuibili a una variabilità naturale di determinati fattori, altre a disturbi di tipo antropico. Una lista orientativa (non esaustiva) delle possibili cause di variazioni morfologiche è riportata in [Tabella 10.4](#).

Per quanto riguarda le **cause naturali**, sono documentati da molti decenni gli effetti dei movimenti tettonici e della subsidenza sulle variazioni dei corsi d'acqua alle scale temporali "geologiche" (10^3 – 10^4 anni) ([SCHUMM et al., 2002](#); [SCHUMM, 2005](#)). Anche le modificazioni morfologiche indotte da variazioni climatiche di lungo periodo (ad es., quelle associate alle glaciazioni pleistoceniche e al successivo "miglioramento" climatico olocenico) sono state descritte per molti bacini idrografici europei e italiani ([MARCHETTI, 2002](#); [FONTANA et al., 2008](#); [ROBL et al., 2008](#); [CARTON et al., 2009](#)). Queste variazioni climatiche sono state caratterizzate sia da cambiamenti delle variabili guida (regime delle portate liquide e solide) che delle condizioni al contorno (vegetazione, pendenza e sezioni delle valli, granulometria dei sedimenti). Variazioni climatiche naturali – seppure meno importanti rispetto a quelle pleistoceniche – sono avvenute anche in tempi recenti, e in particolare si ricorda la Piccola Età Glaciale, il cui picco è avvenuto tra il XVII e il XVIII secolo, ma i cui effetti sull'avanzamento glaciale si sono sentiti fino alla metà del XIX secolo ([GROVE, 1988](#)). Pochi finora sono gli studi riguardanti gli effetti idrologici e sul trasporto solido della Piccola Età Glaciale ([ISSAR, 2003](#); [SCHMOCKER-FACKEL & NAEF, 2010](#)) e quanto questi abbiano influenzato la dinamica fluviale di quei secoli (diffusi allargamenti e innalzamento degli alvei) e le variazioni morfologiche di segno opposto osservate nella prima metà del XX secolo ([RUMSBY & MACKLIN, 1996](#); [ARNAUD-FASSETTA & PROVANSAL, 1999](#); [MARCHETTI, 2002](#)), quando si è avuto un deciso "miglioramento" climatico a cui ha probabilmente contribuito il cosiddetto "effetto serra" di origine umana a partire dalla seconda metà dello stesso secolo.

Tabella 10.4 – Possibili cause di instabilità di un alveo fluviale (modificato da [SCHUMM, 1999](#)).

CATEGORIA	CAUSE	IMPATTI SUL SISTEMA FLUVIALE
(A) CAUSE GEOLOGICHE	1. Sollevamento tettonico 2. Subsidenza 3. Faglie 4. Basculamenti	Variazioni profilo longitudinale
	5. Attività vulcanica	Variazioni profilo longitudinale e aumento produzione sedimenti
(B) CAUSE GEOMORFOLOGICHE	1. Catture fluviali 2. Variazioni del livello di base 3. Tagli di meandro 4. Avulsioni	Variazioni profilo longitudinale
	5. Spostamenti laterali / arretramento scarpate	Variazioni sezione e aumento produzione sedimenti
	6. Movimenti di massa	Aumento produzione sedimenti
(C) CAUSE CLIMATICHE E IDROLOGICHE	1. Variazioni temperature 2. Variazioni piovosità 3. Variazioni frequenza e/o intensità eventi estremi	Variazioni portate liquide e solide
	4. Variazioni portate 5. Variazioni portate di picco 6. Variazioni produzione sedimenti	Variazioni portate liquide e solide
(D) CAUSE ANTROPICHE	1. Rimboschimenti / disboscamenti (scala bacino) 2. Urbanizzazione 3. Incendi	Variazioni portate liquide e solide
	4. Sistemazioni versanti	Riduzione produzione sedimenti
	5. Diversivi / scolmatori, casse di espansione	Variazioni portate liquide
	6. Realizzazione / rimozione / rottura di dighe e altri sbarramenti	Variazioni portate liquide e solide
	7. Briglie di consolidamento	Variazioni profilo longitudinale
	8. Fissazione sponde, rivestimenti o soglie di fondo	Riduzione erodibilità fondo e sponde, variazioni sezione
	9. Tagli di meandro, canalizzazioni, rettifiche, riprofilature	Variazioni profilo e sezione
	10. Escavazione di sedimenti	Variazioni profilo, riduzione quantità sedimenti
	11. Rimozione di vegetazione in alveo e riparia (incluso pascolamento)	Aumento erodibilità fondo e sponde

A rendere complessa la valutazione degli effetti morfologici della Piccola Età Glaciale è la concomitante intensa attività di disboscamento dei versanti e delle pianure alluvionali. Questa ha probabilmente amplificato gli effetti climatici in termini di aumento dei processi erosivi e di conseguenza di alimentazione solida alla rete idrografica ([LIÉBAULT & PIÉGAY, 2002](#); [COMITI, 2012](#)).

Le attuali previsioni sull'andamento climatico dei prossimi decenni indicano per l'area alpina una forte riduzione della copertura glaciale e l'innalzamento del limite delle precipitazioni solide. Tali cambiamenti climatici avrebbero come conseguenza delle rilevanti variazioni nel regime idrologico dei corsi d'acqua ([ALLAMANO et al., 2009](#); [HUSS, 2011](#)). Più difficile risulta stimare come il trasporto solido varierà nei bacini alpini, dato l'effetto combinato della degradazione del permafrost (aumento dell'alimentazione di sedimento dai versanti), della riduzione o scomparsa dei ghiacciai (riduzione

dell'erosione glaciale), e della variazione del deflusso efficace per il trasporto al fondo, legato al regime idrologico. Per quanto riguarda l'area mediterranea, le previsioni concordano nel ritenere probabile un aumento nella frequenza delle precipitazioni intense, in grado di causare un incremento delle portate di piena di determinato tempo di ritorno. Anche in questo caso gli effetti sul trasporto solido sono di difficile valutazione e molto variabili da bacino a bacino a seconda delle sorgenti di sedimento attivabili e della loro connessione al reticolo idrografico.

Per quanto riguarda i **fattori antropici**, essi agiscono normalmente a una scala temporale più breve rispetto ai fattori naturali, fatta eccezione per eventi catastrofici quale ad esempio un'eruzione vulcanica. Le risposte morfologiche a cause antropiche sono infatti simili rispetto a quelle legate a cause naturali. I *trend* temporali sono in genere descrivibili attraverso funzioni non lineari, con una variazione iniziale intensa, a seguito del disturbo, che poi decresce e tende a un valore asintotico. Tale tipo di evoluzione può avvenire nell'arco di qualche decennio, mentre un'analoga traiettoria evolutiva, legata a variazioni naturali che possono essere impercettibili alla scala della vita umana, può impiegare centinaia o migliaia di anni. Queste differenze di scale temporali, nonché la netta predominanza di fattori antropici, spiegano le profonde trasformazioni osservate nella maggior parte dei fiumi italiani (almeno di quelli in ambito di pianura) durante la seconda metà del XX secolo ([SURIAN & RINALDI, 2003](#); [Surian et al., 2009d](#)).

La valutazione degli effetti di ogni singolo tipo di disturbo può essere fatta, come per qualsiasi tipo di causa, comprendendo se il disturbo va ad agire a favore di un aumento o riduzione delle portate liquide e/o solide, o se va ad agire sulle condizioni al contorno o sulla forma dell'alveo, determinando variazioni della capacità di trasporto del corso d'acqua. Si può quindi fare riferimento ai modelli empirico- concettuali esistenti: ad esempio, la "bilancia di Lane" è particolarmente efficace nell'interpretare e prevedere qualitativamente le possibili variazioni di quota del fondo, mentre per le variazioni di larghezza si può fare riferimento alle relazioni di Schumm. Attraverso l'uso di tali modelli è possibile trarre delle indicazioni, seppure di tipo qualitativo, sulle risposte morfologiche a scenari di intervento in alveo. Più complessa è invece la previsione di quali possano essere gli effetti di variazioni a scala di bacino non direttamente legati alla gestione o sistemazione dei corsi d'acqua, ma dipendenti da dinamiche socio-economiche (ad es., urbanizzazioni, variazioni di uso del suolo) spesso impossibili da prevedere.

10.3.2 Analisi delle cause e dei fattori di controllo

Per lo studio dell'evoluzione e la previsione delle possibili tendenze future, come evidenziato nei precedenti paragrafi, è necessario un approccio che tenga sufficientemente conto della variabilità spazio-temporale dei fattori di controllo, delle cause di evoluzione e delle risposte morfologiche avvenute in passato. L'analisi condotta in questa fase comprende gli approfondimenti descritti nei due punti seguenti.

- (1) **Analisi delle cause e dei fattori di controllo dell'evoluzione passata.** L'identificazione delle traiettorie dell'evoluzione passata e l'analisi delle cause e dei fattori di controllo condotta nel [CAPITOLO 6](#) viene ripresa e ulteriormente approfondita. In particolare, è necessario distinguere le tipologie di cause, la relativa scala spaziale e l'eventuale superamento delle soglie geomorfologiche. Tra le **tipologie di fattori di controllo**, si può distinguere tra i seguenti casi: (i) *progressivo* (ad es., variazioni climatiche o variazioni di uso del suolo, quali rimboschimenti o urbanizzazione); (ii) *impulsivo*, determinato ad esempio da eventi di piena di forte intensità; (iii) *discontinuo permanente*, caratterizzato da una variazione avvenuta in un tempo relativamente ridotto e di carattere permanente (ad es., la realizzazione di una diga o la fissazione planimetrica del corso d'acqua), ovvero la cui rimozione richiederebbe interventi specifici; (iv) *discontinuo temporaneo*, come le precedenti ma di carattere temporaneo (ad es., escavazione di sedimenti), in cui, una volta esaurita la causa, il corso d'acqua potenzialmente può tendere alla condizione precedente alla modifica. La classificazione della tipologia di causa è utile per la valutazione dei possibili scenari futuri nel caso in cui tale causa esaurisca i suoi effetti o venga eliminata artificialmente. Per quanto riguarda la **scala spaziale**, è necessario distinguere tra le cause a scala di bacino e le cause a scala di tratto. Le prime sono normalmente quelle che agiscono nel bacino o sottobacino sotteso dal tratto analizzato, come ad esempio le variazioni di uso del suolo, la presenza di opere di sbarramento a monte. Vanno inoltre considerate anche possibili cause localizzate a valle del tratto di indagine, in quanto possono avere innescato processi di erosione

regressiva (escavazione di sedimenti, tagli di meandro, ecc.). Infine, è utile identificare se si sia verificato il **superamento di soglie geomorfologiche** tale da determinare una completa trasformazione di alcune caratteristiche o l'innesco di particolari processi, localizzando tale evento nello spazio e nel tempo e comprendendone i motivi. Ad esempio, la completa trasformazione di una configurazione planimetrica dell'alveo (come nel passaggio da canali intrecciati a canale singolo) può essere legata a una brusca variazione della pendenza o a una forte variazione delle portate solide. La destabilizzazione generalizzata delle sponde in un tratto del corso d'acqua può essere invece determinata dall'abbassamento del fondo per erosione regressiva e dal superamento di un'altezza critica delle sponde tale da determinare l'innesco diffuso di movimenti di massa.

- (2) **Valutazione dell'importanza relativa dei vari fattori e dei loro effetti sul sistema fluviale.** In questa fase viene effettuata una valutazione delle relazioni causa-effetto e del peso relativo dei singoli fattori nell'evoluzione morfologica passata. Seppure le relazioni causa-effetto possono essere talora difficili da definire, soprattutto quando si verifica una sovrapposizione di cause agenti a scale temporali o spaziali differenti, è possibile individuare in molti casi quelle più evidenti (ad es., un abbassamento del fondo immediatamente successivo a una fase di escavazione di sedimenti). L'importanza relativa dei fattori di instabilità morfologica può essere determinata attraverso una valutazione esperta, definendo una scala di intensità dei singoli fattori che hanno agito nell'intervallo di tempo investigato e dei relativi effetti sulla dinamica dell'alveo nei tratti di studio. Il prodotto di questa fase è una versione più dettagliata del diagramma cause-effetti ([Figura 6.7](#)) ricostruito nel [CAPITOLO 6](#), in cui viene evidenziato il peso relativo delle varie cause e delle conseguenti risposte morfologiche. Un esempio di tale approccio è quello mostrato in [Figura 10.2](#), che si riferisce alla dinamica evolutiva del Fiume Tagliamento nel corso degli ultimi 200 anni circa ([ZILIANI & SURIAN, 2012](#)).

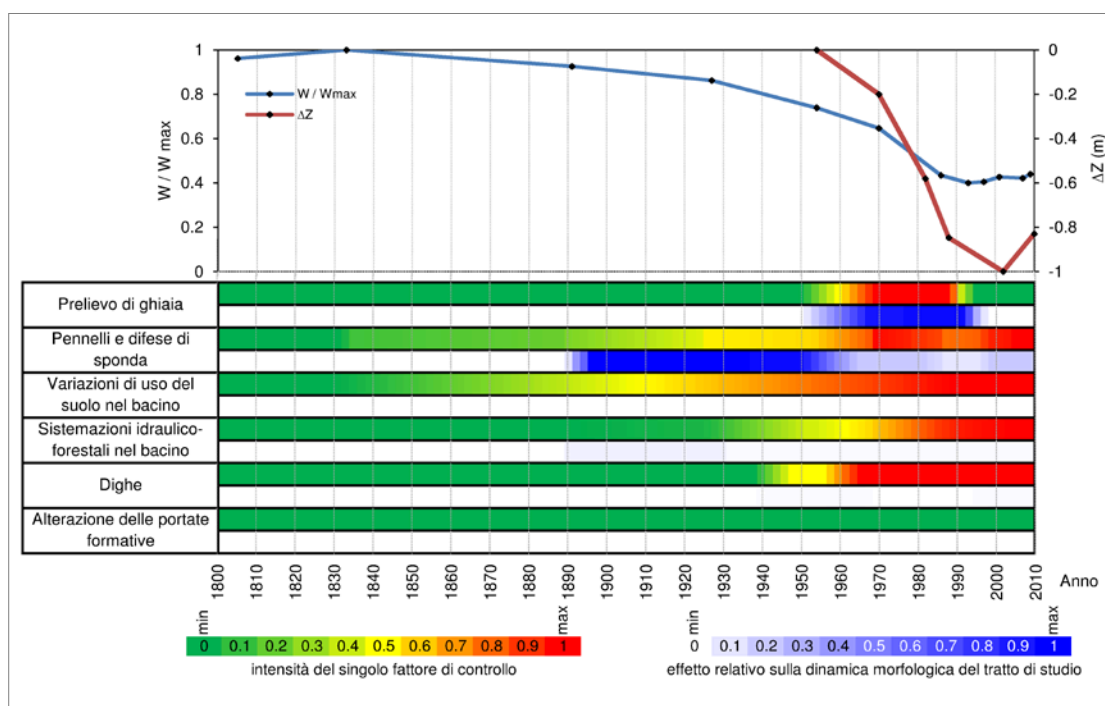


Figura 10.2 – Traiettoria di evoluzione della morfologia dell'alveo del fiume Tagliamento e fattori di controllo nel corso degli ultimi 200 anni (modificato da [ZILIANI & SURIAN, 2012](#)).

10.4 Valutazione delle tendenze evolutive future

Come precisato nei paragrafi precedenti, la previsione delle tendenze future è un argomento estremamente complesso per il quale non esistono a oggi strumenti metodologici consolidati e attendibili. Pertanto, la previsione quantitativa delle possibili variazioni e della morfologia futura di un corso d'acqua non è perseguibile con sufficiente attendibilità per scale spazio-temporali sufficientemente estese. Di conseguenza, questo paragrafo intende fornire un percorso metodologico e

alcune linee guida su come procedere per una valutazione dei possibili scenari di evoluzione futura nell'ambito della metodologia IDRAIM. Valgono le seguenti premesse:

- (1) La *scala temporale* è la cosiddetta scala gestionale, ovvero quella dei prossimi 50–100 anni.
- (2) Si privilegia un *approccio di tipo empirico-concettuale*, basato sulla ricostruzione della traiettoria di evoluzione della morfologia e sull'impiego di modelli concettuali di tipo qualitativo.
- (3) Attraverso tale approccio non si intende determinare una morfologia “finale” di riferimento (tale condizione è in contraddizione con il concetto stesso di traiettoria), quanto piuttosto si intende definire qualitativamente la *direzione delle tendenze evolutive*.
- (4) Ulteriori approfondimenti, ad esempio previsioni quantitative basate sull'impiego di modelli numerici, sono lasciati a discrezione dell'operatore.

Per la valutazione delle possibili tendenze future, si distinguono tre situazioni differenti, trattate nei prossimi paragrafi: (1) alvei semiconfinati o non confinati mobili; (2) alvei semiconfinati o non confinati fissati artificialmente; (3) alvei confinati.

10.4.2 Alvei semiconfinati o non confinati mobili

Si tratta del caso di alvei semiconfinati o non confinati che nell'arco degli ultimi 50–60 anni circa non hanno presentato importanti vincoli artificiali nella loro dinamica planimetrica. Tali tratti hanno quindi avuto una certa mobilità laterale, o comunque la loro eventuale instabilità planimetrica non è imputabile a una fissazione artificiale del tracciato. Per queste tipologie si procede secondo il percorso mostrato schematicamente in [Figura 10.3](#) e descritto in seguito.

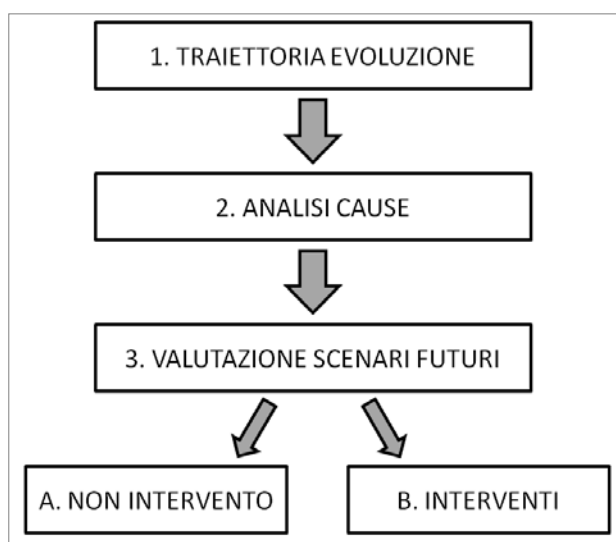


Figura 10.3 – Percorso schematico di valutazione degli scenari evolutivi futuri in alvei non confinati mobili.

- (1) *Ricostruzione della traiettoria di evoluzione.* Si realizza uno studio dettagliato delle variazioni planimetriche (configurazione morfologica e larghezza), sulla base di un'analisi GIS multitemporale delle immagini telerilevate disponibili, secondo quanto descritto in dettaglio nel [CAPITOLO 6](#) ([Figura 10.4](#)). La traiettoria della quota del fondo viene ricostruita nel caso di disponibilità di dati topografici pregressi, altrimenti risulta importante effettuare una valutazione delle variazioni complessive e delle tendenze altimetriche degli ultimi 10–15 anni, determinate durante le fasi precedenti.

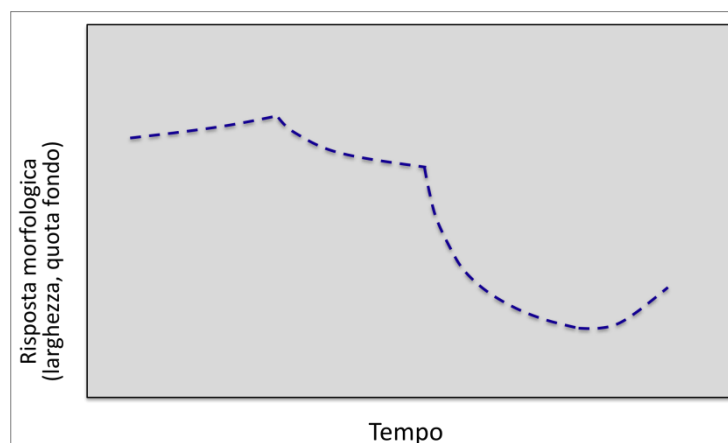


Figura 10.4 – Percorso di valutazione degli scenari evolutivi futuri. (1) Ricostruzione della traiettoria di evoluzione passata.

- (2) *Analisi delle cause e dei fattori di controllo.* Si valutano le relazioni causa-effetto, collocando temporalmente ogni causa nel diagramma della traiettoria di evoluzione ([Figura 10.5](#)). Quando possibile, si definisce il peso relativo di ciascuna causa e degli effetti nell'evoluzione morfologica passata. In questa fase, soprattutto se si è verificata un'inversione di tendenza nell'evoluzione morfologica, è molto importante comprendere i processi e i fattori che hanno determinato l'evoluzione più recente (per es., ultimi 10–15 anni). Infatti, in assenza di futuri interventi antropici significativi, tali processi potrebbero guidare l'evoluzione dell'alveo nei prossimi decenni.

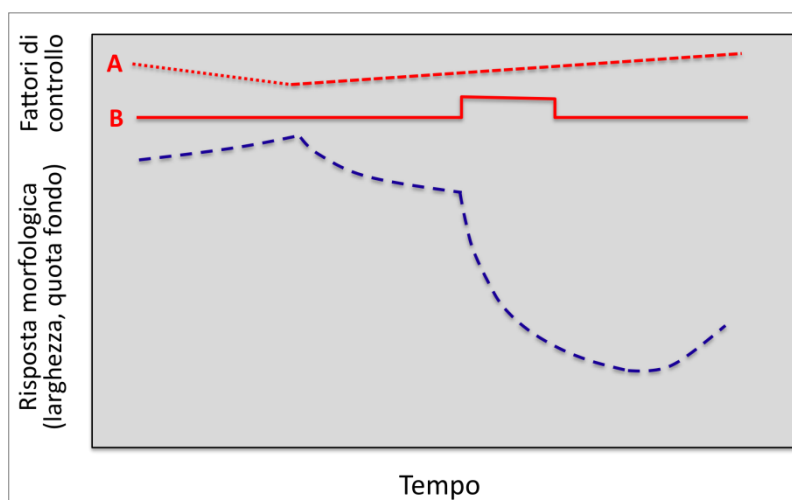


Figura 10.5 – Percorso di valutazione degli scenari evolutivi futuri. (2) Analisi delle cause e dei fattori di controllo. A: Copertura forestale del bacino idrografico: fattore progressivo (iniziale riduzione della copertura, cui segue una fase di aumento); B: escavazione di sedimenti: fattore discontinuo temporaneo.

- (3) *Valutazione dei possibili scenari futuri.* Sulla base della comprensione delle relazioni causa-effetto, del peso relativo, della conoscenza delle tendenze degli ultimi 10–15 anni e con il supporto di modelli concettuali, si effettua una valutazione esperta delle potenziali tendenze future, almeno in termini di direzione dell'aggiustamento morfologico. Quando possibile, va definito il *range* di variabilità morfologica che è lecito attendersi nell'arco temporale dei prossimi 50 anni circa.

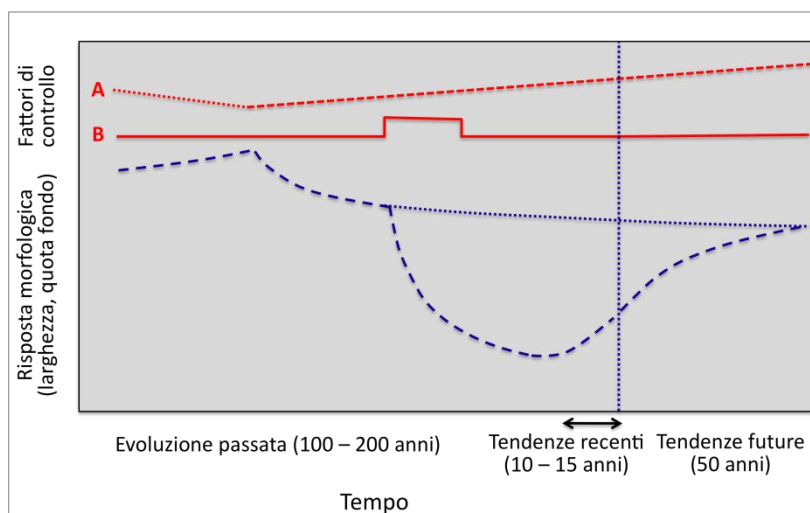


Figura 10.6 – Percorso di valutazione degli scenari evolutivi futuri. (3) Valutazione dei possibili scenari futuri nello scenario “non intervento”. A e B come in [Figura 10.5](#).

- (A) *Scenario “non intervento”*. Consiste nella valutazione delle tendenze evolutive future ferme restando le condizioni attuali, ovvero ipotizzando che non vi siano nuovi interventi (o rimozione delle opere esistenti) ([Figura 10.6](#)). Per quanto riguarda le tendenze planimetriche, si possono considerare le analisi effettuate per la ricostruzione delle fasce fluviali di dinamica morfologica ([CAPITOLO 8](#)). In particolare, si deve fare riferimento alla fascia di erosione potenziale nel medio-lungo termine (50 anni), tenendo presenti i vincoli planimetrici esistenti che possono condizionare o impedire la completa occupazione di tale fascia. Il *range* di variabilità storica può anch'esso fornire utili indicazioni in tal senso. Tuttavia, è necessario capire fino a quale epoca nel passato si può presumere che siano state presenti condizioni confrontabili con quelle attuali e collocare nel tempo quelle cause permanenti che possono impedire lo sviluppo delle morfologie originarie (dighe nel bacino sotteso, pennelli, ecc.). Nel caso di sovrapposizione di fattori agenti su scale temporali differenti, bisogna tener conto che le risposte morfologiche possono risultare dalla somma di più effetti, alcuni di breve e altri di più lungo termine (si veda, ad es., la [Figura 10.6](#)).
- (B) *Scenario “interventi”*. Tale tipo di valutazione interviene nella fase di gestione ([CAPITOLO 11](#)), laddove si prendano in considerazione ipotesi di interventi per il miglioramento della qualità morfologica e/o per la mitigazione del rischio idraulico. Si tratta di una valutazione generalmente più complessa rispetto allo scenario “non intervento” in quanto, all'incertezza della valutazione delle tendenze evolutive future senza interventi, si somma la difficoltà di valutare gli effetti di nuovi interventi. Nel caso di realizzazione di nuovi interventi, soprattutto se finalizzati alla mitigazione del rischio, la conoscenza di come il corso d'acqua ha risposto in passato in simili circostanze assieme agli esempi noti in letteratura e al supporto dei modelli concettuali, permette di avanzare delle ipotesi sulla risposta morfologica. Nel caso di rimozione di opere esistenti, soprattutto se finalizzata al miglioramento della qualità, la conoscenza della morfologia storica precedente all'intervento fornisce un utile riferimento. Tuttavia, va considerata attentamente, ad esempio alla scala di bacino, l'eventuale sovrapposizione con altri disturbi antropici che possono continuare a manifestare i loro effetti e/o limitare la possibilità di un riequilibrio morfologico.

10.3.3 Alvei semiconfinati o non confinati fissati artificialmente

Si tratta del caso di alvei semiconfinati o non confinati, la cui dinamica planimetrica è attualmente impedita in quanto fissati da opere artificiali. Essi possono essere ulteriormente suddivisi in vari sottocasi, in funzione del periodo storico in cui è avvenuto il processo di fissazione planimetrica: (A) corsi d'acqua attualmente fissati ma non negli anni '50; (B) corsi d'acqua fissati negli anni '50 ma non in epoche precedenti (ad es., a fine 1800); (C) corsi d'acqua fissati storicamente.

Nel caso A, è possibile entro certi limiti applicare lo stesso procedimento del paragrafo precedente, ricostruendo la traiettoria evolutiva fino all'anno della realizzazione delle opere. Nel caso B, le informazioni sulle caratteristiche morfologiche in condizioni relativamente indisturbate sono più limitate, seppure la morfologia planimetrica di fine 1800 (desumibile, ad es., dalla cartografia storica IGM) fornisce un utile riferimento. Nel caso C, come parzialmente per il caso B, la valutazione degli effetti di possibili rimozioni di opere di fissazione risulta ovviamente molto incerta. Tale valutazione può essere condotta su considerazioni teoriche basate sul contesto fisico in cui si trova il corso d'acqua (pendenze, ambito fisiografico), in maniera analoga a quanto richiesto per la delimitazione delle fasce fluviali di dinamica morfologica. Si precisa che tali situazioni si presentano piuttosto raramente, in quanto la fissazione planimetrica è in genere legata a usi specifici attuali difficilmente rinunciabili, come ad esempio la mitigazione del rischio idraulico in aree urbanizzate, (si vedano i capitoli successivi relativi alla fase di gestione).

10.3.4 Alvei confinati

Gli alvei confinati per loro natura hanno un margine molto limitato di variazioni planimetriche, a meno che il confinamento non sia determinato da corpi facilmente erodibili quali terrazzi fluviali antichi o conoidi alluvionali soggetti a erosione durante eventi di piena di elevata magnitudo. Di conseguenza, in particolare per l'ampiezza ridotta di questi alvei, la ricostruzione della loro traiettoria evolutiva è difficilmente perseguibile. Per quanto riguarda le variazioni storiche altimetriche, queste possono essere di grande entità nei casi in cui l'alveo scorra su depositi alluvionali o fluvio-glaciali o nel caso in cui risulti caratterizzato da pendenze tali da indurre forti processi deposizionali durante eventi di piena significativi. Tuttavia, raramente si dispone di sezioni trasversali che permettano di determinare la traiettoria evolutiva in senso altimetrico, la quale sarebbe da analizzarsi anche in funzione dei dissesti di versante verificatisi nel bacino e delle sistemazioni idraulico-forestali operate lungo il corso d'acqua.

In un quadro generale di scarsa conoscenza della traiettoria evolutiva passata degli alvei confinati, la predizione delle loro variazioni future – soprattutto in senso verticale per quanto detto sopra – risulta alquanto difficile e incerta. Risulta conveniente distinguere le seguenti tipologie di alvei confinati: (i) alvei in roccia; (ii) alvei colluviali; (iii) alvei semi-alluvionali a forte pendenza (con morfologia a gradinata); (iv) alvei alluvionali a pendenza moderata (con morfologia a letto piano, *riffle pool* o *braided*); (v) alvei sistemati.

Nel caso degli alvei in roccia è evidente come le variazioni morfologiche alla scala temporale considerata siano trascurabili, a eccezione degli alvei scavati in rocce fortemente erodibili (per es., argilliti). Gli alvei colluviali, ovvero dominati da flussi di natura non-newtoniana quali colate di fango e detritiche, rappresentano al contrario alvei aventi estrema dinamicità verticale e talora anche laterale associata al verificarsi degli eventi di colata, con variazioni di difficile previsione dipendenti dalle caratteristiche di ogni evento (primariamente dalla magnitudo).

Gli alvei semi-alluvionali a forte pendenza ($> 4-5\%$), caratterizzati da trasporto al fondo, manifestano generalmente nel lungo periodo una tendenza all'incisione (si tratta di alvei tipicamente *sediment supply-limited*) che però si verifica soltanto durante eventi di piena di elevata magnitudo. Questi eventi sono infatti gli unici capaci di rimuovere lo strato corazzato e le forme di fondo a gradinata che impartiscono grande stabilità a questi alvei, i quali possono mantenere sezioni e quota invariate per decenni. Un'eventuale riduzione delle portate solide provenienti da monte (ad es., a causa di nuove opere trasversali) permette di ipotizzare che il processo di incisione si manifesterà in maniera più significativa durante gli eventi di piena.

I corsi d'acqua semi-alluvionali a pendenza moderata ($< 3-4\%$) sono più dinamici rispetto a quelli a forte pendenza. In essi la mobilità del sedimento formante l'alveo è maggiore e avviene per periodi più lunghi nel corso dell'anno. Inoltre, il loro trasporto solido è limitato dalla capacità di trasporto (*transport-limited*). Tali corsi d'acqua sono quindi molto più sensibili alle variazioni del regime idrologico o dell'alimentazione solida rispetto a quelli a forte pendenza, sia per cause naturali che antropiche. In aggiunta, i tratti confinati con morfologia di tipo *braided* o transizionale sono generalmente più soggetti a variazioni future rispetto a quelli a canale singolo a letto piano. Una sensibilità ancora maggiore a variazioni delle variabili guida è presente nei tratti alluvionali dove il confinamento è dato da conoidi e terrazzi erodibili, come detto sopra. In tutti questi casi relativi agli alvei a fondo mobile ma confinati lateralmente, si possono utilizzare i concetti descritti

precedentemente per gli alvei semi- e non confinati, considerando la risposta morfologica primariamente in termini di quota del fondo. Infine, gli alvei confinati sistemati con opere trasversali (briglie di consolidamento, soglie di fondo) sono ovviamente da considerarsi come alvei nel complesso stabili, sempre che le strutture siano affidabili e correttamente mantenute. Tanto più ravvicinate sono le opere, tanto maggiore è la garanzia che l'alveo non andrà incontro a rilevanti variazioni di quota tra le opere stesse, e che queste non siano scalzate al piede. Nel caso di alvei sistemati di pendenza moderata ($< 3-4\%$), sono possibili variazioni di quota di tipo deposizionale. In particolare, ciò si verifica a seguito di eventi di piena caratterizzati da ingente trasporto solido da monte che, a causa della insufficiente capacità di trasporto del tratto, non può essere smaltito.

FASE 4: GESTIONE DEI CORSI D'ACQUA

La *Fase 4* della metodologia è finalizzata a tradurre le conoscenze acquisite attraverso le fasi precedenti in linee guida per la scelta di strategie di gestione ed eventuali azioni, considerando le conflittualità e le possibili integrazioni tra i due diversi obiettivi che sono alla base del sistema *IDRAIM*, ovvero qualità e pericolosità morfologica.

La valutazione delle possibili azioni ([CAPITOLO 11](#)), anche se sviluppata attraverso due percorsi distinti ([Figura IV](#)), tiene in considerazione più obiettivi, con particolare riferimento a quelli prioritari imposti dalla Direttiva Quadro Acque (2000/60/CE) e dalla Direttiva Alluvioni (2007/60/CE) (qualità e sicurezza).

L'ultima parte ([CAPITOLO 12](#)) è dedicata al tema dei corpi idrici fortemente modificati (*Heavily Modified Water Bodies – HMWB*), previsti nell'ambito della WFD, che possono essere considerati un caso specifico della procedura di valutazione definita nel precedente capitolo.

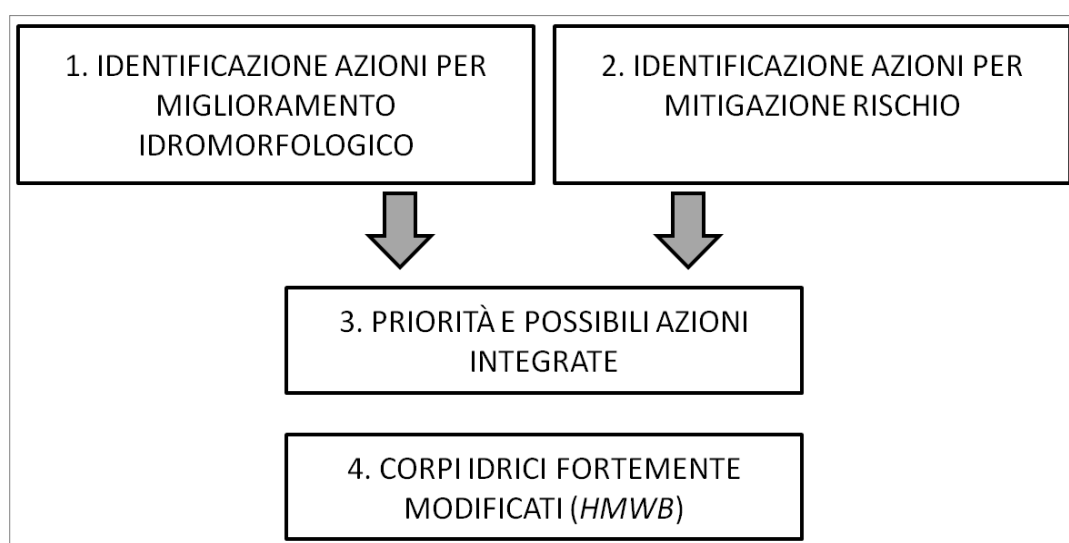


Figura IV – Suddivisione della *Fase 4* in sottofasi.

11. VALUTAZIONE DELLE POSSIBILI AZIONI DI GESTIONE

11.1 Premessa

In questa fase della metodologia *IDRAIM* si fa uso di tutte le conoscenze acquisite nelle fasi precedenti per supportare la scelta delle azioni e degli eventuali interventi necessari per una gestione integrata dei corsi d'acqua. È opportuno a tal proposito richiamare i seguenti aspetti:

- (1) Pur tenendo conto della necessità di una gestione complessiva del sistema fluviale, e che tale gestione deve prendere in considerazione numerosi aspetti, questa metodologia si focalizza sulla **gestione dei processi geomorfologici**. Non sono inclusi numerosi altri aspetti, quali quelli legati alla gestione delle risorse idriche (superficiali e sotterranee), alla qualità fisico-chimica dell'acqua, alla funzionalità ecosistemica e alla conservazione della biodiversità, al paesaggio, alla fruizione del territorio fluviale, ecc. Esiste una più stretta relazione con le altre componenti che determinano lo *stato ecologico* (elementi biologici ed elementi chimico-fisici a supporto) e il *rischio idraulico* (rischio di inondazione), ma ovviamente le analisi di tali componenti non sono oggetto di questo metodo e necessitano di essere condotte in parallelo.
- (2) In particolar modo, è necessario affiancare all'approccio geomorfologico, trattato in dettaglio in *IDRAIM*, le **analisi idrauliche finalizzate alla valutazione del rischio da esondazione** (non trattate in questo manuale).
- (3) La valutazione delle possibili azioni, che per una questione pratica viene sviluppata attraverso due percorsi distinti, tiene in considerazione contemporaneamente gli **obiettivi prioritari di qualità e sicurezza** imposti rispettivamente dalle due direttive europee “Acque” e “Alluvioni”. Nei due percorsi, tra loro speculari, si possono distinguere vari passaggi ([Figura 11.1](#)). In primo luogo si identificano e si valutano le rispettive criticità a scala di corpo idrico e/o di tratto e si individuano i tipi di azioni prioritarie. Il passo successivo è quello di identificare i possibili scenari di intervento valutandone le conseguenze in termini di qualità e dinamica morfologica, tenendo conto delle condizioni di rischio legate alla presenza di elementi esposti nel tratto. Infine si identificano i tratti a priorità di intervento e gli scenari di intervento ottimali, estendendo la valutazione a una scala spaziale maggiore.
- (4) Seppure il sistema *IDRAIM* sia stato sviluppato in funzione di esigenze specifiche di tali direttive, esso è stato pensato come strumento da utilizzarsi anche per **altre finalità**.
- (5) La procedura illustrata in questa fase permette di definire possibili **scelte gestionali da un punto di vista esclusivamente tecnico** relativamente agli aspetti geomorfologici del corso d'acqua. Le scelte gestionali finali dovranno tenere conto di ulteriori valutazioni sia tecniche (idrauliche, ecologiche, ecc.) che di altra natura (economiche, sociali, ecc.) che esulano da questa metodologia.

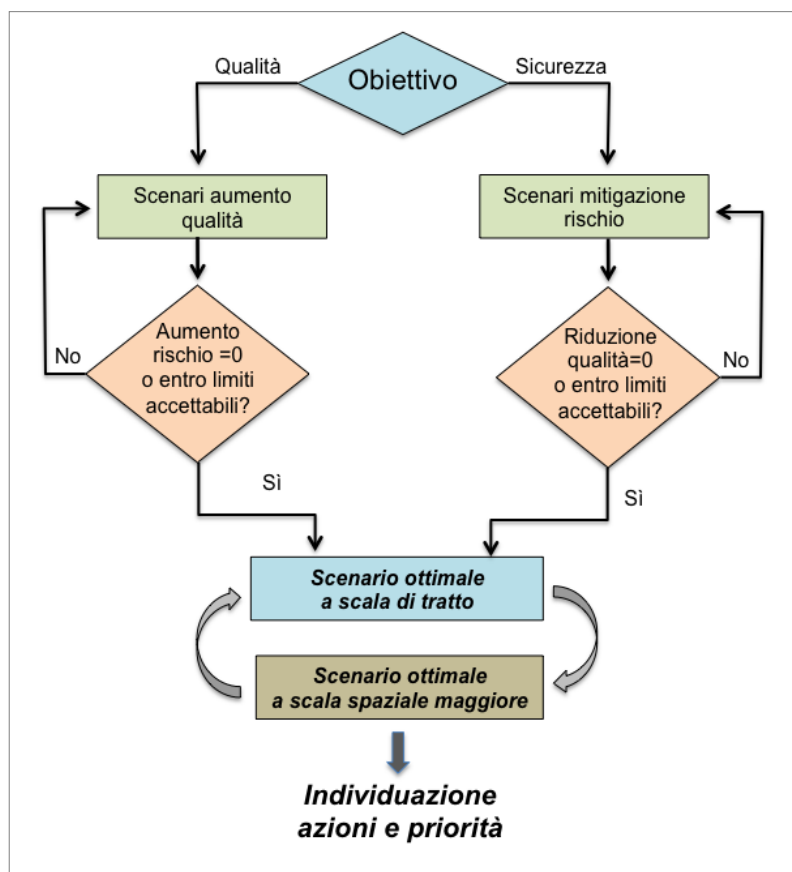


Figura 11.1 – Struttura schematica dei due percorsi finalizzati all’individuazione delle possibili azioni di gestione.

11.2 Rassegna delle possibili azioni per la gestione degli alvei fluviali

Le azioni e i possibili interventi finalizzati al miglioramento delle condizioni idromorfologiche o alla mitigazione del rischio idraulico sono molteplici e si rimanda ai numerosi testi specialistici per un approfondimento (per un’ampia e aggiornata rassegna di progetti e misure di riqualificazione fluviale a scala europea si rimanda, ad es., alla WIKI platform del progetto EU FP7 REFORM, disponibile alla pagina <http://wiki.reformrivers.eu>). Per le finalità di questo capitolo, è tuttavia utile riportare una sintetica rassegna delle categorie principali di azioni e interventi, richiamandone i possibili effetti in termini di qualità idromorfologica e di pericolosità/rischio ([Tabella 11.1](#) e [Tabella 11.2](#) rispettivamente).

Da questa breve sintesi è possibile evincere che solo alcune azioni o interventi possono potenzialmente agire a favore di entrambi gli obiettivi (qualità e sicurezza), mentre nella maggior parte dei casi esistono potenziali conflittualità. Ciò giustifica la necessità di procedure per ottimizzare le scelte gestionali, nelle quali la valutazione dettagliata degli effetti di ogni singolo scenario di intervento deve essere effettuata caso per caso con strumenti adeguati. D’altra parte, la necessità di conciliare obiettivi differenti è ampiamente riconosciuta dalle direttive europee. La Direttiva Alluvioni 2007/60/CE richiede esplicitamente di ricercare le possibili sinergie tra obiettivi di qualità e di sicurezza, attraverso ad esempio l’utilizzo delle pianure alluvionali come misura di difesa naturale dalle piene (laminazione dell’onda di piena), ottimizzando allo stesso tempo altre funzioni ecologiche per obiettivi di conservazione e miglioramento della qualità ambientale.

Tabella 11.1 – Sintesi delle principali tipologie di azioni e interventi di miglioramento della qualità idromorfologica e relativi effetti.

AZIONE/INTERVENTO	DESCRIZIONE	EFFETTI SULLA QUALITÀ IDROMORFOLOGICA	EFFETTI SULLA PERICOLOSITÀ/RISCHIO
“Non intervento”			
Preservare tratti o aree in buone condizioni, delimitazione <i>fasce fluviali di dinamica morfologica</i>	Azioni di preservazione attraverso l’attività di pianificazione e normativa	Consente di evitare il peggioramento della qualità. La dinamica naturale permette di migliorare la funzionalità e la diversificazione delle forme	Può permettere di evitare l’aumento di elementi a rischio in aree a elevata pericolosità
“Recupero naturale”	Favorire il recupero morfologico naturale attraverso il mancato intervento e/o l’interruzione di attività periodiche di manutenzione della vegetazione o di rimozione sedimenti	Miglioramento dei processi, diversificazione delle forme, aumento della continuità laterale, miglioramento della vegetazione perifluviale. In alcuni casi può favorire l’eccessiva instabilità morfologica	Possibile aumento della pericolosità da esondazione e/o della dinamica morfologica
Rimozione interventi opere			
Rimozione opere esistenti (dighe, briglie, difese di sponda, ecc.)	Ripristinare i processi e la morfologia attraverso la rimozione di elementi artificiali e consentendo modifiche morfologiche naturali dell’alveo	Aumento della continuità laterale e longitudinale. In alcuni casi può favorire l’eccessiva instabilità morfologica e/o l’eccessiva sedimentazione (rimozione dighe)	Possibile aumento della pericolosità da esondazione e/o della dinamica morfologica nei tratti a valle (dighe, briglie) o della dinamica morfologica laterale nel tratto (difese sponda)
Interventi di ripristino di processi			
Rilascio portate formative o superiori, ripristino pulsazioni piene, reimmissione sedimenti in alveo, ecc.	Interventi finalizzati a ripristinare i processi naturali, in particolare la variabilità e la quantità delle portate liquide e solide, a scala di ‘tratto’ o di bacino sotteso	Riduzione delle alterazioni idrologiche e di portate solide e aumento della diversificazione delle forme	Possibile aumento della pericolosità da esondazione e/o della dinamica morfologica
Interventi di “ricostruzione morfologica”			
Allargamento alveo, ricreazione meandri e incremento sinuosità, ricostruzione o riconnessione canali secondari, ricreazione piana inondabile, ecc.	Interventi che modificano le dimensioni e la geometria dell’alveo e/o comportano un rimodellamento delle altre forme a scala di ‘tratto’ o di ‘sito’	Diversificazione delle forme, aumento della continuità laterale. In alcuni casi, la nuova morfologia può essere instabile	Effetti variabili sulle condizioni idrauliche e sui processi di erosione/sedimentazione; aumento della pericolosità da esondazione (piana inondabile) ma possibili effetti di laminazione favorevoli per tratti a valle
Interventi di miglioramento habitat e/o stabilizzazione			
Ricreazione/diversificazione delle unità morfologiche, Ingegneria Naturalistica inclusa introduzione materiale legnoso, ecc.	Inserimento di elementi o strutture a scala locale (‘sito’) senza interferire sulle dimensioni dell’alveo	Effetti localizzati di incremento della diversità di forme. In alcuni casi, riducono la dinamica laterale e/o verticale	Effetti in genere localizzati su condizioni idrauliche e sui processi di erosione/sedimentazione; possibile riduzione della dinamica morfologica

Tabella 11.2 – Sintesi delle principali tipologie di azioni e interventi di mitigazione del rischio da esondazione e da dinamica morfologica e relativi effetti.

AZIONE/INTERVENTO	DESCRIZIONE	EFFETTI SULLA PERICOLOSITÀ/RISCHIO	EFFETTI SULLA QUALITÀ IDROMORFOLOGICA
“Non intervento” e interventi non strutturali			
Azioni pianificatorie	Provvedimenti di tipo pianificatorio-normativo che disciplinano l’uso del suolo in aree a rischio	Permettono di evitare l’aumento elementi a rischio	Permettono di evitare peggioramento qualità. La dinamica naturale permette di migliorare la funzionalità geomorfologica
Monitoraggio e sistemi di preavviso piene, evacuazioni, delocalizzazioni o riduzione vulnerabilità elementi esposti, ecc.	Provvedimenti atti a ridurre la vulnerabilità e/o il valore degli elementi a rischio	Riducono il rischio agendo sulla vulnerabilità e sul valore degli elementi esposti (danno potenziale)	Effetti solo nel caso di delocalizzazioni e ripristino di aree di pertinenza fluviale
Interventi strutturali di riduzione della pericolosità			
Dighe, traverse	Interventi finalizzati alla laminazione delle portate di piena	Laminazione delle piene e riduzione della pericolosità a valle	Alterazioni sulle portate liquide e solide per i tratti a valle
Casse di espansione, diversivi, scolmatori			Alterazioni sulle portate liquide per i tratti a valle
Briglie di trattenuta, briglie di consolidamento	Interventi finalizzati alla riduzione delle portate solide a valle o alla stabilizzazione del fondo nel tratto	Riduzione della dinamica verticale morfologica a valle (opere di trattenuta) o nel tratto (opere di consolidamento)	Interruzione della continuità longitudinale dei flussi solidi, alterazione della morfologia
Soglie, rivestimenti, rampe	Interventi finalizzati alla stabilizzazione del fondo e alla riduzione di fenomeni erosivi	Riduzione della dinamica morfologica nel tratto	Alterazioni della morfologia e del substrato
Argini	Interventi finalizzati alla riduzione della pericolosità da esondazione attraverso il contenimento in alveo di maggiori portate	Riduzione della pericolosità da esondazione nel tratto ma possibile trasferimento a valle di portate maggiori	Interruzione della continuità laterale dei processi
Difese di sponda	Interventi finalizzati alla stabilizzazione delle sponde, quindi a ridurre la pericolosità da dinamica laterale	Riduzione della pericolosità da dinamica laterale	Interruzione della dinamica laterale, alterazioni della morfologia
Rettifiche	Interventi finalizzati a favorire il deflusso delle piene	Riduzione della pericolosità da esondazione	Alterazioni della morfologia
Interventi di rimozione e/o manutenzione			
Rimozione sedimenti	Interventi finalizzati ad aumentare la sezione	Riduzione pericolosità esondazione e dinamica morfologica	Alterazioni della morfologia e del substrato
Taglio vegetazione e/o rimozione legno	Interventi finalizzati a ridurre la resistenza al moto e il materiale legnoso potenzialmente mobilizzabile		Alterazioni della vegetazione perifluviale

TERMINOLOGIA: *potenziale morfologico, “recupero” naturale vs. ricostruzione morfologica, sensibilità.*

Nell’ambito degli interventi di miglioramento delle condizioni idromorfologiche, è spesso utilizzato il concetto di **potenziale di recupero** (*recovery potential*, si veda, ad es., [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)), che esprime la potenzialità che un corso d’acqua possiede di modificarsi tendendo a una morfologia più naturale, nel caso di rimozione dei vincoli che ne controllano l’attuale configurazione. Recentemente, vari autori osservano che il termine “recupero” può essere fuorviante (ad es., [DUFOR & PIÉGAY, 2009](#)) in quanto implicitamente riconduce all’idea di uno stato di riferimento passato, che invece è da ritenere poco significativo e privo di utilità pratica, soprattutto nel momento in cui si riconosce il concetto di traiettoria di evoluzione e che le condizioni attuali del sistema fluviale possono essere molto diverse da quelle presenti in passato. È pertanto preferibile sostituire il termine di potenziale di recupero con quello di **potenziale morfologico**. Un corso d’acqua con basso potenziale morfologico è quindi da intendere come un alveo che ha una bassa capacità di modificarsi verso una morfologia che potrebbe assumere in assenza di determinate alterazioni o vincoli. La valutazione del potenziale morfologico rientra quindi negli obiettivi della previsione dell’evoluzione morfologica ([CAPITOLO 10](#)).

Nei casi di interventi di riqualificazione su di un corso d’acqua con una morfologia fortemente alterata e modificata, può essere necessario decidere se sia preferibile l’opzione di un **“recupero” naturale** o quella di una ricostruzione morfologica del corso d’acqua. Per gli stessi motivi precedenti, è opportuno sostituire il termine “recupero” con *riequilibrio* o *aggiustamento morfologico naturale*. Questa opzione dovrebbe coincidere in senso stretto con il cosiddetto “*non intervento*”, ma il più delle volte sta a indicare il processo di riequilibrio che si verifica successivamente alla *rimozione di interventi*. La **ricostruzione morfologica** indica invece la realizzazione diretta della morfologia dell’alveo di progetto (creazione di meandri, allargamento, ecc.). Molti autori (si veda, ad es., [DOWNS & GREGORY, 2004](#)) sono concordi nel ritenere che, se il corso d’acqua presenta un trasporto solido al fondo e un’energia (o *stream power*) sufficientemente elevati, la strategia migliore sia senza dubbio quella di promuovere il riequilibrio naturale del corso d’acqua, ad esempio rimuovendo i vincoli planimetrici e/o altimetrici o semplicemente interrompendo pratiche periodiche di manutenzione. La ricostruzione morfologica sarebbe invece da riservare ai soli casi di corsi d’acqua a bassa energia e limitato trasporto solido al fondo.

Un concetto strettamente connesso ai precedenti aspetti è quello di **sensibilità** di un corso d’acqua. La sensibilità esprime la facilità con cui, per un determinato tipo di corso d’acqua, si verificano gli aggiustamenti morfologici e la prossimità a una soglia geomorfologica ([BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#)). I corsi d’acqua sensibili sono cioè capaci di aggiustarsi rapidamente a seguito di qualche perturbazione, ma sono anche più suscettibili di variazioni molto intense in quanto possono trovarsi in prossimità di una soglia geomorfologica. Le risposte morfologiche a qualche disturbo o variazione delle condizioni al contorno sono più accentuate e rapide in tratti più sensibili. Ad esempio, un alveo a canali intrecciati è fortemente sensibile, mentre un corso d’acqua a canale singolo di bassa pianura o all’opposto un corso d’acqua di elevata pendenza (con morfologia a gradinata) possono avere una sensibilità molto bassa. Pertanto, nella scelta dei tratti dove realizzare interventi di riequilibrio morfologico naturale bisogna tener conto di questo aspetto, in quanto in tratti con bassa sensibilità tali interventi possono risultare inefficaci o richiedere tempi eccessivamente lunghi.

11.3 Individuazione di possibili azioni di miglioramento idromorfologico

L'aumento della qualità idromorfologica di un corso d'acqua è ritenuto la principale opzione per migliorarne le condizioni ecologiche. Va tuttavia ricordato che la comprensione dei legami reciproci tra condizioni idromorfologiche e stato ecologico, quindi delle risposte ecologiche alle pressioni o alle misure di tipo idromorfologico, è tuttora un argomento oggetto di ricerca (si veda, ad es., [MATHON et al., 2013](#)). Tali aspetti sono in corso di approfondimento ad esempio nell'ambito del progetto di ricerca FP7 REFORM (<http://www.reformrivers.eu>). Esiste tuttavia già da tempo un ampio consenso sul fatto che il funzionamento dei processi geomorfologici favorisce spontaneamente la creazione e il mantenimento di habitat e l'integrità di un ecosistema ([KONDOLF et al., 2003b](#); [WOHL et al., 2005](#); [BRIERLEY & FRYIRS, 2005](#); [FLORSHEIM et al., 2008](#); [HABERSACK & PIÉGAY, 2008](#); [FRYIRS et al., 2008](#)). Ciò è dimostrato anche dal fatto che l'immagine guida dei progetti di riqualificazione fluviale viene frequentemente identificata con quella di un ecosistema dinamico ([PALMER et al., 2005](#)), dove i processi geomorfologici e le tendenze evolutive del corso d'acqua rappresentano una componente essenziale ([CLARKE et al., 2003](#)).

In questo paragrafo viene sviluppato un percorso per la definizione delle possibili azioni di miglioramento idromorfologico. In generale, le *azioni* possono essere finalizzate a due diversi obiettivi: (1) *preservare* le attuali condizioni ecologiche e/o idromorfologiche, quando queste risultano essere in uno stato giudicato sufficientemente buono (o addirittura elevato); (2) *migliorare* le attuali condizioni ecologiche e/o idromorfologiche quando esse siano ritenute insufficienti. Il percorso seguente parte dalla possibilità di intraprendere entrambi i tipi di azioni, ma nella seconda parte si focalizza sugli interventi di miglioramento idromorfologico, viste le esigenze della WFD la quale richiede un miglioramento dei corpi idrici in stato ecologico non buono.

Gli **interventi per il miglioramento idromorfologico** cui si fa riferimento in questa procedura si riferiscono a una scala temporale dei prossimi 50–100 anni circa, appropriata per la gestione del corso d'acqua. In quest'ottica, l'*Indice di Qualità Morfologica (IQM)* rappresenta lo strumento da utilizzare per la valutazione degli effetti dei possibili scenari di intervento, mentre l'*Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQMm)* risulta più adeguato nella fase successiva di progettazione finale dell'intervento (si veda la valutazione di impatto di opere nel [CAPITOLO 9](#)).

Sulla base di tali premesse, il percorso per l'individuazione dei possibili interventi di miglioramento idromorfologico comprende una serie di passaggi, divisi in due *FASI* e descritti di seguito.

FASE I: CLASSIFICAZIONE DELLO STATO ECOLOGICO E IDROMORFOLOGICO, DEFINIZIONE DELLE PRIORITÀ DI AZIONE E SELEZIONE DEI TRATTI CRITICI

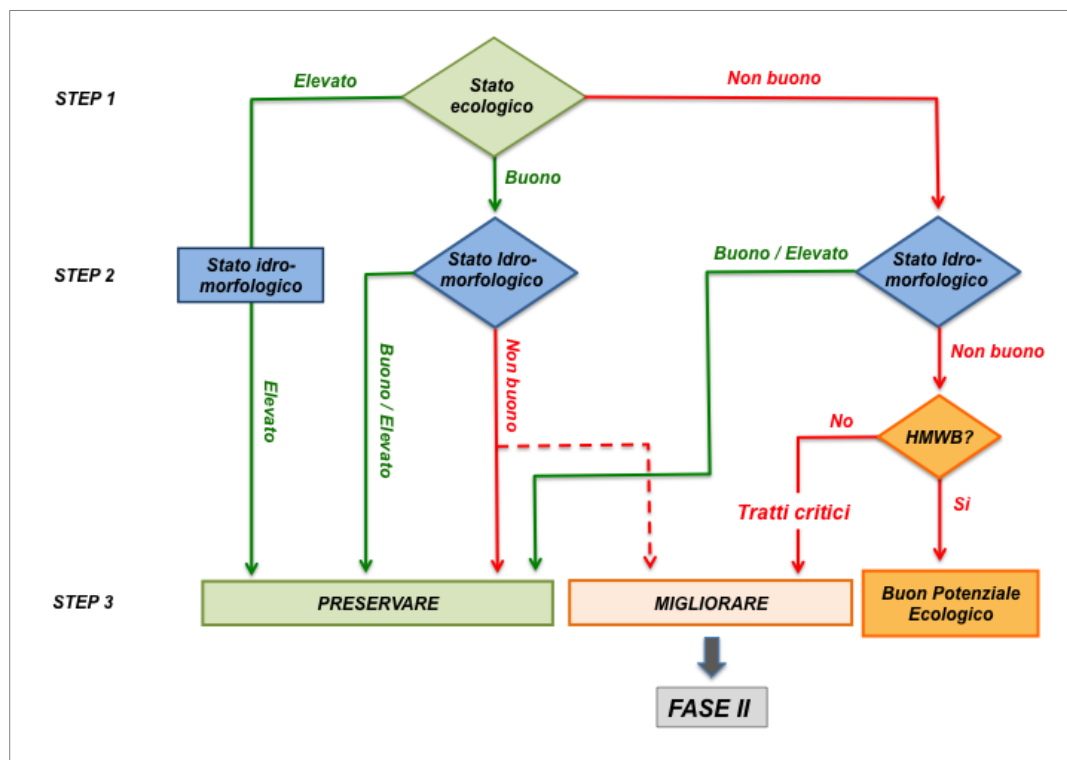


Figura 11.2 – Struttura schematica della Fase I del percorso di individuazione delle possibili azioni di miglioramento idromorfologico.

(1) Classificazione dello stato ecologico

La base di partenza è la conoscenza dello stato ecologico del corso d’acqua alla scala di corpo idrico (è invece escluso il caso di criticità dello stato chimico che vanno trattate indipendentemente dalle condizioni idromorfologiche). Tale conoscenza viene effettuata attraverso le metodologie previste dal D.M. 260/2010, alle quali si rimanda. Ai fini della selezione dei tratti critici e della successiva individuazione di possibili misure di miglioramento idromorfologico, si possono distinguere i tre seguenti casi:

- (A) *Stato ecologico elevato*. In questo caso le azioni sono finalizzate al mantenimento di tale stato (si veda lo [step 3](#)).
- (B) *Stato ecologico buono*. In questo caso, di norma non sono richiesti interventi di miglioramento, mentre può essere necessario prevedere azioni per preservare tale stato (si veda lo [step 3](#)).
- (C) *Stato ecologico non buono*. In questo caso, è necessario prevedere delle azioni che determinino un miglioramento dello stato ecologico, pertanto i corpi idrici in stato non buono sono quelli **critici**, sui quali approfondire le conoscenze idromorfologiche.

Risultati: il prodotto dello [step 1](#) consiste in una classificazione e mappatura dei corpi idrici in base allo stato ecologico e nell’identificazione di quelli critici (in stato non buono).

(2) Valutazione della qualità idromorfologica e identificazione dei fattori di alterazione

La valutazione idromorfologica è innanzitutto richiesta per confermare lo stato ecologico *elevato*. Ai fini della definizione di azioni di miglioramento, essa diventa inoltre necessaria per i corpi idrici identificati come critici durante lo [step 1](#), ovvero quelli in stato ecologico *non buono*. Un’applicazione più ampia della valutazione idromorfologica, estesa anche ai corpi idrici classificati in stato ecologico *buono* (soprattutto quelli al limite tra stato buono e non buono), può permettere di avere un quadro complessivo delle condizioni morfologiche lungo l’intero corso d’acqua per meglio comprendere i fattori di alterazione e definire le priorità di azione ([step successivo](#)).

La valutazione della qualità morfologica viene condotta attraverso l’applicazione dell’*Indice di Qualità Morfologica (IQM)*, che rappresenta lo strumento più idoneo da utilizzare ai fini

dell'identificazione dei possibili interventi di miglioramento idromorfologico. In aggiunta, per analizzare le alterazioni del regime idrologico, è possibile utilizzare l'indice *IARI*.

Nei casi di corpi idrici in stato ecologico *non buono*, si segue innanzitutto la *procedura per l'identificazione dei corpi idrici fortemente modificati (HMWB)*, per la quale si rimanda al [CAPITOLO 12](#). Nei casi in cui il corpo idrico non raggiunga i requisiti di possibile *HMWB* nella fase iniziale di *screening*, si procede a una valutazione idromorfologica necessaria per l'identificazione dei **fattori di alterazione**. Sulla base dell'*IQM* e dello *IARI* è possibile, infatti, non solo attribuire una classe di qualità ai vari tratti e quindi al corpo idrico, ma anche identificare i fattori e le cause di alterazione. L'*IQM* è strutturato in maniera tale da agevolare questo tipo di analisi, anche attraverso l'utilizzo dei sub-indici relativi alle varie componenti della valutazione (funzionalità, artificialità, variazioni morfologiche).

Risultati: il prodotto dello [step 2](#) consiste in una classificazione e mappatura dei tratti in base allo stato idromorfologico. Oltre ai corpi idrici in stato ecologico *elevato*, per i quali è necessaria la conferma che anche lo stato idromorfologico sia elevato, ai fini dell'individuazione di azioni idromorfologiche, tale classificazione va applicata almeno a quei corpi idrici in stato ecologico *non buono*, identificati come *critici* nello [step 1](#). Inoltre, tale classificazione andrebbe estesa per quanto possibile anche ai corpi idrici in stato *buono*.

(3) Definizione delle priorità di azione e identificazione delle criticità

Sulla base dei due precedenti *step*, è possibile incrociare lo stato ecologico con quello idromorfologico e ricavare un primo quadro complessivo delle priorità di azione, distinguendo principalmente tra le due seguenti: (1) *preservare*, nel caso di corpi idrici in condizioni buone o elevate; (2) *migliorare*, nel caso di corpi idrici in condizioni non buone.

Tabella 11.3 – Azioni prioritarie in base allo stato ecologico e idromorfologico.

STATO ECOLOGICO	STATO IDROMORFOLOGICO	AZIONE IDROMORFOLOGICA PRIORITARIA
(A) Elevato	(A) Elevato	<i>Preservare</i> lo stato elevato
(B) Buono	(B1) Buono/Elevato	<i>Preservare</i> lo stato buono/elevato
	(B2) Non buono	<i>Preservare</i> (non deteriorare ulteriormente)/possibilmente <i>migliorare</i>
(C) Non buono	(C1) Buono/Elevato	<i>Preservare</i> lo stato buono/elevato
	(C2) Non buono	<i>Migliorare</i>
	(C3) Fortemente modificato (HMWB)	Azioni idromorfologiche atte a favorire il "buon potenziale ecologico" (<i>Good Ecological Potential – GEP</i>)

Facendo riferimento alla [Tabella 11.3](#), si possono distinguere i seguenti casi:

(A) Stato ecologico elevato

Affinché lo stato ecologico risulti elevato, anche lo stato idromorfologico deve essere necessariamente elevato. L'azione è quindi quella di **preservare** le attuali condizioni.

(B) Stato ecologico buono

(B1) Lo stato idromorfologico è pari o superiore a buono. La WFD non richiede in questi casi azioni di miglioramento dello stato ecologico, ma vale il principio di evitare il deterioramento dello stato attuale. L'azione prioritaria rimane quindi quella di **preservare** le attuali condizioni.

(B2) Come nel caso precedente, non sono previste necessariamente azioni per migliorare lo stato ecologico. Vale anche in questi casi il principio di **preservare** le attuali condizioni idromorfologiche, nel senso di evitarne un ulteriore deterioramento, ma è possibile prendere in considerazione anche azioni atte a **migliorare** lo stato idromorfologico. Questo vale soprattutto nel caso in cui i tratti in condizioni idromorfologiche non buone siano contigui a corpi idrici in stato ecologico buono, pertanto un ulteriore peggioramento e/o una migrazione delle alterazioni idromorfologiche nei tratti contigui potrebbero causare un peggioramento dello stato ecologico.

(C) Stato ecologico non buono

(C1) Sono possibili i casi in cui le cause del deterioramento ecologico non siano attribuibili a pressioni di tipo idromorfologico, ma ad altri fattori chimico-fisici. In questi casi, eventuali

interventi di miglioramento idromorfologico potrebbero risultare inefficaci, pertanto la priorità di azione rimane quella di **preservare** le attuali condizioni idromorfologiche buone o elevate.

(C2) Rappresentano i casi per i quali, essendo lo stato ecologico non buono attribuibile a pressioni idromorfologiche, è necessario intraprendere azioni che vadano a **migliorare** lo stato idromorfologico. Tali casi coincidono con i **tratti critici** sui quali si concentreranno gli *step* successivi.

(C3) I corpi idrici designati come fortemente modificati (*HMWB*) seguono un percorso a sé stante (si veda [CAPITOLO 12](#)). In questi casi, l'obiettivo è quello del "buon potenziale ecologico" o *Good Ecological Potential – GEP* (invece del "buono stato ecologico" o *Good Ecological Status – GES*), pertanto le azioni idromorfologiche eventualmente da intraprendere devono essere funzionali a tale obiettivo.

Risultati: il prodotto dello [step 3](#) consiste in una classificazione e mappatura dei corpi idrici in base all'incrocio tra stato ecologico e idromorfologico, e di conseguenza nell'identificazione del tipo di azione prioritaria da intraprendere (preservare o migliorare). Per i corpi idrici per i quali l'azione individuata è quella di migliorare lo stato idromorfologico, si prosegue con la *Fase II* ([Figura 11.2](#)).

FASE II: DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO IDROMORFOLOGICO

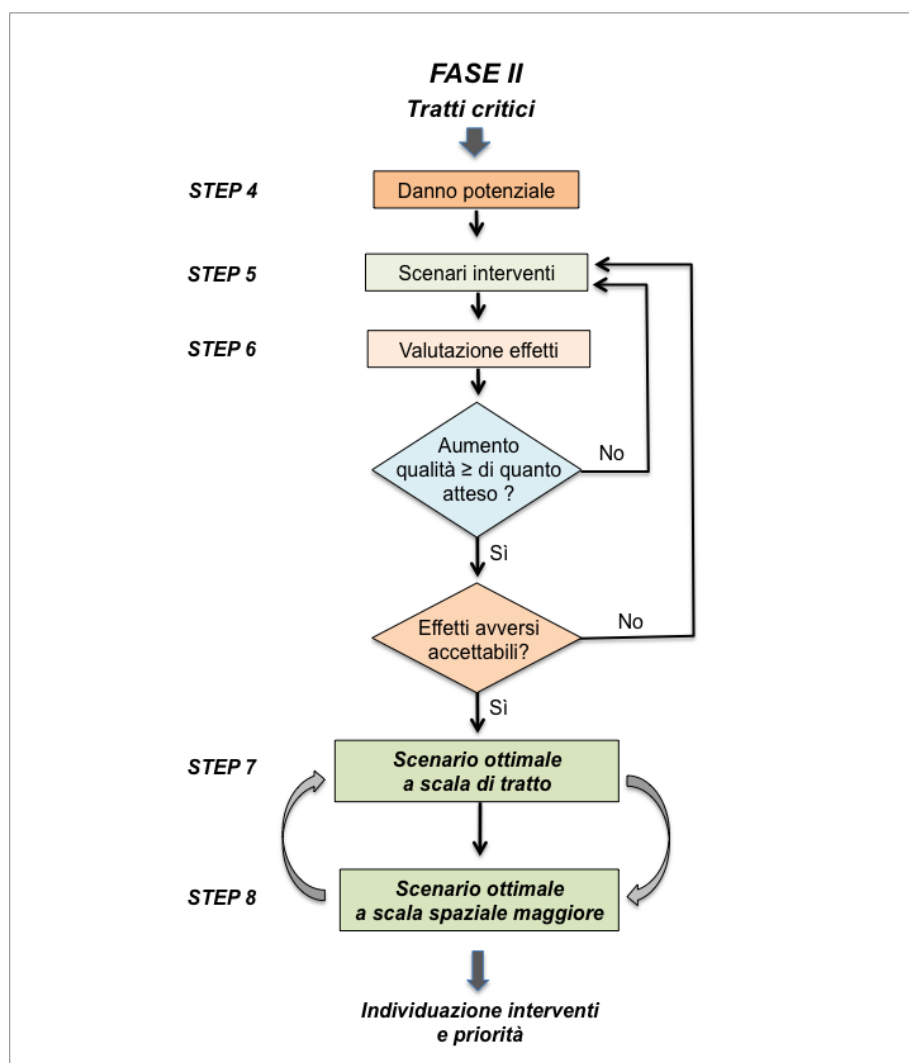


Figura 11.3 – Struttura schematica della *Fase II* del percorso di individuazione dei possibili interventi di miglioramento idromorfologico.

(4) Caratterizzazione del danno potenziale sulla base degli elementi esposti

In questo *step* ([Figura 11.3](#)) si procede con una caratterizzazione degli elementi esposti a rischio e della loro vulnerabilità, sia a scala di tratto che a scala locale. A tal fine, si fa riferimento a quanto

definito nell'ambito degli "Indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvioni" (MATTM, 2013). Tale documento rinvia ai cicli di gestione successivi al primo la stima della vulnerabilità intesa come vulnerabilità dell'elemento, ipotizzando per essa uguale valore (pari a 1) in tutte le aree comprese nella perimetrazione della pericolosità da esondazione. Pertanto, durante una prima fase di redazione delle mappe di rischio, si procede in modo semplificato associando le categorie degli elementi esposti alle condizioni omogenee di "danno potenziale" (assumendo la vulnerabilità pari a 1). Le classi sono le seguenti:

- (1) *Danno potenziale molto elevato (classe D4)*: aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico-ambientali;
- (2) *Danno potenziale elevato (classe D3)*: aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
- (3) *Danno potenziale medio (classe D2)*: aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
- (4) *Danno potenziale moderato o nullo (classe D1)*: comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

Un tratto del corso d'acqua viene attribuito alla classe di danno potenziale più elevata attraversata o nelle sue immediate adiacenze all'interno del tratto stesso.

Tale classificazione consente di avere una prima informazione sulle condizioni complessive e conoscere i vincoli esistenti in modo da poter definire scenari di intervento realistici ([step 5](#)). Ad esempio, in tratti a danno potenziale elevato o molto elevato, si può ritenere generalmente irrealizzabile qualunque intervento che possa aumentare la dinamica morfologica, mentre nei tratti classificati a danno potenziale da medio a nullo, tali interventi possono essere presi in considerazione, ovviamente con maggiore facilità nell'ultimo caso.

Inoltre, al fine di valutare in una fase successiva ([step 6](#)) gli effetti degli scenari di intervento in termini di rischio, è opportuno avere già da questa fase un quadro complessivo sufficientemente dettagliato degli elementi esposti presenti nella fascia che possono risentire degli effetti dei processi fluviali.

Risultati: il prodotto dello [step 4](#) consiste in una classificazione del danno potenziale a scala di tratto, basato sulla presenza e tipologia degli elementi esposti.

(5) Possibili scenari di intervento di miglioramento idromorfologico

Sulla base del quadro conoscitivo acquisito durante i quattro *step* precedenti, in questa fase si definiscono i possibili scenari di interventi finalizzati al miglioramento delle condizioni idromorfologiche. Gli scenari di intervento possono riferirsi alla *scala del tratto*, oppure possono consistere in interventi realizzati nel *bacino sotteso* che possano avere effetti sulla qualità idromorfologica del tratto (ad es., interventi di mitigazione di eventuali alterazioni delle portate liquide e/o solide presenti a monte del tratto). Tra le varie opzioni di intervento, viene normalmente incluso anche lo scenario di "non intervento".

Per la definizione di tali scenari, non si effettuano valutazioni di tipo socio-economico. Tuttavia, è opportuno già in questa fase prendere in considerazione solo quegli interventi realisticamente fattibili, andando a escludere quelli che certamente vanno a compromettere un "uso specifico" attuale che è irrinunciabile. In altri termini, viene adottato il concetto di "*immagine guida*" o "*practical Leitbild*" (si veda l'approfondimento successivo).

Risultati: il prodotto dello [step 5](#) consiste nel compilare una lista di possibili scenari ([Tabella 11.4](#)), descrivendo per ognuno di essi i tipi di interventi di miglioramento idromorfologico presi in considerazione. Tale lista viene integrata da una mappatura che riporti la localizzazione degli interventi.

Tabella 11.4 – Esempio di Tabella risultante dallo [step 5](#).

N	SCENARIO	DESCRIZIONE
1	Non intervento	Non impedire la dinamica evolutiva attuale del corso d'acqua
2	Rimozione opere longitudinali	Si prevede di rimuovere alcune difese di sponda all'interno del tratto che attualmente non svolgono un'azione di protezione di elementi a rischio
3	Rimozione opere trasversali nel tratto	Si prevede la rimozione di una o più opere all'interno del tratto che attualmente non svolgono una funzione ritenuta necessaria
4	Riduzione alterazioni portate liquide e/o solide	Si prevedono alcuni interventi (per es. rimozione, rilasci di portate liquide, rilasci di sedimenti) atti a ridurre le alterazioni delle portate liquide e/o solide nel bacino sotteso

TERMINOLOGIA: condizioni di riferimento e immagine guida o *practical Leitbild*

Si richiamano di seguito alcuni concetti utilizzati ai fini del miglioramento delle condizioni idromorfologiche (si rimanda al [CAPITOLO 7](#) per approfondimenti).

Il concetto di *vision* è ampiamente utilizzato per definire l'*immagine obiettivo* (o *target vision*) di un progetto di riqualificazione fluviale.

A tale scopo, vari autori hanno utilizzato i termini di *immagine guida* ([BINDER et al., 1983](#); [PALMER et al., 2005](#)) o *leitbild* ([KERN, 1992](#); [MUHAR & JUNGWIRTH, 1998](#)), definite guardando alle condizioni e vincoli attuali e futuri, e finalizzate a identificare lo stato meno degradato e più dinamico dal punto di vista ecologico che potrebbe esistere nell'attuale contesto fisico del bacino.

È importante distinguere le *condizioni di riferimento*, definite per misurare uno scostamento da condizioni naturali, dal concetto di *immagine guida*, utilizzato per definire gli obiettivi di una riqualificazione fluviale. A tal proposito, [JUNGWIRTH et al. \(2002\)](#) suggeriscono l'uso dei termini di "*visionary leitbild*", utile per valutare la deviazione rispetto a condizioni naturali, e di "*practical leitbild*" da utilizzare per identificare gli obiettivi di una riqualificazione tenendo conto dell'attuale contesto e dei vincoli attuali e futuri.

Coerentemente a tali concetti, è utile precisare che le condizioni di riferimento utilizzate per la valutazione dell'*IQM* (si veda [CAPITOLO 7](#)) sono certamente utili per facilitare l'individuazione di possibili azioni che migliorino la qualità morfologica di un tratto di corso d'acqua, ma non si identificano necessariamente con l'*immagine guida* o *immagine obiettivo* o *practical leitbild*, la quale deve inevitabilmente tener conto delle condizioni e dei vincoli attuali e futuri legati a usi ritenuti irrinunciabili.

(6) Valutazione degli effetti di ogni scenario di intervento

In questa fase si analizzano e, quando possibile, si quantificano gli effetti a scala di tratto di ognuno degli scenari di intervento definiti nello *step* precedente sui processi idrologico – idraulici e di dinamica morfologica. In particolare, vanno considerati i seguenti aspetti: qualità idromorfologica, dinamica morfologica, pericolosità da esondazione, rischio.

Effetti sulla qualità idromorfologica.

Tali effetti possono essere analizzati utilizzando l'*IQM*, valutando le possibili variazioni indotte dagli interventi in termini di artificialità, funzionalità geomorfologica e variazioni morfologiche. Nel caso in cui gli interventi previsti possano avere effetti sul regime idrologico, è necessario utilizzare l'indice *IARI*, quando ritenuto opportuno, oppure effettuare una valutazione qualitativa del potenziale miglioramento o peggioramento delle condizioni idrologiche. Per valutare gli indicatori di funzionalità e di variazioni morfologiche dell'*IQM*, il primo passo è quello di effettuare una *valutazione delle possibili tendenze evolutive future* associate a ogni scenario di intervento. A tal fine si deve tener conto di quanto descritto nel [CAPITOLO 10](#), distinguendo tra lo scenario "non intervento", che rappresenta le possibili tendenze evolutive future nel caso in cui permangano le attuali condizioni, e gli scenari che prevedono interventi.

Effetti sulla dinamica morfologica.

Tali effetti vengono analizzati attraverso l'applicazione dell'*IDM* e della *CDE*. Analogamente all'*IQM*, la valutazione di alcuni indicatori richiede una previsione delle possibili tendenze evolutive future, nello scenario "non intervento" e negli scenari con interventi. È inoltre necessario verificare se

e come gli scenari di intervento possano modificare le *fasce fluviali di dinamica morfologica* (ad es., a causa della rimozione di un'opera di difesa).

Effetti sulla pericolosità da esondazione.

Per analizzare tali effetti, si fa ricorso agli strumenti modellistici normalmente utilizzati per questi scopi. Le valutazioni si riferiscono alla scala del tratto, seppure in alcuni casi possono riguardare ipotesi di interventi nel bacino sotteso (*scenario 4* in [Tabella 11.4](#)). Una valutazione complessiva a una scala spaziale più estesa rispetto a quella dei singoli tratti è invece effettuata durante il successivo [step 8](#).

Effetti sul rischio.

L'ultimo passo è quello di incrociare queste analisi con la *vulnerabilità* presa in esame nello [step 4](#) al fine di valutare, per ogni scenario, se vi siano effetti in termini di variazioni delle condizioni di rischio a scala locale e/o a scala di tratto.

Risultati: i risultati dello [step 6](#) possono essere sintetizzati attraverso una o più tabelle riepilogative. In una prima tabella si possono riportare, per ogni scenario di intervento, i valori pre- e post-intervento degli indici o dei parametri significativi utilizzati. Una seconda tabella può invece evidenziare le variazioni, in termini quantitativi quando possibile (per es., differenze degli indici) o in forma di giudizio sintetico per alcuni aspetti, incluso il rischio (per es., aumento o riduzione). Un esempio di come strutturare tale tabella è riportato in [Tabella 11.5](#).

Tabella 11.5 – Struttura schematica della Tabella riepilogativa di valutazione delle variazioni nei vari scenari di intervento. I giudizi sintetici (0: nessun effetto; +: aumento; -: riduzione) corrispondono, quando possibile, a valutazioni quantitative basate sugli indici o su altri parametri analizzati.

SCENARIO	QUALITÀ IDROMORFOLOGICA		DINAMICA MORFOLOGICA		PERICOLOSITÀ ESONDAZIONE	RISCHIO
	ΔIQM	Idrologia	ΔIDM	ΔCDE		
1	0	0	0	0	0	0
2	+	0	+	+	+	+
3	+	0	+	+	0	+
4	+	+	0	0	0	0

(7) Individuazione dello scenario di intervento ottimale a scala di tratto

Questa fase, seppure trattata separatamente, rappresenta la conclusione dello *step* precedente, in quanto consiste nella selezione dello scenario che fornisce i **risultati più soddisfacenti alla scala del tratto**, tra quelli precedentemente ipotizzati. La tabella riepilogativa delle variazioni degli indici prodotta al termine dello [step 6](#) ([Tabella 11.5](#)) consente di paragonare con immediatezza gli effetti dei vari scenari presi in considerazione e di stilare una scala di preferenza. È possibile definire una soglia di miglioramento atteso della qualità idromorfologica (esprimibile, ad es., in termini di incremento minimo dell'*IQM*) e verificare per quali scenari il superamento di tale soglia comporti una riduzione o un aumento del rischio. Infine si può tenere conto eventualmente di altri aspetti oltre a quelli di qualità e di sicurezza, che possano concorrere all'ottimizzazione di uno scenario rispetto ad altri.

Risultati: attraverso lo [step 7](#) si definisce una scala di preferenza e si identifica lo scenario più vantaggioso alla scala del tratto, dal punto di vista della qualità morfologica e della sicurezza.

(8) Valutazione a scala spaziale maggiore

In questa fase, le valutazioni effettuate nello *step* precedente alla scala dei singoli tratti sono considerate complessivamente al fine di definire delle **priorità di intervento** e individuare le **soluzioni più vantaggiose ed efficaci a una scala spaziale maggiore** (corpi idrici, segmenti o intera asta fluviale). La scala spaziale più funzionale a questo tipo di valutazione è quella del *segmento*, essendo quest'ultimo un macro-tratto con caratteristiche fisiche piuttosto omogenee che quindi può avere un comportamento relativamente simile in termini idromorfologici.

Esiste quindi una forte interazione tra gli [step 7](#) e [8](#): in alcuni casi, è possibile escludere uno scenario individuato nello [step 7](#) come quello più vantaggioso a scala di tratto e riconsiderare altri scenari che possono essere preferibili a una scala spaziale maggiore. Inoltre, questo *step* mira a individuare i tratti con priorità di intervento i cui effetti possano risultare efficaci anche a una scala spaziale maggiore. Ad esempio, per realizzare un miglioramento della qualità morfologica alla scala del corpo idrico, non è necessario intervenire su tutti i tratti ma può essere sufficiente individuare lo

scenario di intervento su un singolo tratto (o anche su un tratto a monte o a valle) che possa avere effetti positivi sull'intero corpo idrico.

Un aspetto importante da considerare in questa fase è quello della **continuità e lunghezza complessiva** che può risultare migliorata in seguito a un determinato scenario di intervento. A tal fine, è necessario innanzitutto considerare le condizioni (ecologiche e morfologiche) dei *tratti contigui* e valutare i possibili effetti che uno scenario di intervento può produrre su di essi. È auspicabile quindi prevedere interventi che siano in grado di migliorare una porzione del corso d'acqua con una certa continuità, piuttosto che realizzare interventi frammentati di miglioramento locale, che possono risultare poco efficaci a una scala più ampia. Un altro punto da considerare è l'**aspetto temporale**, ossia è necessario valutare che l'intervento individuato porti a un miglioramento duraturo dello stato morfologico.

Coerentemente con questo criterio, laddove esista la necessità di selezionare alcuni tratti su cui realizzare interventi di miglioramento, si può definire in linea di massima il seguente **ordine di priorità**:

- (A) *Tratti con potenziali effetti morfologici negativi sui tratti contigui.* I tratti con priorità di intervento sono quelli contigui a porzioni di corso d'acqua in stato buono, dove esistano alterazioni morfologiche che potrebbero trasferirsi e minacciare le condizioni del tratto contiguo (a valle o a monte). Un esempio può essere il caso di erosione regressiva che potrebbe migrare verso monte e interessare un tratto attualmente in condizioni buone, compromettendo la funzionalità di vari processi.
- (B) *Tratti con elevato potenziale morfologico.* La seconda priorità di intervento è quella relativa a tratti le cui caratteristiche morfologiche e tendenze evolutive sono tali da prevedere che le loro condizioni possano significativamente migliorare con azioni minime, anche attraverso il “non intervento”. Essi corrispondono a quei tratti con elevata sensibilità, ossia a quei corsi d'acqua sufficientemente dinamici e con elevata capacità di modificarsi a seguito di pochi interventi o anche in loro assenza.
- (C) *Tratti molto degradati.* Gli ultimi casi, in ordine di priorità, corrispondono a quei tratti estremamente degradati, i quali sono stati soggetti a forti aggiustamenti morfologici e per i quali sarebbero necessari interventi estremamente impegnativi (anche in termini economici) per produrre qualche effetto significativo. Rientrano tra questi anche i tratti con basso potenziale morfologico (ossia a bassa sensibilità), per i quali ad esempio l'opzione “non intervento” o scenari con limitati interventi non sarebbero in grado di produrre risultati apprezzabili, a causa della scarsa energia del corso d'acqua, almeno nella scala temporale gestionale.

Risultati: attraverso lo [step 8](#) si individua una scala di priorità di interventi, ritenuti più vantaggiosi ed efficaci a una scala spaziale maggiore, integrata da una mappatura che riporti la localizzazione degli interventi.

11.4 Individuazione di possibili azioni per la mitigazione del rischio

In questo paragrafo, analogamente a quanto fatto per il miglioramento della qualità idromorfologica, viene delineato un percorso per la definizione delle possibili azioni di mitigazione del rischio. Il percorso si focalizza sulla mitigazione dei **rischi connessi alla dinamica morfologica**. Tuttavia, è necessario affiancare agli aspetti di dinamica morfologica le analisi della pericolosità e del **rischio da esondazione** (non trattate in questo manuale), secondo le metodologie consolidate di analisi idraulica. Analogamente, è necessario includere nella scelta degli interventi quelli finalizzati alla mitigazione del rischio da esondazione, dei quali se ne valutano gli effetti sia in termini di dinamica morfologica che di qualità idromorfologica.

Ai fini di questo percorso, le **azioni di mitigazione del rischio** possono ricondursi alle stesse due categorie generali definite per il miglioramento della qualità, vale a dire: (1) *preservare* le attuali condizioni, ossia evitare un aumento del rischio prevalentemente attraverso azioni in sede di pianificazione territoriale e di normativa (ad es., attraverso la definizione e l'adozione di fasce di pericolosità e di rischio); (2) *migliorare* le attuali condizioni, ossia attuare interventi di mitigazione del rischio, compresi interventi di tipo non strutturale che possono ridurre la vulnerabilità degli elementi esposti. Il percorso seguente parte dalla possibilità di intraprendere entrambi i tipi di azioni, focalizzandosi nella seconda parte sugli interventi di mitigazione del rischio.

Gli **strumenti di valutazione idromorfologica** utilizzati in questo percorso sono rappresentati dall'*Indice di Dinamica Morfologica (IDM)*, la *Classificazione della Dinamica da Evento (CDE)* e le *fasce fluviali di dinamica morfologica*. Si sottolinea inoltre il fatto che gli strumenti utilizzati per la valutazione della dinamica morfologica (*IDM* e *CDE*) hanno una duplice valenza, sia in termini di pericolosità da dinamica morfologica che di pericolosità da esondazione. Ad esempio, essi permettono sia di caratterizzare tratti o aree critiche in termini di dinamica morfologica, che di identificare tratti dove le modellazioni idrauliche devono tenere maggiormente in considerazione la dinamica morfologica ai fini della zonazione della pericolosità da esondazione. Le *fasce fluviali* rappresentano invece uno strumento che si può ben integrare con la zonazione delle aree inondabili. In tal modo è possibile ricavare una zonazione della pericolosità più completa, tenendo conto dei processi di dinamica laterale che sono nella maggior parte dei casi trascurati rispetto ai processi di inondazione. Per valutare gli effetti idromorfologici dei possibili scenari di intervento, vengono inoltre utilizzati l'*Indice di Qualità Morfologica (IQM)* e lo *IARI* (nel caso di impatti sull'idrologia). Anche in questo caso, l'*Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQMm)* risulta più adeguato nella fase immediatamente successiva alla realizzazione dell'intervento (si veda la valutazione di impatto di opere nel [CAPITOLO 9](#)).

La procedura per l'individuazione delle possibili azioni di mitigazione del rischio è strutturata in una sequenza di passi, divisi in due fasi come descritto di seguito.

FASE I: CLASSIFICAZIONE DELLA DINAMICA MORFOLOGICA E DEL RISCHIO DA ESONDAZIONE, DEFINIZIONE DELLE PRIORITÀ DI AZIONE E SELEZIONE DEI TRATTI CRITICI

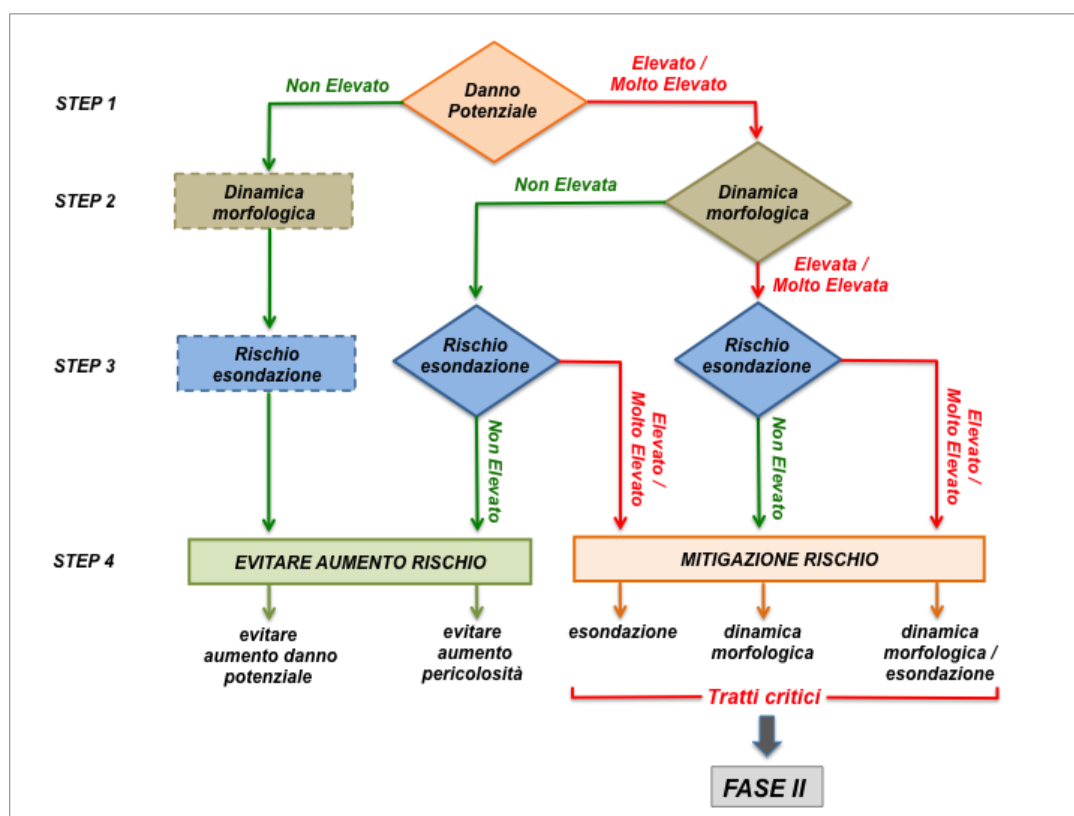


Figura 11.4 – Struttura schematica della *Fase I* del percorso di individuazione dei possibili interventi di mitigazione del rischio.

(1) Caratterizzazione del danno potenziale sulla base degli elementi esposti

La base di partenza è rappresentata dalla caratterizzazione della vulnerabilità e degli elementi esposti, attraverso le metodologie previste dal D.Lgs. 49/2010 e precedenti, alle quali si rimanda. Analogamente al percorso di miglioramento della qualità morfologica ([step 5](#)), si definiscono le seguenti classi di danno potenziale associate alle categorie degli elementi esposti:

-
- (1) *Danno potenziale molto elevato (classe D4)*: aree in cui si può verificare la perdita di vite umane, ingenti danni ai beni economici, naturali storici e culturali di rilevante interesse, gravi disastri ecologico-ambientali;
 - (2) *Danno potenziale elevato (classe D3)*: aree con problemi per l'incolumità delle persone e per la funzionalità del sistema economico, aree attraversate da linee di comunicazione e da servizi di rilevante interesse, le aree sedi di importanti attività produttive;
 - (3) *Danno potenziale medio (classe D2)*: aree con limitati effetti sulle persone e sul tessuto socio-economico. Aree attraversate da infrastrutture secondarie e attività produttive minori, destinate sostanzialmente ad attività agricole o a verde pubblico;
 - (4) *Danno potenziale moderato o nullo (classe D1)*: comprende le aree libere da insediamenti urbani o produttivi dove risulta possibile il libero deflusso delle piene.

Un tratto del corso d'acqua viene pertanto attribuito alla classe di danno potenziale più elevata attraversata o nelle sue immediate adiacenze all'interno del tratto stesso. Per le finalità del percorso qui descritto, si individuano le due seguenti macro-classi:

- (A) *Tratti con danno potenziale moderato o nullo (classe D1) oppure medio (classe D2).*
- (B) *Tratti con danno potenziale elevato (classe D3) oppure molto elevato (classe D4).*

I tratti fluviali che ricadono nella classe B possono essere individuati come **critici**.

Risultati: il prodotto dello [step 1](#) consiste in una classificazione e mappatura dei tratti e delle aree nelle diverse classi di danno potenziale sulla base degli elementi esposti.

(2) Valutazione della dinamica morfologica

La valutazione della dinamica morfologica è **prioritaria** per i tratti identificati come **critici** durante lo *step 1*, ovvero quelli classificati in classe di danno potenziale *D3* o *D4*. Tuttavia, ai fini di un'opportuna pianificazione territoriale che tenga conto in maniera più completa dei processi di dinamica morfologica, è auspicabile estendere quando possibile la valutazione anche ai tratti ricadenti nelle classi *D1* e *D2*.

La valutazione viene condotta attraverso l'applicazione dell'*Indice di Dinamica Morfologica (IDM)*, della *Classificazione della Dinamica di Evento (CDE)* e delle *Fasce fluviali di dinamica morfologica*. In particolare, la **classe di dinamica morfologica** del tratto viene identificata come la classe più elevata tra quelle derivanti dall'*IDM* (laddove applicabile) e *CDE*. Ai fini di questo percorso, si distinguono due macro-classi: (1) tratti in classe di dinamica morfologica *elevata o molto elevata*; (2) tratti in classe di dinamica morfologica *non elevata*.

Risultati: i risultati delle valutazioni condotte nello [step 2](#) consentono di classificare i tratti in funzione della dinamica morfologica e della dinamica di evento e le fasce adiacenti al corso d'acqua in funzione della dinamica morfologica planimetrica.

(3) Classificazione del rischio da esondazione

A integrazione delle valutazioni sulla dinamica morfologica, nello [step 3](#) viene preso in considerazione il rischio da esondazione, in primo luogo per quei tratti identificati come critici nello [step 1](#) (ossia ricadenti nelle classi *D3* o *D4*). Tuttavia, analogamente alla dinamica morfologica, è utile in questo caso disporre di un quadro più ampio delle condizioni di rischio idraulico da esondazione, sulla base della classificazione ricavata attraverso le metodologie previste dal D.Lgs. 49/2010 e degli indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE ([MATTM, 2013](#)), alle quali si rimanda. In base a tale classificazione, ai fini di questo percorso, vengono distinte due macro-classi:

- A) *Aree a rischio moderato (classe R1) oppure medio (classe R2).*
- B) *Aree a rischio elevato (classe R3) oppure molto elevato (classe R4).*

Risultati: il prodotto dello [step 3](#) consiste in una classificazione e mappatura dei tratti e delle aree nelle diverse classi di rischio idraulico da esondazione.

(4) Definizione delle priorità di azione e identificazione delle criticità

Sulla base dell'integrazione delle tre componenti analizzate nei precedenti *step*, ossia vulnerabilità ed elementi esposti (danno potenziale), dinamica morfologica e rischio da esondazione, si individuano le priorità di azione, secondo quanto schematizzato in [Figura 11.4](#).

Tabella 11.6 – Azioni prioritarie in base al rischio idraulico e alla dinamica morfologica.

DANNO POTENZIALE	DINAMICA MORFOLOGICA	RISCHIO DA ESONDAZIONE	AZIONI
(A) Moderato/nullo (D1) o medio (D2)	Qualunque	Qualunque	<i>Evitare aumento del danno potenziale: classificazione e zonazione (fasce fluviali) della dinamica ai fini della pianificazione e normativa</i>
(B) Elevato (D3) o molto elevato (D4)	Non elevata	(B1) Moderato (R1) o medio (R2)	<i>Evitare aumento della pericolosità</i>
		(B2) Elevato (R3) o molto elevato (R4)	<i>Realizzare interventi di mitigazione rischio da esondazione</i>
	Elevata o molto elevata	(B3) Moderato (R1) o medio (R2)	<i>Realizzare interventi di mitigazione rischio da dinamica morfologica</i>
		(B4) Elevato (R3) o molto elevato (R4)	<i>Realizzare interventi di mitigazione rischio da esondazione e dinamica morfologica</i>

Facendo riferimento alla [Tabella 11.6](#), si possono distinguere i seguenti casi:

(A) Danno potenziale da nullo a medio

La priorità è quella di evitare il danno potenziale attraverso azioni di pianificazione e normativa. La considerazione della dinamica morfologica (soprattutto attraverso la definizione delle fasce fluviali) può perfezionare la zonazione del rischio consentendo azioni di pianificazione più adeguate (evitare nuove edificazioni, ecc.).

(B) Danno potenziale da elevato a molto elevato

(B1) Poiché le condizioni di pericolosità non risultano elevate, la priorità di azione deve essere quella di evitarne l'aumento, dato che il danno potenziale è elevato.

(B2–B4) In questi casi, pur restando valido il principio per il quale bisogna evitare un aumento del danno potenziale attraverso azioni di pianificazione, può essere necessario individuare e attuare misure di mitigazione del rischio di esondazione (B2), da dinamica morfologica (B3) o di entrambi (B4). I tratti che ricadono in queste classi sono identificati come quelli **critici**, per i quali si prosegue nella definizione degli scenari di intervento della *Fase II*.

Risultati: il prodotto dello [step 4](#) consiste in una classificazione e mappatura in base all'incrocio tra danno potenziale, dinamica morfologica e rischio da esondazione, e di conseguenza nell'identificazione del tipo di azione prioritaria da intraprendere. Per i tratti critici per i quali l'azione individuata è quella di realizzare interventi per la mitigazione del rischio idraulico, si prosegue con la *Fase II* ([Figura 11.5](#)).

FASE II: DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI INTERVENTO DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO

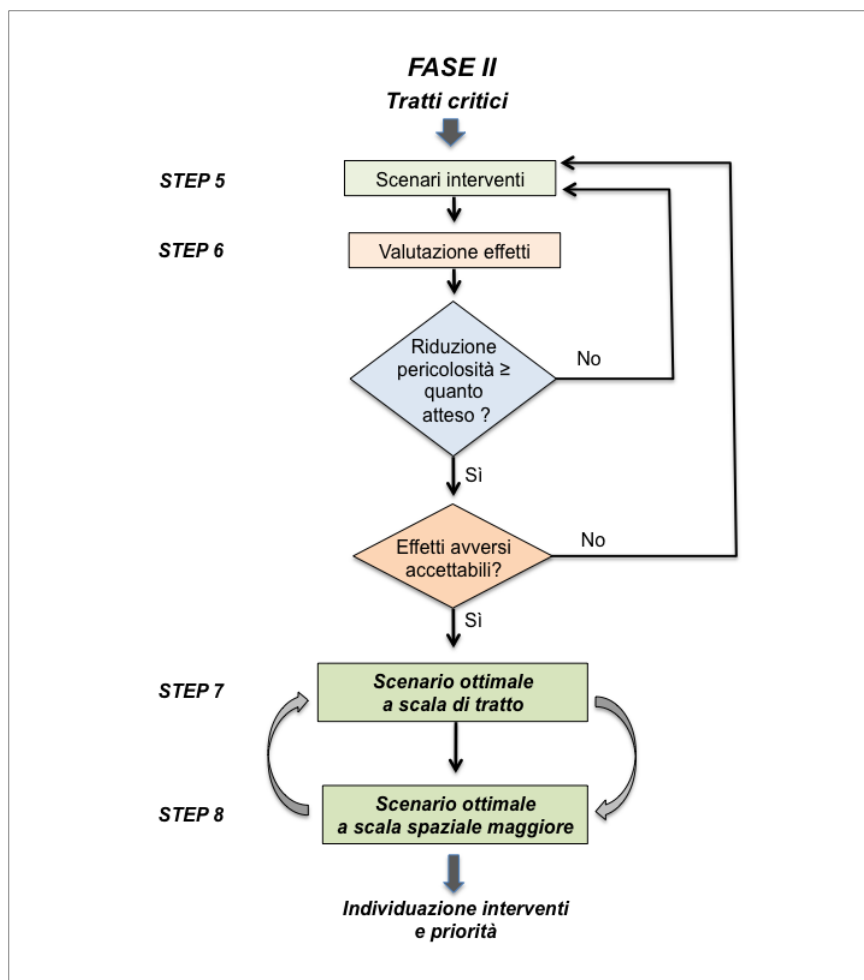


Figura 11.5 – Struttura schematica della Fase II del percorso di individuazione dei possibili interventi di mitigazione del rischio.

(5) Possibili scenari di intervento di mitigazione del rischio

In questo step vengono individuati i possibili scenari di intervento finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico. Il quadro conoscitivo degli elementi esposti è sufficientemente noto in quanto è servito per la precedente classificazione del danno potenziale.

Nei casi di *dinamica morfologica non elevata* (caso B2 dello [step 4](#)), gli interventi di mitigazione del rischio da esondazione potrebbero essere definiti in maniera indipendente dalle valutazioni sulla dinamica morfologica. Tuttavia, essi rientrano in questo percorso poiché se ne vuole valutare l'interazione e la compatibilità con quanto previsto WFD. Al contrario, nei casi di *dinamica morfologica elevata* (casi B3 e B4 dello [step 4](#)), gli scenari di intervento devono tener conto della dinamica morfologica ed essere finalizzati anche a una sua riduzione.

Gli scenari di intervento possono riferirsi alla *scala del tratto*, oppure possono consistere in interventi realizzati nel *bacino sotteso* con effetti sulla pericolosità del tratto (ad es., interventi di mitigazione di eventuali alterazioni delle portate liquide e/o solide presenti a monte del tratto). Tra le varie opzioni di intervento, viene incluso lo scenario di “non intervento”.

Risultati: il prodotto dello [step 5](#) consiste nel compilare una lista di possibili scenari ([Tabella 11.7](#)), descrivendo per ognuno i tipi di interventi di mitigazione del rischio presi in considerazione, integrata da una mappatura che riporti la localizzazione degli interventi.

Tabella 11.7 – Esempio di Tabella risultante dallo *step* 5.

N	SCENARIO	DESCRIZIONE
1	Non intervento e delimitazione fasce fluviali di dinamica morfologica	Nessun intervento strutturale; delimitazione delle fasce fluviali all'interno delle quali consentire la dinamica planimetrica naturale del corso d'acqua impedendo nuove edificazioni
2	Argini e difese di sponda	Si prevede la realizzazione di alcuni argini e difese di sponda per ridurre la pericolosità da esondazione e la dinamica morfologica
3	Opere trasversali	Si prevede la realizzazione di opere trasversali nel tratto (briglie) per stabilizzare il fondo e ridurre le portate solide al fondo (e i versanti adiacenti nel caso di alvei confinati)
4	Opere a monte, riduzione delle portate liquide e/o solide	Realizzazione di invasi e/o casse di espansione e/o briglie di trattenuta per ridurre le portate di picco e le portate solide al fondo

(6) Valutazione degli effetti di ogni scenario di intervento

Per valutare e quantificare gli effetti di ogni scenario di intervento ipotizzato nello *step* precedente, si prendono in considerazione i seguenti aspetti: pericolosità da esondazione, dinamica morfologica, rischio idraulico, qualità idromorfologica.

Effetti sulla pericolosità da esondazione.

La valutazione di tali effetti, attraverso gli strumenti modellistici normalmente adoperati in questo campo, viene ovviamente effettuata nel caso di interventi il cui obiettivo primario è quello della riduzione della pericolosità da esondazione. Essa viene effettuata anche nel caso di interventi che mirino alla riduzione della dinamica morfologica (difese di sponda, stabilizzazione del fondo, ecc.). Le valutazioni si riferiscono alla scala del tratto, ma in alcuni casi possono riguardare ipotesi di interventi nel bacino sotteso (ad es., lo scenario 4 in [Tabella 11.7](#)). Una valutazione complessiva a una scala spaziale più estesa rispetto a quella dei singoli tratti è invece effettuata durante il successivo [step 8](#).

Effetti sulla dinamica morfologica.

La valutazione di questi effetti è strettamente necessaria quando gli interventi sono finalizzati alla riduzione della dinamica morfologica, piuttosto che della pericolosità da esondazione, in modo da quantificarne i benefici. Gli strumenti di valutazione sono rappresentati da IDM, CDE e fasce fluviali. A tal fine, è necessaria dapprima una *valutazione delle possibili tendenze evolutive future* associate a ogni scenario di intervento, secondo quanto descritto nel [CAPITOLO 10](#), distinguendo tra lo scenario “non intervento”, il quale rappresenta le possibili tendenze evolutive future nel caso in cui permangano le attuali condizioni, e gli scenari che prevedono interventi.

Effetti sul rischio.

Le analisi precedenti vengono incrociate con la *vulnerabilità* complessiva, in modo da valutare i benefici degli interventi previsti in termini di rischio, a scala locale e/o di tratto. Sono compresi eventuali interventi che agiscono direttamente sulla vulnerabilità o sul valore degli elementi a rischio (per es. delocalizzazioni): essi quindi, pur avendo effetti nulli sulla pericolosità, producono una riduzione del rischio.

Effetti sulla qualità idromorfologica.

Come ultimo passo, si valutano i possibili effetti sulla qualità idromorfologica, utilizzando in primo luogo l'IQM per valutare gli effetti morfologici. Analogamente alla dinamica morfologica, è necessario valutare le possibili tendenze evolutive future per stimarne gli effetti sulla funzionalità e sulle variazioni morfologiche. Nel caso di effetti sul regime idrologico (serbatoi, casse di espansione, ecc.), è possibile utilizzare lo IARI oppure effettuare una valutazione qualitativa basata sul tipo di pressione.

Risultati: i risultati dello [step 6](#) possono essere sintetizzati attraverso una o più Tabelle riepilogative, nelle quali si riportano i valori pre- e post-intervento degli indici o dei parametri significativi utilizzati e le variazioni ([Tabella 11.8](#)).

Tabella 11.8 – Struttura schematica della Tabella riepilogativa di valutazione delle variazioni nei vari scenari di intervento. I giudizi sintetici (0: nessun effetto; +: aumento; -: riduzione) corrispondono, quando possibile, a valutazioni (quantitative) basate sugli indici o su altri parametri analizzati.

SCENARIO	PERICOLOSITÀ ESONDAZIONE	DINAMICA MORFOLOGICA		RISCHIO	QUALITÀ IDROMORFOLOGICA	
		ΔIDM	ΔCDE		ΔIQM	Idrologia
1	0	0	0	0	0	0
2	–	–	–	–	–	0
3	0	–	–	–	–	0
4	–	0	–	–	–	–

(7) Individuazione dello scenario di intervento ottimale a scala di tratto

La tabella riepilogativa delle variazioni degli indici prodotta al termine dello [step 6](#) ([Tabella 11.8](#)) consente di paragonare gli effetti dei vari scenari ipotizzati, di ordinarli secondo una scala di preferenza e di selezionare quello che fornisce i **risultati più soddisfacenti alla scala del tratto**. Nel caso di interventi mirati alla riduzione della dinamica morfologica, è possibile definire una soglia di miglioramento atteso, esprimibile ad esempio in termini di riduzione di *IDM* e/o *CDE*, e verificare per quali scenari il superamento di tale soglia comporti una riduzione o un aumento della qualità idromorfologica. In maniera analoga si può procedere per interventi mirati alla riduzione della pericolosità da esondazione.

Risultati: attraverso lo [step 7](#) si definisce una scala di preferenza degli scenari di intervento e si identifica quello più vantaggioso alla scala del tratto, dal punto di vista della pericolosità da esondazione e/o dinamica morfologica e della qualità idromorfologica.

(8) Valutazione a scala spaziale maggiore

Attraverso questo *step*, le valutazioni precedenti condotte alla scala dei singoli tratti sono considerate nel loro insieme al fine di definire delle **priorità di intervento** e di individuare le **soluzioni più vantaggiose ed efficaci a una scala spaziale maggiore** (corpi idrici, segmenti o intera asta fluviale). La scala spaziale più funzionale a questo tipo di valutazione è quella del *segmento*, essendo quest'ultimo un macro-tratto con caratteristiche fisiche piuttosto omogenee e che presenta un comportamento relativamente simile in termini di dinamica morfologica.

In questa fase vanno considerati attentamente gli effetti che gli interventi di mitigazione programmati in un determinato tratto possono avere per i tratti a valle. Un esempio può essere rappresentato dalla realizzazione di argini e dalla conseguente riduzione di aree di naturale laminazione. Tale intervento, infatti, se da una parte può mitigare il rischio da esondazione nel tratto arginato, dall'altra può aumentarlo per i tratti a valle a causa del trasferimento delle portate di picco. In maniera simile, la riduzione in un determinato tratto della dinamica morfologica laterale, per effetto di interventi di fissazione delle sponde, può produrre una minore alimentazione solida per i tratti a valle ed eventualmente favorire condizioni di deficit di trasporto solido e di incisione del fondo.

Le valutazioni effettuate in questo *step* richiedono in alcuni casi una revisione iterativa dei risultati dello *step* precedente a scala di tratto, riconsiderando o perfezionando alcuni scenari che possono essere preferibili a una scala spaziale maggiore.

Risultati: attraverso lo [step 8](#) si individua una scala di priorità di interventi, ritenuti più vantaggiosi ed efficaci a una scala spaziale maggiore, integrata da una mappatura che riporti la localizzazione degli interventi.

12. PROCEDURA PER L'IDENTIFICAZIONE DEI CORPI IDRICI FORTEMENTE MODIFICATI

12.1 Corpi idrici fortemente modificati (*HMWB*)

La WFD impone agli Stati Membri (*SM*), quale obiettivo ambientale per le acque superficiali, il raggiungimento del “buono stato ecologico e chimico” entro il 2015. Tuttavia riconosce che, sotto specifiche condizioni, alcuni corpi idrici potrebbero effettivamente non essere in grado di raggiungere tale obiettivo e quindi consente agli *SM* di identificarli e designarli come corpi idrici artificiali (*Artificial Water Bodies – AWB*) o corpi idrici fortemente modificati (*Heavily Modified Water Bodies – HMWB*, art. 4.3), ovvero di assegnare una proroga del termine fissato per il loro raggiungimento (art.4.4) o di attribuire loro obiettivi ambientali meno restrittivi (art. 4.5).

Gli *HMWB* e *AWB* sono stati introdotti per consentire agli *SM* di non rinunciare a quegli usi specifici che garantiscono funzioni sociali ed economiche, attuando nel contempo le misure di mitigazione dell'impatto finalizzate al miglioramento della qualità dei corpi idrici. Tali situazioni si configurano quindi in presenza di un'attività di rilevanza socio-economica, ovvero di un uso legittimo attuale che può essere raggiunto esclusivamente attraverso quelle pressioni che vanno ad alterare profondamente lo stato idromorfologico del corpo idrico.

Diversa è la condizione di corpi idrici in cui l'azione di forti pressioni antropiche nel passato (es. siti contaminati, tratti fluviali soggetti a forte estrazione di inerti) ha causato degli impatti rilevanti e sostanziali che possono ritardarne il recupero nello stato ecologico o ridurne l'obiettivo di qualità. Nel primo caso, l'art. 4.4 della WFD, ripreso nella norma nazionale dall'art. 77.6 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “Norme in materia ambientale”, il quale recepisce in Italia la WFD, fornisce disposizioni sulla proroga dei termini per il raggiungimento del buono stato ecologico. Nel secondo caso, l'art. 4.5 della WFD, ripreso dall'art. 77.7 del suddetto Decreto, fornisce indicazioni per l'abbassamento del livello dell'obiettivo di qualità da raggiungere.

Restringendo l'analisi agli *HMWB*, l'art. 74.2.g del D. Lgs. 152/06 definisce corpo idrico fortemente modificato “un corpo idrico superficiale la cui natura, a seguito di alterazioni fisiche dovute a un'attività umana, è sostanzialmente modificata, come risulta dalla designazione fattane dall'autorità competente in base alle disposizioni degli artt. 118 e 120”. Per alterazione fisica si può intendere qualunque alterazione i cui effetti si traducano in modificazioni *idromorfologiche* tali da provocare un mutamento sostanziale delle caratteristiche naturali originarie del corpo idrico.

All'art. 77.5 del D.Lgs. 152/06 vengono riportati gli usi specifici che provocano quelle alterazioni fisiche che consentono di poter designare un corpo idrico come *HMWB*:

- la navigazione, incluse le infrastrutture portuali, o le attività ricreative;
- le attività per le quali è previsto immagazzinamento di acqua, quali l'approvvigionamento per uso potabile, la produzione di energia elettrica, l'irrigazione;
- regimazione delle acque, protezione dalle inondazioni, drenaggio del terreno;
- altre attività antropiche ritenute significative.
- Considerando tali usi, un cambiamento nell'idromorfologia si può considerare “sostanziale” se è:
 - esteso, profondo;
 - molto evidente, nel senso che provoca una grande difformità rispetto alle condizioni che ci sarebbero in mancanza di alterazioni;
 - permanente;
 - relativo a modifiche delle caratteristiche morfologiche e idrologiche.

Una volta designato come *HMWB*, gli obiettivi ambientali che il corpo idrico superficiale deve raggiungere entro il 2015 diventano il “buon potenziale ecologico” o *GEP* (invece del “buono stato ecologico” o *GES*) e il buono stato chimico. Il *GEP* è determinato secondo una scala di classificazione che tiene conto degli effetti delle alterazioni antropiche sulla componente ecologica e perciò rappresenta per alcuni corpi idrici uno standard ecologico più realistico anche se non necessariamente meno restrittivo. La condizione di riferimento è il massimo potenziale ecologico (*MEP*).

Tuttavia, la designazione è opzionale, potendo lo *SM* decidere di raggiungere comunque il *GES* per quel corpo idrico (per esempio rimuovendo l'uso specifico). Qualora venga effettuata la

designazione, tale scelta e la relativa motivazione devono essere esplicitamente menzionate nei piani di gestione di bacino (RBMP) e sottoposte a revisione ogni sei anni [art. 77.7.d del D.Lgs.152/06].

12.2 Procedura complessiva di identificazione e designazione a HMWB

I passi fondamentali della procedura di designazione degli HMWB sono descritti nella Guidance n° 4 “Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies” (EC, 2004) prodotta nell’ambito della Common Implementation Strategy (CIS).

La procedura prevista dal CIS si articola in due fasi (Figura 12.1). La prima fase (**FASE 1**) di *identificazione preliminare* di un corpo idrico come *potenzialmente HMWB* avviene sulla base soltanto di valutazioni idromorfologiche ed ecologiche, mentre la seconda fase (**FASE 2**) di *designazione* effettiva richiede valutazioni tecniche e socio-economiche, che includono sicuramente anche scelte politiche complesse.

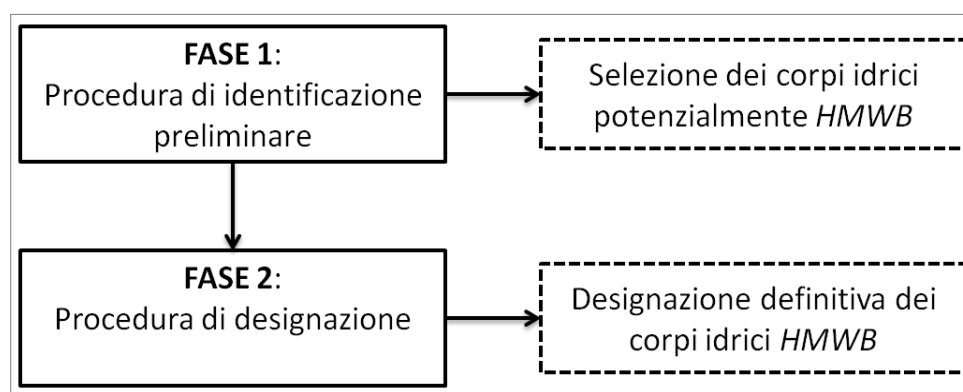


Figura 12.1 – Fasi previste dal CIS per l’identificazione e designazione dei HMWB.

È quindi evidente come sia di fondamentale importanza l’utilizzo di criteri razionali e obiettivi per la fase di identificazione preliminare a livello nazionale, in quanto è in questa fase iniziale che si selezionano i “candidati” HMWB sulla base di considerazioni il più possibile scientifiche. Infatti, soltanto un corpo idrico che obiettivamente presenta delle caratteristiche idromorfologiche di “fortemente modificato” può essere poi designato come tale sulla base di considerazioni socio-economiche. È da notare tuttavia come gli SM abbiano applicato delle procedure di identificazione e designazione alquanto variegate, in alcuni casi non pienamente in linea con la EC, 2004 (CIS Workshop on Heavily Modified Water Bodies, Bruxelles, 12–13 Marzo 2009).

12.3 Procedura generale di identificazione preliminare a HMWB

Il documento ISPRA, 2009, ha tradotto in Italiano il diagramma di flusso proposto dalla EC, 2004 per la fase di identificazione preliminare a corpo idrico altamente modificato (Figura 12.2).

Nel presente documento vengono forniti i criteri per l’applicazione degli **STEP 3–6** di questa fase (Figura 12.2), ovvero per l’identificazione dei corpi idrici fluviali di origine naturale (e quindi non ascrivibili a AWB) che manifestano caratteristiche idromorfologiche così estesamente e profondamente alterate tali da renderli potenzialmente classificabili come HMWB.

Per il primo ciclo di applicazione della WFD, e nel caso siano già disponibili le valutazioni sullo stato ecologico, è data facoltà agli enti competenti di sottoporre a test per l’identificazione preliminare a HMWB – ovvero **STEP 3** e **STEP 6** della precedente procedura – solo quei corpi idrici che non raggiungono lo stato ecologico “Buono”, ovvero si antepone lo **STEP 5** allo **STEP 3**. A partire dal secondo ciclo di gestione, si dovrà invece applicare la procedura interamente come qui descritta, ovvero seguendo il diagramma di flusso di Figura 12.2.

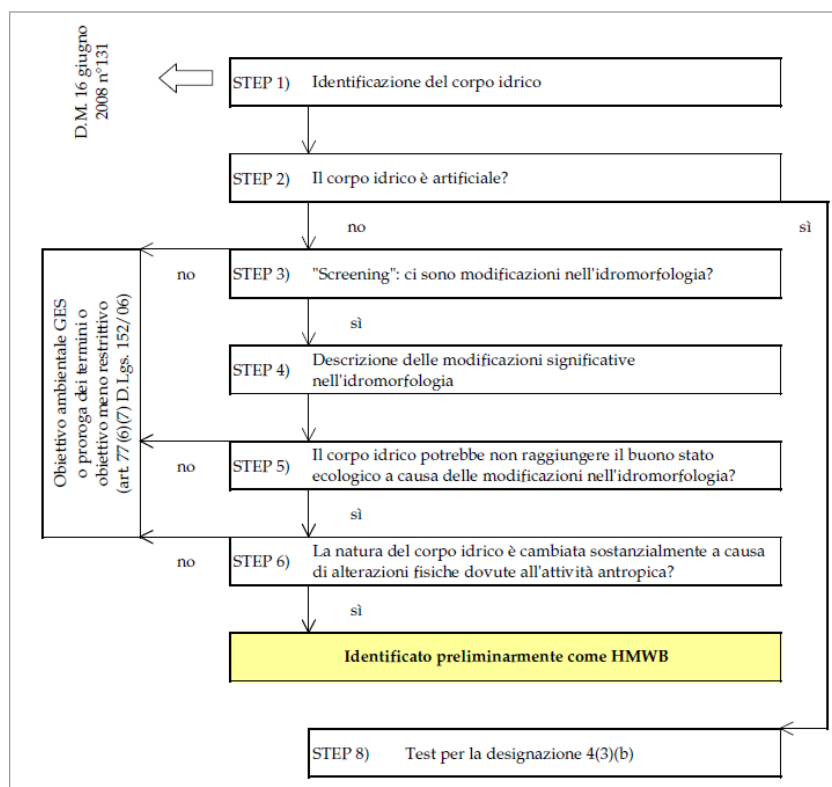


Figura 12.2 – Diagramma di flusso per l'identificazione preliminare degli HMWB ([ISPRA, 2009](#)).

12.4 Identificazione preliminare di HMWB

Nel [CAPITOLO 7](#) si definisce in dettaglio la procedura per la valutazione della qualità morfologica dei corsi d'acqua tramite l'*IQM*), previsto dal D.M. 260/2010 quale metodo nazionale da applicarsi ai fini della classificazione dei corpi idrici fluviali *sensu* WFD. In aggiunta, per analizzare le alterazioni del regime idrologico, ISPRA ha sviluppato nel 2009 l'indice *IARI*, pubblicandone la metodologia di valutazione in forma aggiornata nell'agosto 2011 (si veda [ISPRA, 2011](#)).

Come previsto dalla Guidance n°4, sono primariamente le alterazioni morfologiche a dover essere analizzate per l'identificazione preliminare a *HMWB*, mentre quelle idrologiche diventano rilevanti soltanto nel momento in cui esse comportino significative modificazioni morfologiche (le quali includono le alterazioni della struttura del substrato). Di conseguenza, l'*IQM* rappresenta lo strumento più idoneo ai fini dell'identificazione preliminare per i corpi idrici fluviali del territorio italiano. L'*IQM* si basa su indicatori di funzionalità morfologica, di artificialità e di variazioni morfologiche e viene applicato alla scala di tratto fluviale. La sua estensione alla scala del corpo idrico avviene successivamente sulla base di una media ponderata (in base alla lunghezza dei tratti) dei punteggi attribuiti a vari tratti componenti un singolo corpo idrico. Tuttavia, la stessa Guidance n°4 prevede che per alcuni corpi idrici siano sufficienti delle forti alterazioni idrologiche – anche in assenza di alterazioni morfologiche – per la loro identificazione preliminare a *HMWB*. Questo, unitamente all'oggettiva difficoltà in taluni corpi idrici di osservare il substrato dell'alveo, suggerisce di utilizzare lo *IARI* al posto dell'*IQM* per valutare alcuni casi specifici.

Al fine di individuare i corpi idrici fluviali con caratteristiche potenziali di *HMWB*, si è ritenuto di non legare sempre tale valutazione al valore dell'indice *IQM*, in quanto questo avrebbe richiesto la sua applicazione preventiva a numerose porzioni del reticolo idrografico. L'individuazione può pertanto avvenire, in alcuni casi, attraverso una procedura più speditiva.

In accordo al diagramma di flusso riportato in [Figura 12.2](#), si procede secondo i seguenti step.

- **STEP 1** – *Identificazione del corpo idrico*. Tale fase è già stata effettuata secondo i criteri definiti dal D.M. 131/08.
- **STEP 2** – *Il corpo idrico è artificiale?* Se lo è, ai sensi dell'art. 74.2.f del D.Lgs. 152/06, occorrerà successivamente valutare se possa raggiungere il "Buono Stato Ecologico" (*Good Ecological Status, GES*): in questo caso può essere considerato "naturale", dopo essere stato sottoposto al test di designazione previsto nello **STEP 8**.

- **STEP 3 – Screening:** ci sono modificazioni nell'idromorfologia? Si effettua una prima selezione dei corpi idrici utilizzando unicamente alcuni indicatori di artificialità previsti per l'indice IQM e analizzando la presenza di pressioni idrologiche aggiuntive. Si tratta di una valutazione speditiva, basata su un numero ristretto di aspetti molto rilevanti ai fini dell'identificazione di HMWB.
- **STEP 4 – Descrizione delle modificazioni significative nell'idromorfologia.** La valutazione degli indicatori di artificialità già prevista allo STEP 3 coincide con la descrizione delle pressioni idromorfologiche che può essere svolta a tavolino mediante il catasto delle opere idrauliche (se presente), tramite l'utilizzo di immagini telerilevate, e con l'ausilio dei dati idrologici nel caso questi siano necessari e disponibili
- **STEP 5 – Il corpo idrico potrebbe non raggiungere il GES a causa delle modificazioni nell'idromorfologia?** All'interno di questa selezione di corpi idrici con elevate pressioni idromorfologiche, si procede poi a giudicare se ci sia effettivamente il rischio di non poter raggiungere il “Buono Stato Ecologico (*Good Ecological Status*, GES)” a causa di queste pressioni, sulla base degli indici biologici previsti dalla normativa nazionale. Nel caso in cui il corpo idrico sia in grado di raggiungere il GES, il corpo idrico non viene identificato preliminarmente come HMWB. Si ricorda che per il primo ciclo di applicazione della WFD, nel caso siano disponibili le valutazioni sullo stato ecologico, lo STEP 5 può essere anteposto allo STEP 3, ovvero lo STEP 3 di screening si applica soltanto ai corpi idrici che non raggiungono il GES.
- **STEP 6 – La natura del corpo idrico è cambiata sostanzialmente a causa di alterazioni fisiche dovute all'attività antropica?** Nel caso in cui il non raggiungimento del GES sia verificato o ritenuto probabile, per confermare l'identificazione preliminare a HMWB di questi corpi idrici soggetti a notevoli pressioni idromorfologiche e con probabili conseguenze biologicamente importanti, è necessario – nella maggior parte dei casi – effettuare delle valutazioni aggiuntive e, per alcuni di essi, sarà necessario applicare l'indice IQM nella sua interezza.

Riassumendo, per la *FASE 1* di identificazione preliminare degli HMWB la procedura prevede due livelli di analisi: (1) primo *screening* basato unicamente su alcuni indicatori di artificialità e presenza di pressioni idrologiche aggiuntive; (2) *approfondimento dell'analisi idromorfologica relativamente ai soli corpi idrici* che siano giudicati *a rischio di non raggiungere il GES*. Queste due fasi sono descritte nel dettaglio di seguito.

12.5 Step 3: Screening

Innanzitutto, nel caso di un corpo idrico delimitato a valle da una diga (e quindi con presenza di un invaso artificiale), questo viene automaticamente identificato preliminarmente come HMWB. Già in fase di identificazione dei corpi idrici (**STEP 1**), tutti gli invasi artificiali dovrebbero essere stati classificati come corpi idrici distinti da quelli a monte e a valle di essi. Gli *invasi artificiali* chiaramente rappresentano dei corpi idrici dove le caratteristiche idromorfologiche sono state alterate in maniera permanente, profonda ed estesa (si veda sopra).

In tutti gli altri casi, mentre la natura di permanenza delle modifiche idromorfologiche presenta alcune difficoltà di definizione tecnico-economica (affendenti più alla fase 2 di designazione che alla presente fase 1), sono le caratteristiche di cambiamento profondo ed esteso che guidano la scelta dei criteri per l'identificazione preliminare a HMWB (quindi dallo **STEP 3** allo **STEP 6** in [Figura 12.2](#)).

Coerentemente con la valutazione dell'IQM, si definiscono alterazioni “profonde ed estese” le situazioni descritte di seguito ([Tabella 12.1](#)).

- Presenza di opere trasversali, longitudinali e rivestimenti del fondo estremamente frequente e continua (*casi 1–3* in [Tabella 12.1](#)). Al fine della valutazione del caso 2 in [Tabella 12.1](#), le difese di sponda e gli argini a contatto sono trattate insieme (ovvero la condizione è soddisfatta se le difese di sponda e/o gli argini a contatto superano il 66% del corpo idrico). A tali tipologie di opere è peraltro associata l'assegnazione delle penalità aggiuntive agli indicatori A4, A6, A7, A9, di cui al [CAPITOLO 7](#).
- Corpi idrici delimitati a monte da dighe o da opere trasversali che comunque interrompano completamente la continuità longitudinale del flusso di sedimenti (indicatore A2), quali briglie di trattenuta non filtranti o traverse di notevoli dimensioni non colmate (*caso 4* in [Tabella 12.1](#)).

- Corpi idrici che, a causa della presenza di una o più opere trasversali (es. briglie non colmate o traverse di derivazione), siano caratterizzati da estese alterazioni nelle caratteristiche idrodinamiche della corrente, ovvero siano dominati da tratti artificialmente lentic – ancorché non classificabili come “laghi” ai sensi del D.M.131/08 – a monte delle opere stesse, per una lunghezza complessiva (non necessariamente contigua) > 5 0% del corpo idrico (caso 5 in [Tabella 12.1](#)).
- Corpi idrici dove le alterazioni idrodinamiche e/o del substrato derivanti da modifiche del regime idrologico siano notevoli (casi 6 e 7 in [Tabella 12.1](#)). È questo il caso dei corpi idrici interamente o parzialmente compresi tra l’opera di presa e la restituzione (e quindi soggetti a solo deflusso minimo vitale) di impianti che utilizzano una quantità rilevante dei deflussi del corso d’acqua, oppure di corpi idrici a valle di restituzioni di portate significative prelevate da altri corsi d’acqua (e quindi con un aumento considerevole dei deflussi naturali del corpo idrico in esame), oppure di corpi idrici a valle di restituzioni di impianti a serbatoio quando la loro gestione determini la presenza di forti oscillazioni periodiche di portata (*hydropeaking*). Per entrambi i casi 6 e 7, in questo step di screening la valutazione della significatività delle modifiche del regime idrologico – e quindi la scelta del numero dei corpi idrici eventualmente da analizzare – è lasciata all’operatore.
- Corpi idrici dove esiste una combinazione di pressioni permanenti (a livello idrologico e/o morfologico) che singolarmente non rientrano nei casi sopra descritti, ma la cui interazione determina condizioni di forte alterazione idromorfologica (caso 8 in [Tabella 12.1](#)).

Non rientrano invece tra le alterazioni profonde ed estese i casi di corpi idrici che, pur avendo subito variazioni morfologiche passate molto intense (incisione del fondo, restringimento, ecc.), non sono interessati attualmente da forte artificialità. Tipico è il caso di corsi d’acqua dove l’attività estrattiva del passato ha causato notevoli variazioni morfologiche ancora presenti. Tali situazioni non hanno, infatti, il requisito di permanenza della causa dell’alterazione che deve caratterizzare gli *HMWB*.

Tabella 12.1 – Criteri utilizzati nella fase di *screening*.

CASO	CRITERIO
1	Opere trasversali (incluse soglie e rampe) con densità > 1 ogni <i>n</i> , dove <i>n</i> = 100 m in ambito montano, o <i>n</i> = 500 m in ambito di pianura/collina
2	Difese di sponda e/o argini a contatto per gran parte del corpo idrico (> 66%)
3	Rivestimenti del fondo per gran parte del corpo idrico (> 70%)
4	Presenza di diga (o briglia di trattenuta non filtrante o traversa assimilabili a diga) all’estremità di monte del corpo idrico
5	Presenza di opere trasversali (briglie o traverse) all’interno del corpo idrico o alla sua estremità di valle che determinano forti alterazioni delle condizioni idrodinamiche, con la creazione di tratti artificialmente lentic per una porzione dominante del corpo idrico (> 50%)
6	Presenza di tratti a regime idrologico fortemente alterato (riduzioni e aumenti significativi delle portate)
7	Alterazione delle caratteristiche idrodinamiche del corpo idrico dovute a fenomeni di oscillazioni periodiche di portata (<i>hydropeaking</i>)
8	Combinazione di più pressioni permanenti nessuna delle quali rientrante nei casi 1–7, ma la cui combinazione determina una notevole alterazione del corpo idrico

Similmente, non possono venire considerati come *HMWB* i corpi idrici soggetti periodicamente a risagomatura e ricalibratura delle sezioni a fini di difesa idraulica – in assenza degli elementi di artificialità previsti in [Tabella 12.1](#) – in quanto si tratta di interventi di manutenzione i cui effetti morfologici non sono permanenti e risultano reversibili anche nel breve periodo. In [Tabella 12.1](#) sono riassunti i casi (da 1 a 8) previsti per questa fase di *screening*, illustrati con alcuni esempi (caso 1 - [Figura 12.3](#), caso 2 - [Figura 12.4](#), casi 2 e 3 - [Figura 12.5](#), caso 4 - [Figura 12.6](#), caso 5 - [Figura 12.7](#), caso 6 - [Figura 12.8](#), caso 7 - [Figura 12.9](#)). È sufficiente che un corpo idrico presenti le caratteristiche di uno solo di questi casi per passare allo step successivo.



Figura 12.3 – Esempi di corpi idrici potenzialmente ricadenti nel caso 1 previsto in [Tabella 12.1](#).



Figura 12.4 – Esempi di corpi idrici potenzialmente ricadenti nel caso 2 previsto in [Tabella 12.1](#).



Figura 12.5 – Esempi di corpi idrici potenzialmente ricadenti nel caso 3 (e anche nel caso 2) descritto in [Tabella 12.1](#).



Figura 12.6 – Esempi di opere trasversali che possono determinare per i corpi idrici *immediatamente a valle di esse* le condizioni di cui al caso 4 previsto in [Tabella 12.1](#). A sinistra diga, a destra briglia di trattenuta non colmata.



Figura 12.7 – Esempio di opera trasversale (a sinistra) che potrebbe determinare le condizioni di cui al caso 5 previsto in [Tabella 12.1](#). Il corpo idrico a monte di briglie di trattenuta non colmate o di traverse fluviali, o comunque contenente almeno una di queste strutture, viene considerato potenzialmente *HMWB* se l'estensione del tratto reso artificialmente lentico dalle opere stesse (a destra) è dominante rispetto alla lunghezza del corpo idrico (> 50%).



Figura 12.8 – Esempi di notevoli alterazioni del substrato attribuibili a forti alterazioni idrologiche (caso 6): *clogging* (a sinistra) e corazzamento anomalo (a destra).



Figura 12.9 – Esempio di alterazioni indotte dai rilasci periodici delle centrali idroelettriche (*hydropеaking*) che possono determinare il caso 7 previsto nella [Tabella 12.1](#). Nella foto di sinistra il corpo idrico è soggetto al deflusso minimo vitale (*DMV*), mentre nella foto di destra la situazione è alterata dalla presenza dell'*hydropеaking* (oscillazioni periodiche di portata). La variazione di portata, data la sezione relativamente stretta e compatta del corpo idrico, si riflette in un aumento notevole della velocità media della corrente e degli sforzi tangenziali al fondo.

12.6 Step 6: Valutazione dell'entità delle modifiche idromorfologiche

I casi presentati in [Tabella 12.1](#) rappresentano le condizioni necessarie per l'identificazione preliminare di corpi idrici fluviali fortemente modificati, e sono verificabili a scala di reticolo idrografico in maniera relativamente speditiva. Tuttavia, queste possono non essere sufficienti, in quanto in alcuni casi si deve verificare se effettivamente il corpo idrico sia gravemente alterato. Per alcune casistiche, ciò può essere verificato soltanto tramite l'applicazione dell'*IQM*, mentre in altre situazioni è sufficiente la verifica soltanto di alcune condizioni e/o indicatori specifici dell'*IQM*. Infine, nel caso di forti pressioni di natura idrologica, è prevista la possibilità di utilizzare l'indice *IARI* (Indice di Alterazione del Regime Idrologico).

Per confermare l'identificazione preliminare a *HMWB* dei corpi idrici fluviali individuati dallo *screening* (**STEP 3**) e a rischio di non raggiungere il GES (**STEP 5**), sono previste le seguenti verifiche relativamente agli 8 casi (*caso 1* - [Figura 12.10](#), *caso 2* - [Figura 12.11](#), *caso 4* - [Figura 12.12](#), *caso 5* - [Figura 12.13](#), *caso 6* - [Figura 12.14](#), *caso 8* - [Figura 12.15](#)) descritti in [Tabella 12.1](#):

- *Caso 1*: per alvei a canale singolo, è sufficiente che gli indicatori *F6* ("Morfologia del fondo e pendenza della valle", per alvei confinati) o *F7* ("Forme e processi tipici della configurazione morfologica", per alvei semi- e non-confinati) ricadano nella classe C, valutando tali indicatori alla scala del corpo idrico. Se tali indicatori non ricadono in classe C, e nei casi di alvei transizionali o a canali multipli, è necessario applicare l'*IQM* che dovrà risultare ≤ 0.5 affinché il corpo idrico sia identificato preliminarmente come *HMWB*.

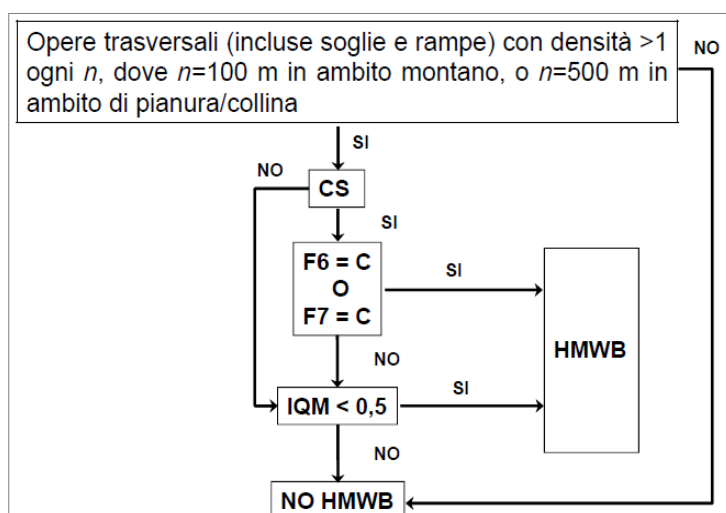


Figura 12.10 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 1.

- *Caso 2*: per alvei a canale singolo rettilinei, sinuosi e meandriformi, e inoltre privi di barre per gran parte ($> 90\%$) del corpo idrico, è sufficiente che l'indicatore *F7* ricada nella classe C. Se tale indicatore non ricade in classe C, e nei casi di alvei transizionali o a canali multipli, è necessario applicare l'*IQM* che dovrà essere ≤ 0.5 affinché il corpo idrico sia identificato preliminarmente come *HMWB*.

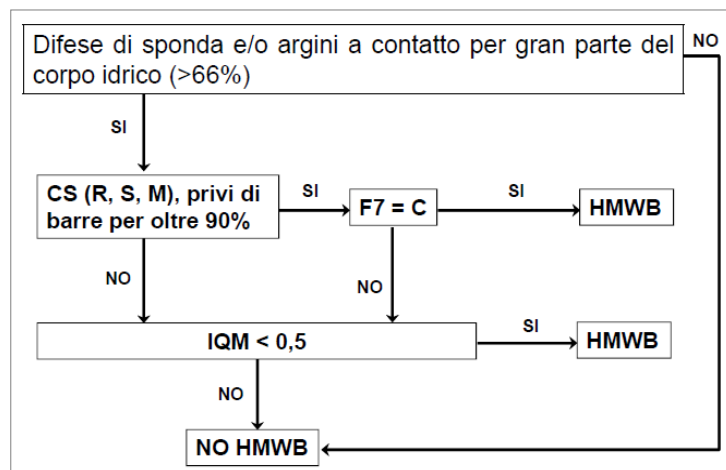


Figura 12.11 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 2.

- Caso 3: la condizione necessaria descritta in [Tabella 12.1](#) è anche sufficiente per l'identificazione preliminare a *HMWB*, non servono quindi ulteriori verifiche.
- Caso 4: è necessario che il corpo idrico presenti $IQM < 0,5$, ovvero ricada nella classe “Pessimo” o “Scadente”.

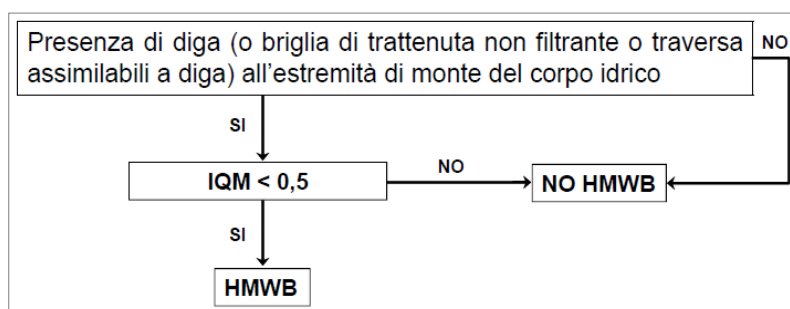


Figura 12.12 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 4.

- Caso 5: se la lunghezza complessiva dei tratti lentici risulta $> 70\%$, allora tale corpo idrico è direttamente identificato preliminarmente come *HMWB*, senza verifiche ulteriori. Se tale lunghezza è tra 50% e 70%, è invece necessario che il corpo idrico presenti $IQM < 0,7$, ovvero ricada nella classe “Pessimo”, “Scadente” o “Moderato”.

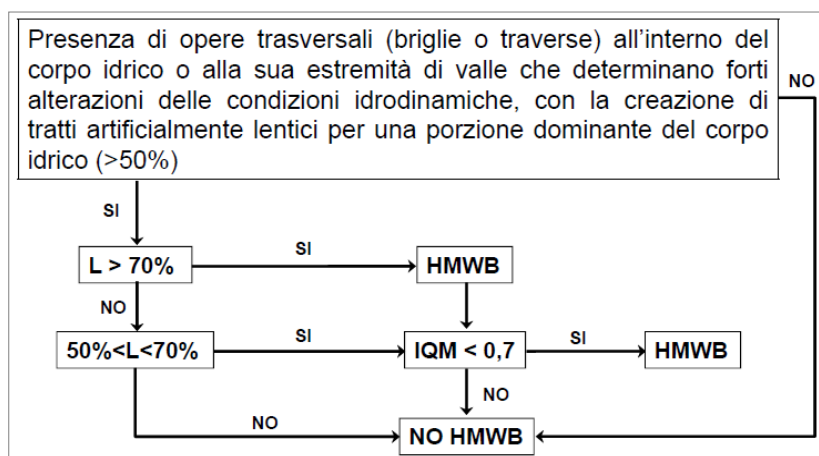


Figura 12.13 – Diagramma di flusso per lo *screening* relativo al caso 5.

- Caso 6: in presenza di alterazioni idrologiche ritenute significative, è necessario che il corpo idrico presenti $IQM < 0,7$, ovvero ricada nella classe “Pessimo”, “Scadente” o “Moderato”, e che il substrato sia estesamente alterato (lunghezza $> 70\%$ del corpo idrico), ovvero caratterizzato da

clogging diffuso nel caso di corpi idrici soggetti a riduzione dei deflussi, o fortemente corazzato nel caso di deflussi artificialmente incrementati. Nel caso in cui le condizioni di cui sopra non siano verificate o verificabili (per es., substrato non visibile), si deve procedere alla valutazione dell'Indice di Alterazione del Regime Idrologico (*IARI*) sviluppato da ISPRA. Per identificare preliminarmente come *HMWB* il corpo idrico, il regime idrologico deve risultare in classe "Non buono" ($IARI > 0.15$).

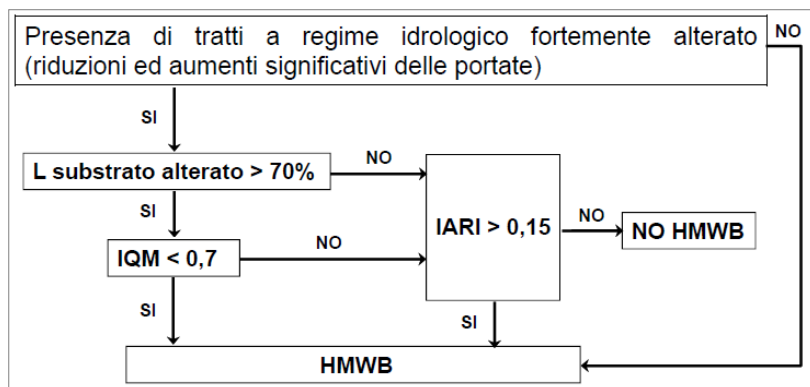


Figura 12.14 – Diagramma di flusso per lo screening relativo al caso 6.

- Caso 7: è necessario che il corpo idrico presenti delle alterazioni idrodinamiche (velocità media della corrente, tensioni tangenziale al fondo) notevoli a seguito dei fenomeni di oscillazione periodica di portata. Per la valutazione di queste alterazioni si rimanda alle indicazioni contenute in [CAROLLI et al \(2014\)](#)
- Caso 8: se il corpo idrico presenta $IQM < 0.5$, ovvero ricade nella classe "Pessimo" o "Scadente", esso può essere identificato preliminarmente come *HMWB*.

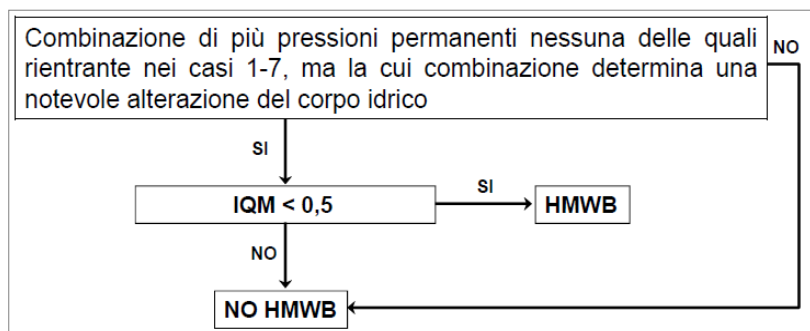


Figura 12.15 – Diagramma di flusso per lo screening relativo al caso 8.

Nei casi in cui la procedura sopra esposta prevede che si debba applicare la valutazione completa dell'*IQM*, risulta necessario suddividere il corpo idrico in tratti secondo quanto previsto nel [CAPITOLO 4](#), ed effettuando successivamente la media ponderata per assegnare un unico valore di *IQM* al corpo idrico in analisi.

Nel caso di corpi idrici di lunghezza notevole, si potrebbe verificare un'apparente incongruenza tra la percezione da parte degli operatori di condizioni di forte alterazione (che suggerirebbero di classificare tali corpi idrici come *HMWB*) e le soglie di artificialità e alterazione previste nella presente procedura. Per questi corpi idrici, che potrebbero non risultare identificabili come *HMWB*, si suggerisce di procedere alla revisione dei loro limiti per il futuro ciclo di applicazione della WFD, suddividendoli in corpi idrici di minor lunghezza per renderli rappresentativi di pressioni e alterazioni idromorfologiche uniformi.

È importante evidenziare, relativamente al caso 8, che se un basso valore di *IQM* derivasse primariamente da alterazioni *non permanenti* e non associate agli usi *attuali* (prelievo di inerti nel passato, ricalibratura occasionale delle sezioni per fini di sicurezza idraulica), in ogni caso questi corpi idrici non potranno essere designati come *HMWB* in base a quanto previsto dalla Fase 2 (verifica tra **STEP 7.1–7.2**, [Figura 12.10](#)).

12.7 Fasi successive all'identificazione preliminare di HMWB

Quanto descritto nei paragrafi precedenti rappresenta soltanto la fase di identificazione preliminare dei corpi idrici potenzialmente da classificare come altamente modificati (*Fase 1* in [Figura 12.1](#)). Successivamente, per i corpi idrici identificati tramite questa prima fase, si devono far seguire le valutazioni previste dagli *step* di cui alla *Fase 2* di designazione effettiva a HMWB ([Figura 12.16](#)), secondo quanto riportato in [EC, 2004](#) e in [ISPRA \(2009\)](#), ai quali si rimanda per ulteriori approfondimenti.

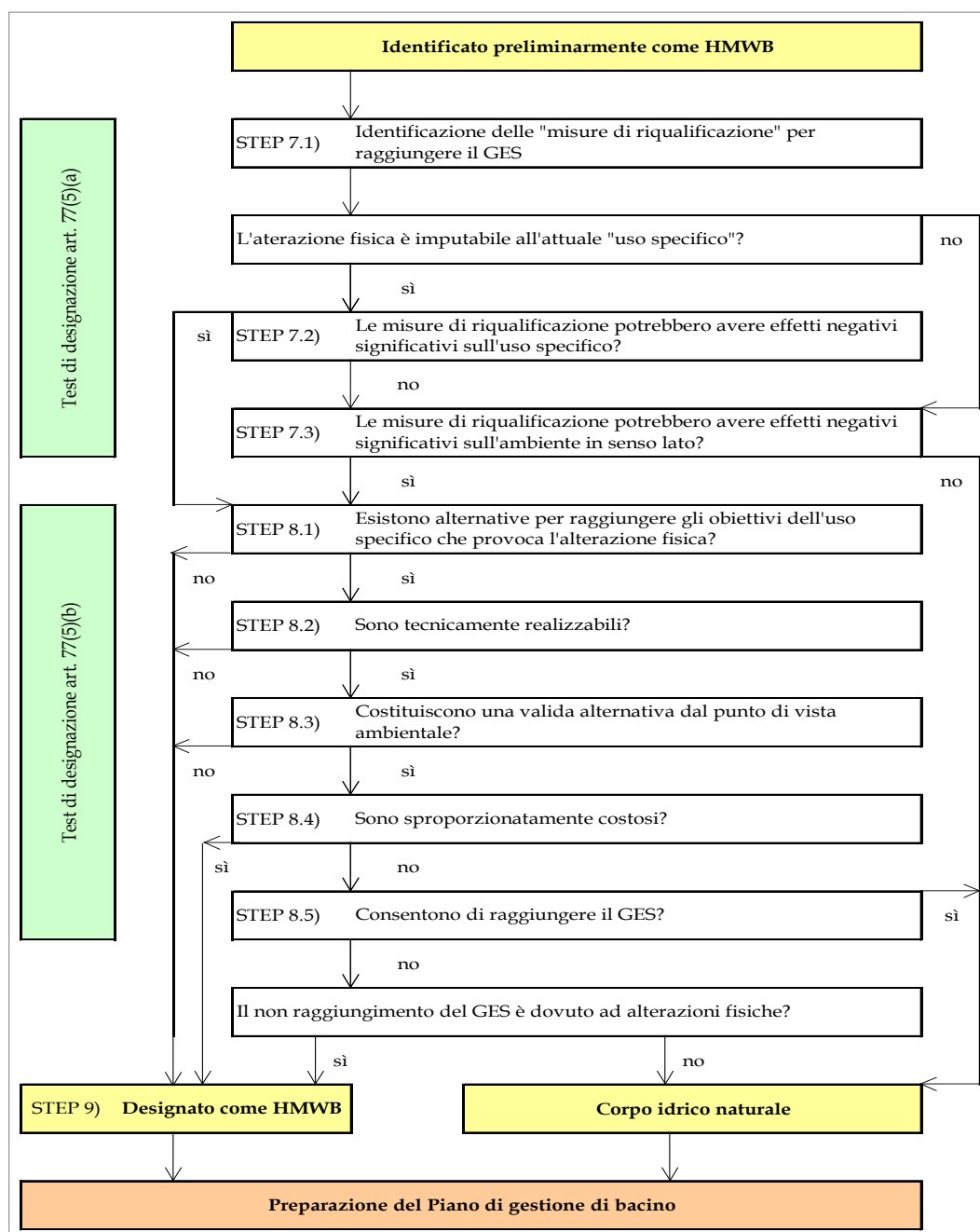


Figura 12.16 – Diagramma di flusso per la designazione definitiva degli HMWB ([ISPRA, 2009](#)).

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2005). Mitigation of Hydrogeological risk in alpine catchments. Linee guida del Progetto "CatchRisk", Programma INTERREG IIIB Spazio Alpino, Arpa Piemonte. http://www.alpine-space.org/uploads/media/Catchrisk_Mitigation_of_Risk.pdf
- ABBE T.B., MONTGOMERY D.R. (2003). Patterns and process of wood debris accumulation in the Queets River basin, Washington. *Geomorphology*, 51, 81-107.
- ACKERS P. (1982). Meandering channels and the influence of bed material. In Hey R.D., Bathurst J.C., Thorne C.R. (Eds.), *Gravel-bed Rivers*, Wiley, Chichester, 389-414.
- AGENCES DE L'EAU (1998): SEQ Physique. A system for the Evaluation of the Physical Quality of watercourses. Version 0. Angers, November 1998. In: Mc Ginnity P.M., Mills P., Roche W. and Müller M. (2005): A desk study to determine a methodology for the monitoring of the 'morphological conditions' of Irish Rivers. Final Report. Environmental RTDI Programme 2000-2006. Central Fisheries Board - Compass Informatics - EPA. 237 p.
- ALBER A., PIÉGAY H. (2011). Spatial disaggregation and aggregation procedures for characterizing fluvial features at the network-scale: Application to the Rhône basin (France). *Geomorphology* 125, 343-360.
- ALLAMANO P, CLAPS P., LAIO F. (2009). Global warming increases flood risk in mountainous areas. *Geophys. Res. Lett.*, 36.
- 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.
- ANTROPOVSKY V.I. (1972). Critical relations of types of channel processes. *Soviet Hydrology*, 11, 371-381.
- ARMANINI A. (1999) – Principi di Idraulica Fluviale. Editoriale BIOS, 152 pp.
- ARNAUD-FASSETTA G., PROVANSAL M. (1999). High frequency variations of water flux and sediment discharge during the Little Ice Age (1586-1725 AD) in the Rhône Delta (Mediterranean France). Relationship to the catchment basin. *Hydrobiologia*, 410(1), 241-250.
- AULITZKY H. (1982). Preliminary two-fold classification of torrent. *Proceedings International Symposium Interpraevent, Bad Ischl*, 4, 285-309.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO – ADBPO (2008a). Il recupero morfologico ed ambientale del Fiume Po. Il contributo del programma generale di gestione dei sedimenti del Fiume Po. Edizioni Diabasis, 50 pp.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO – ADBPO (2008b). Fasce di mobilità del Fiume Po da confluenza Stura di Lanzo all'incile del Po di Goro. Parma, 32 pp.
- BAGNOLD R.A. (1966). An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics, USGS Professional Paper 422-I.
- BAKER V.R., COSTA J.E. (1987). Flood power. In *Catastrophic Flooding*, Mayer L, Nash D (Eds.). Allen & Unwin: Winchester; 1-21.
- BARBOUR M.T., J. GERRITSEN, B.D. SNYDER, 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.

-
- BARKER D.M., LAWLER D.M., KNIGHT D.W., MORRIS D.G., DAVIES H.N., STEWART E.J. (2009). Longitudinal distributions of river flood power: the Combined Automated Flood, Elevation and Stream power (CAFES) methodology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34, 280–290, DOI: 10.1002/esp.1723.
- BARTHOLDY J., BILLI P. (2002). Morphodynamics of a pseudomeandering gravel bar reach. *Geomorphology*, 42, 293–310.
- BARUFFI F., RUSCONI A., SURIAN N. (2004). Le fasce di pertinenza fluviale nella pianificazione dei bacini idrografici: aspetti metodologici ed applicazioni. Atti Convegno Interpraevent, Riva del Garda, Maggio 2004.
- BATES P.D., ANDERSON M.G., HORRITT M.S. (1998). Terrain information in geomorphological models: stability, resolution and sensitivity. In: Lane S.N., Richards K.S., Chandler J.H. (Eds.), *Landform Monitoring, Modelling and Analysis*, John Wiley & Sons, Chichester, 279–309.
- BATHURST J.C., GRAF W.H., CAO H.H. (1987). Bed load discharge equations for steep mountain rivers. In *Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers*, Thorne CR, Bathurst JC, Hey RD (Eds.), Wiley, Chichester; 453–492.
- BAUDOIN J.M. (2011) (ONEMA). ROE – ICE: Des outils pour un travail partenarial au service de la continuité écologique. Unpublished document.
- BEFFA C. (2003). 2D-Strömungssimulation mit Flumen. ÖWAV-Seminar 26-27.2.2003 "Fließgewässermmodellierung - von der Ein- zur Mehrdimensionalität?!", Wien.
- BEGIN Z.B., MEYER D.F., SCHUMM S.A. (1981). Development of longitudinal profiles of alluvial channels in response to base-level lowering. *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 49–68.
- 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. (2012). Life of a bifurcation in a gravel-bed braided river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(12), 1327–1336.
- 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.
- BERTRAND M., LIÉBAULT F., PIÉGAY H. (2013). Debris-flow susceptibility of upland catchments. *Nat Hazards*, 67, 497–511.
- 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.
- BILLI P., RINALDI M., SIMON A. (1997). Disturbance and adjustment of the Arno River, Central Italy. I: Historical perspective, the last 2000 years. In: Wang, S.S.Y., Langendoen, E.J., Shields, Jr F.D. (Eds.), *Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision, Stabilization, Rehabilitation, Restoration*. Center for the Computational Hydroscience and Engineering, University of Mississippi, Oxford, MS, pp. 595–600.
- BINDER W., JÜRGING, P., KARL J. (1983). Natural river engineering – characteristics and limitations. *Garten und Landschaft* 2, 91–94.
- BLACKWELL M.S.A., MALTBY E. (2006). Ecoflood Guidelines. How to use floodplains for flood risk reduction. European Commission, Brussels, EUR 22001, (http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=PUBL_LIB_FR&ACTION=D&DOC=1551&CAT=PUBL&QUERY=01278574cbe1:0789:3f1f4bf6&RCN=200719277), 144 pp.

-
- BOLLA PITTALUGA M., REPETTO R., TUBINO M. (2003). Channel bifurcation in braided rivers: Equilibrium configurations and stability. *Water Resources Research*, 39 (3), 1046.
- BORGA M., DALLA FONTANA G., DA ROS D., MARCHI L. (1998). Shallow landslide hazard assessment using a physically based model and digital elevation data. *Environmental Geology*, 35(2-3), 81-88.
- BORSELLI L., CASSI P., TORRI D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena* 75, 268–277.
- BRAIONI M.G., PENNA G. (1998). I nuovi Indici Ambientali sintetici di valutazione della qualità delle rive e delle aree riparie: wild State Index, Buffer Strip Index, Environmental Landscape Indices: il metodo. *Biologia ambientale* 6:3-38.
- BRARDINONI F., SLAYMAKER O., HASSAN M.A. (2013). Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between remotely sensed and field survey data. *Geomorphology* 54: 179-196.
- BRASINGTON J., RICHARDS K.S. (2007). Reduced-complexity, physically-based geomorphological modelling for catchment and river management. *Geomorphology*. 90, 171-177.
- BRAUDICK C.A., GRANT G.E, ISHIKAWA Y., IKEDA H. (1997). Dynamics of wood transport in streams: a flume experiment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 669-683.
- BRAVARD J.P., 1989. La métamorphose des rivières des Alpes françaises a la fin du Moyen-Age et a l'époque moderne. *Bulletin de la Société Géographie de Liège* 25, 145-157.
- BRAY D.I. (1982). Regime equations for gravel-bed rivers. In Hey R.D., Bathurst J.C., Thorne C.R. (Eds.), *Gravel-bed Rivers*, Wiley, Chichester, 517-552.
- BREWER P.A., PASSMORE D.G. (2002) – Sediment budgeting techniques in gravel-bed rivers. *Geological Society Special Publications*, 191, London, 97-113.
- 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.
- BRIDGE J.S. (1993). The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers. In: Best J.L., Bristow C.S. (Eds.), *Braided Rivers*, Geological Society of London Special Publication no. 75, 13-63.
- 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.
- BRIERLEY, G.J., FRYIRS, K.A., BOULTON, A., CULLUM, C. (2008). Working with change: the importance of evolutionary perspectives in framing the trajectory of river adjustment. In: Brierley, G., Fryirs, K.A. (Eds.), *River Futures. An Integrative Scientific Approach to River Repair*. Society for Ecological Restoration International, Island Press, Washington, USA, 65-84.
- BROOKES A. (1988). *Channelized Rivers. Prospectives for Environmental Management*. John Wiley & Sons, 326 pp.
- BUFFAGNI A., ERBA S., CIAMPITTIELLO 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.

BULL W.B. (1979). Threshold of critical power in streams. *Geological Society of America Bulletin*, 90, 453-464.

BULL W.B. (1988). Floods: Degradation and aggradation. In: Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C. (Eds.), *Flood Geomorphology*. Wiley, New York, pp. 157-165.

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.

CANTELLI A., PAOLA C., PARKER G. (2004). Experiments on upstream-migrating erosional narrowing and widening of an incisional channel caused by dam removal. *Water Resources Research*, 40, W03304, doi: 10.1029/2003WR002940.

CANUTI P., CASAGLI N. (1994). Considerazioni sulla valutazione del rischio da frana. CNR-GNDCI, Tipografia Risma, Firenze.

CAROLLI M., VANZO D., ZOLEZZI G., SIVIGLIA A., BRUNO M. C. (2014). Metodo per la quantificazione della pressione da hydropeaking. <http://www.isprambiente.gov.it/>

CARSON M.A. (1984). Observations on the meandering-braided river transition, Canterbury Plains, New Zealand: part two. *New Zealand Geographer* 40, 89–99.

CARTON A., BONDESAN A., FONTANA A., MENEGHEL M., MIOLA A., MOZZI P., PRIMON S., SURIAN N. (2009). Geomorphological evolution and sediment transfer in the Piave River system (northeastern Italy) since the Last Glacial Maximum. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 3, 155–174.

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.

CAVALLI M., TREVISANI S., COMITI F., MARCHI L. (2013). Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphology* 188, 31-41.

CEN (2002). A Guidance Standard for Assessing the Hydromorphological Features of Rivers. CEN – TC 230/WG 2/TG 5: N32.

CENCETTI C., FREDDUZZI A., MARCHESINI I., SEGHETTA M. (2006). Definizione di scenari e analisi delle condizioni di rischio geologico-idraulico derivanti da una possibile occlusione d'alveo per frana nel T. Reggia (bacino del Tevere – Umbria settentrionale). *Giornale di Geologia Applicata*, 3, 221-229.

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 méthodes*, 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.

CHANG H.H. (1985). River morphology and thresholds. *Journal of Hydraulic Engineering*, 111, 503-519.

CHANG H.H., HARRISON L., LEE W., TU S. (1996). Numerical Modeling for Sediment-Pass Through Reservoirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 7, pp. 381-388.

-
- 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. (2013). Steep headwater channels. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E.(Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol.9, *Fluvial Geomorphology*, 528–549.
- 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.
- 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.
- 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., 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.
- COMITI F. (2012). How natural are Alpine mountain rivers? Evidence from the Italian Alps. *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI:10.1002/esp.2267.
- COMITI F., D'AGOSTINO V., MOSER M., LENZI M.A., BETTELLA F., DELL'AGNESE A., RIGON E., GIUS S., MAZZORANA B. (2012). Preventing wood-related hazards in mountain basins: from wood load estimation to designing retention structures. In: G. Koboltschnig, J. Hübl, J. Braun (Eds.), 12° Congress INTERPRAEVENT, 23-27 April 2012, Grenoble, vol. 2, pp. 651-662, ISBN: 9783901164194.
- COMITI F., MAO L. (2012). Recent advances in the dynamics of steep channels. In: *Gravel-bed rivers: processes, tools, environments*. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd., ISBN: 978-0-470-68890-8.
- COPELAND R. R. (1994). Application of channel stability methods—case studies. Technical Rep. No. HL-94-11, U.S. Army Engineer Water- ways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- COPELAND R. R., HALL B. N. (1998). Channel restoration design procedure. Engineering approaches to ecosystem restoration: Proceedings 1998 Wetlands Engineering and River Restoration Conference, CD-ROM, ASCE, Reston, Va., 491 – 496.
- COPELAND R. R., MCCOMAS D. N., THORNE C. R., SOAR P. J., JONAS M. M., FRIPP J. B. (2001). Hydraulic design of stream restoration projects. Technical Rep. No. ERDC/CHL TR-01-28, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Miss.
- 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.
- COULTHARD T.J., HICKS D.M., VAN DE WIEL M.J. (2007). Cellular modelling of river catchments and reaches: advantages, limitations and prospects. *Geomorphology*, 90, 192-207.

-
- COULTHARD T. J., MACKLIN M. G., KIRKBY M. J. (2002). A cellular model of the holocene upland river basin and alluvial fan evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 269-288.
- COULTHARD, T. J., VAN DE WIEL, M. J. (2012). Can we link cause and effect in landscape evolution? In: Church M., Biron P., Roy A. (Eds.), *Gravel Bed Rivers: Processes, Tools, Environments*, Wiley, 512-522.
- CUI Y., PARKER G., BRAUDRICK G., DIETRICH W.E., CUER B. (2006). Dam removal express assessment models (DREAM), Part 1: Model development and validation. *Journal of Hydraulic Research*, 44, 291-307.
- DA DEPPO L., DATEI C., SALANDIN P. (2004). *Sistemazione dei corsi d'acqua*. Cortina editore, Padova, 815 pp.
- D'AGOSTINO V. (2010) Chapter 9: Filtering-retention check dam design in mountain torrents. In: Garcia C.C., Lenzi M.A. (Eds.) *Check Dams, Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams*, Nova Science Publishers, Hauppauge, New York: 185-210.
- D'AGOSTINO V., DEGETTO M., RIGHETTI M. (2000). Experimental investigation on open check dam for coarse woody debris control. *Quaderni di Idronomia Montana*, 20, 201-212.
- D'AGOSTINO V., LENZI M.A. (1999). Bedload transport in the instrumented catchment of the Rio Cordon: Part II. Analysis of the bedload rate. *Catena*, 36(3), 191-204.
- DALLA FONTANA G., MARCHI L. (2003). Slope–area relationships and sediment dynamics in two alpine streams. *Hydrol. Process.* 17, 73–87.
- DANIELS R.B. (1960). Entrenchment of the Willow Creek Drainage Ditch, Harrison County, Iowa. *American Journal of Science*, 258, 161-176.
- DARBY S. E., VAN DE WIEL M. J. (2003). Models in Fluvial Geomorphology. In: Kondolf G.M., Piegay H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, 503-537.
- DENORTIER G., GOETGHEBEUR P. (1996): Outil d'évaluation de la qualité du milieu physique des cours d'eau - Synthèse. Angers (Agence de l'Eau Rhin-Meuse). In : Mc Ginnity P.M., Mills P., Roche W. and Müller M. (2005): A desk study to determine a methodology for the monitoring of the 'morphological conditions' of Irish Rivers. Final Report. Environmental RTDI Programme 2000-2006. Central Fisheries Board - Compass Informatics – EPA, 237 pp.
- DE VENTE J., POESEN J., BAZZOFFI P., VAN ROMPAEY A., VERSTRAETEN G. (2006) – Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31, 1017-1034.
- DIKAU, R., BRUNSDEN, D., SCHROTT, L., IBSEN, M.L., (Eds.) (1996). *Landslide recognition. Identification, movement and causes*. Wiley, 251 pp.
- DIETRICH, W. E., KIRCHNER, J. W., IKEDA, H., ISEYA, F. (1989). Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravel-bedded rivers. *Nature*, v. 340, p. 215–217.
- DIXON I. H., DOUGLAS M. M., DOWE J. L., BURROWS D. W., TOWNSEND S. A. (2005) – A Rapid Method for Assessing the Condition of Riparian Zones in the Wet/Dry Tropics of Northern Australia, In: RUTHERFURD I. D., WISZNIEWSKI I., ASKEY-DORAN M. A., GLAZIK R. (Eds.), *Proceedings of the 4th Australian Stream Management Conference; Linking Rivers to Landscapes*, Launceston, Tasmania, Department of Primary Industries, Water and Environment, Hobart, pp. 173-178.
- DOMENEGHETTI A., VOROGUSHYN S., CASTELLARIN A., MERZ B., BRATH A. (2013). Probabilistic flood hazard mapping: effects of uncertain boundary conditions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 3127–3140.
- DOWNS, P.W., GREGORY, K.J. (2004). *River Channel Management. Towards Sustainable Catchment Hydrosystems*. Arnold, London, UK, 395 pp.

-
- 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.
- DUMONT U. (2005). *Handbuch Querbauwerke* (in German). Dusseldorf: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, 214 pp. In: Kemp P. and O'Hanley J. (2010): Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: a synthesis. *Fisheries Management and Ecology* 17(4):297-322.
- DUTTO F. (1994). Proposta metodologica per la definizione della fascia di pertinenza fluviale (FPF) lungo il tratto piemontese del Po. Approccio geomorfologico. In: IV Convegno Internazionale di Geoingegneria "Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi", Torino, 10-11 marzo 1994, 243-248.
- EATON B.C., MILLAR R.G., DAVIDSON S. (2010). Channel patterns: braided, anabranching and single-thread. *Geomorphology*, 120, 353-364.
- ENVIRONMENT AGENCY, UK (1998). *River Geomorphology: a practical guide*. Environment Agency, Guidance Note 18, National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, London, 56 pp.
- ENVIRONMENT AGENCY, UK (2010). *Mapping hydropower opportunities and sensitivities in England and Wales*. Environment Agency Technical Report, 67 p.
- ERMINI L., CASAGLI N. (2003). Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 31-47.
- EC – 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.
- EC – European Commission (2003). *Rivers and lakes – Typologies, reference conditions and classification systems*. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance document n°10, 87 pp.
- EC – European Commission (2004). *Identification and Designation of Heavily Modified and Artificial Water Bodies*. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance document n°4, 108 pp.
- FAEH R., MUELLER R., ROUSSELOT P., VETSCH D., VOLZ C., VONWILLER L., VEPREK R., FARSHI D. (2011). *System Manuals of BASEMENT*, Version 2.2. Laboratory of Hydraulics, Glaciology and Hydrology (VAM), ETH Zurich.
- FÄH R., MÜLLER R., ROUSSELOT P., VETSCH D., VOLZ C., FARSHI D. (2008). *System Manuals of BASEMENT*, Version 1.5. Laboratory of Hydraulics, Glaciology and Hydrology (VAW), ETH Zürich.
- FAIRBRIDGE R.W. (1969). *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold Book Corp., 1117-1138.
- FISRWG (Federal Interagency Stream Restoration Working Group) (1998). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*. CD-ROM.
- FERENCEVIC M.V., ASHMORE P. (2012). Creating and evaluation of digital elevation model-based stream-power map as a stream assessment tool. *River Res. Applic.* 28: 1394-1416.
- FERGUSON R.I. (1984). The threshold between meandering and braiding. In: Smith, K.V.A. (Ed), *Channels and Channel Control Structures*, Proceedings of the First International Conference on Hydraulic Design in Water Resources Engineering, Springer-Verlag, Berlin, 6.15-6.29.
- FERGUSON R. I. (2008). Gravel-bed rivers at reach scale. In: Habersack H.M., Piégay H., Rinaldi M. (Eds.), *Gravel-Bed Rivers VI: From Process Understanding to River Restoration*, Series Developments in Earth Surface Processes, 11, Elsevier, Netherlands. 33-60.
- FERNANDEZ D., BARQUIN J., RAVEN P.J. (2011). A review of river habitat characterisation methods: indices vs. characterisation protocols. *Limnetica* 30(2):217-234.
- 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.
- FONSTAD M.A. (2003). Spatial variation in the power of mountain streams in the Sangre de Cristo Mountains, New Mexico. *Geomorphology*, 55, 75-96.
- FONTANA A., MOZZI P., BONDESAN A. (2008). Alluvial megafans in the Venetian–Friulian Plain (north-eastern Italy): evidence of sedimentary and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary International*, 189, 71–90.
- FORMANN E., HABERSACK H. M., SCHOBER S. (2007). Morphodynamic river processes and techniques for assessment of channel evolution in Alpine gravel bed-river. *Geomorphology*, 90, 340-355.
- FREDSOE J. (1978). Meandering and braiding of rivers. *Journal of Fluid Mechanics*, 84, 609-624.
- FRYIRS K. (2003): Guiding principles for assessing geomorphic river condition: application of a framework in the Bega catchment, South Coast, New South Wales, Australia. *Catena* 53:17-52.
- FRYIRS, K.A., ARTHINGTON, A., GROVE, J. (2008). Principles of river condition assessment. In: Brierley, G., Fryirs, K.A. (Eds.), *River Futures. An Integrative Scientific Approach to River Repair*. Society for Ecological Restoration International, Island Press, Washington, USA, 100-124.
- FULLER I.C., REID H.E., BRIERLEY G.J. (2013). Methods in Geomorphology: Investigating River Channel Form. In: John F. Shroder (Ed) *Treatise on Geomorphology*, Volume 14, pp. 73-91. San Diego: Academic Press.
- GALLI M., ARDIZZONE F., CARDINALI M., GUZZETTI F., REICHENBACH P. (2008). Comparison of landslide inventory maps. *Geomorphology* 94: 268-289.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO M., GARCÍA DE JALÓN D. (2011). Riparian Quality Index (RQI): a methodology for characterizing and assessing environmental conditions of riparian zones. *Limnetica*, 30(2):235-254.
- GOVI M., TURITTO O. (1994). Problemi di riconoscimento delle fasce di pertinenza fluviale. In: IV Convegno Internazionale di Geoingegneria "Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi", Torino, 10-11 marzo 1994, 161-172.
- GRAF W.L. (1977). The rate law in fluvial geomorphology. *American Journal of Science*, 277, 178-191.
- 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.
- GREIMANN B., LAI Y., HUANG J.C. (2008). Two-dimensional total sediment load model equations. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 134 (8), pp. 1142-1146.
- GROVE J.M. (1988). *The Little Ice Age*. Methuen: London.
- GURNELL A.M., PETTS G.E., HANNAH D.M., EDWARDS P.J., KOLLMANN J., WARD J.V., TOCKNER K. (2000). Large wood retention in river channels: the case of the Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes Landforms* 25:255–75.
- GURNELL A.M., PEIRY J.L., PETTS G.E. (2003a). Using historical data in fluvial geomorphology. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in fluvial geomorphology*, Wiley, 77-101.

-
- GURNELL A.M., PIÉGAY H., SWANSON F.J., GREGORY S.V. (2003a). 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.
- HABERSACK, H., PIÉGAY, H. (2008). River restoration in the Alps and their surroundings: past experience and future challenges. In: Habersack, H., Piégay, H., Rinaldi, M. (Eds.), *Gravel-bed Rivers VI - From Process Understanding to River Restoration*, Developments in Earth Surface Processes, Elsevier, 703-738.
- HALWAS K.L., CHURCH M. (2002). Channel units in small, high gradient streams on Vancouver Island, British Columbia. *Geomorphology* 43: 243-256.
- 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.
- HENDERSON F.M. (1961). Stability of alluvial channels. *American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division*, 87, 109-138.
- HEY R.D., THORNE C.R. (1986). Stable channels with mobile gravel beds. *Journal of Hydraulic Research, ASCE* 112(8), 671-689.
- HOOKE R.L. (2003). Predictive Modeling in Geomorphology: An Oxymoron? In: Wilcock P.R., Iverson R.M. (Eds.), *Prediction in geomorphology. Geophysical Monograph*, 135, American Geophysical Union, 51-62.
- HOVIUS, N, C.P. STARK, AND P.A. ALLEN (1997). Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping, *Geology*, 25, 231-234.
- HUNGR O. (2005). Classification and terminology. In: Jakob M. & Hungr O. (Eds.), *Debris-flow hazards and related phenomena*. Springer, 9-23.
- 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.
- HUSS M. (2011). Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe. *Water Resour. Res.*, 47, W07511, 14 pp.
- ILNICKI P., GOŁDYN R., SOSZKA H., GÓRECKI K., GRZYBOWSKI M., KRZEMIŃSKA A., LEWANDOWSKI P., SKOCKI K., SOJKA M., MARCINKIEWICZ M. (2009). Opracowanie metodyk monitoringu i klasyfikacji hydromorfologicznych elementów jakości jednolitych części wód rzecznych i jeziornych, zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej. ETAP I - II. Zadanie 1, 2 i 3. Kod CPV: 9071 1500–9. Nomenklatura wg CPV: 90711500–9. Poznań listopad 2009 roku GEPOL sp. z o.o., Poznań. In: Ilnicki P., Górecki K., Grzybowski M., Krzemińska A., Lewandowski

P. and Sojka M. (2010): Principles of hydromorphological surveys of Polish rivers. *Journal of Water and Land Development* 14:3-13.

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 – Contributo alla metodologia per la designazione dei corpi idrici artificiali e dei corpi idrici altamente modificati: <http://www.isprambiente.gov.it/files/designazione-corpi-idrici.pdf>

ISPRA (2011). Implementazione della Direttiva 2000/60/CE. Analisi e valutazione degli aspetti idromorfologici. Versione 1.1. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, 85 p: <http://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00010100/10147-analisi-e-valutazione-degli-aspetti-idromorfologici-agosto-2011.pdf/view>

ISSAR A.S. (2003). *Climate Changes during the Holocene and their Impact on Hydrological Systems*. Cambridge University Press, Cambridge, 144 pp.

JUNGWIRTH, M., MUHAR, S., SCHMUTZ, S. (2002). Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes. *Freshwater Biology* 47, 867-887.

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.

KEMP P., O'HANLEY J. (2010). Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: a synthesis. *Fisheries Management and Ecology* 17(4):297-322.

KERN, K. (1992). Restoration of lowland rivers: the German experience. In: Carling, P.A., Petts, G.E. (Eds.), *Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 279-297.

KNIGHTON A.D. (1999). Downstream variation in stream power. *Geomorphology*, 29, 293-306.

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.

KONDOLF, G.M., ZOLEZZI, G. (2008). Reference river ecosystems: historical states, best ecological potential and management challenges. In: Gumiero, B., Rinaldi, M., Fokkens, B. (Eds.), 4th ECRR International Conference on River Restoration. European Center for River Restoration, Venice, 1047-1051.

KONDOLF, G.M., MONTGOMERY, D., PIÉGAY, H., SCHMITT, L. (2003a). Geomorphic classifications of rivers and streams. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 171-204.

KONDOLF, G.M., PIÉGAY, H., SEAR, D. (2003b). Integrating geomorphological tools in ecological and management studies. In: Kondolf, G.M., Piégay, H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 633-660.

LADSON, A.R., WHITE, L.J., DOOLAN, J.A., FINLAYSON, B.L., HART, B.T., LAKE, P.S., TILLEARD, J.W. (1999). Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology*, 41: 453-468.

-
- LAGASSE P.F., ZEVENBERGEN L.V., SPITZ W.J., THORNE C.R. (2004). Methodology for Predicting Channel Migration. National Cooperative Highway Research Program, Web-Only Document 67 (Project 24-16).
- LWRRDC-CRCCH (Land and Water Resources Research and Development Corporation – Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology) (1999). Rehabilitating Australian Streams. CD-ROM.
- LANE E.W. (1955). Design of stable channels. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 120, 1-34.
- LANE E.W. (1957) – A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in an erodible material, MRD Sediment Series 9, US Army Engineer Division, Missouri River.
- LANE S.N., BRADBROOK K.F., RICHARDS K.S., BIRON P.A., ROY A.G. (1999). The application of computational fluid dynamics to natural river channels: three-dimensional versus two-dimensional approaches. *Geomorphology*, 29, 1-20.
- LANGENDOEN E., ALONSO C. (2008). Modeling the Evolution of Incised Streams: I. Model Formulation and Validation of Flow and Streambed Evolution Components. *J. Hydraul. Eng.*, 134(6), 749–762.
- LANNI C., BORGA M., RIGON R., TAROLLI P. (2012). Modelling shallow landslide susceptibility by means of a subsurface flow path connectivity index and estimates of soil depth spatial distribution. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3959-3971.
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2000). Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer – Empfehlung. Berlin (Kulturbuch-Verlag).
- LAWA – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2002). Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Übersichtsverfahren. Empfehlungen Oberirdische Gewässer. Entwurf April 2002. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- 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., MADDOCK T. (1953). The Hydraulic Geometry of Stream Channel and Some Physiographic Implications. US Geological Survey Professional Paper, Vol. 252.
- 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.
- LESSER G.R., ROELVINK J.A., VAN K., STELLING G.S. (2004). Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal Engineering*, 51, 883-915.
- LIEBAULT F., PIÉGAY H. (2001). Assessment of channel changes due to long-term bedload supply decrease, Roubion River, France – *Geomorphology*, 36, pp. 167-186.
- LIEBAULT F., PIÉGAY H. (2002). Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, 425–444.
- LIEBAULT F., PIÉGAY H., FREY P., LANDON N. (2008). Tributaries and the management of main-stem geomorphology. In: Rice S., Roy A., Rhoads B.L., *River Confluences and the Fluvial Network*, John Wiley and Sons, Chichester, UK, 243-270.

-
- 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.
- LUCHI R., ZOLEZZI G., TUBINO M. (2010). Modelling mid-channel bars in meandering channels. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 902-917.
- LUCÍA A, ANTONELLO A, CAMPANA D, CAVALLI M, CREMA S, FRANCESCHI S, MARCHESE E, NIEDRIST M, SCHNEIDERBAUER S, COMITI F. (2014). Monitoring and modeling large wood recruitment and transport in a mountain basin of North-eastern Italy. *Proc. XII IAEG congress, Torino, 15-19 Settembre 2014*.
- 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.
- MAGDALENO F., MARTÍNEZ R., ROCH V. (2010). Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. *Ingeniería Civil* 157:85-96.
- MAKASKE B. (2001). Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. *Earth-Science Reviews* 53, 149–196.
- 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). Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau. *Guide technique no. 2, SDAGE RMC*, 39 pp.
- MARCHETTI M. (2002). Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due to fluvial modifications and anthropogenic activities. *Geomorphology*, 44, 361–373.
- MARCHI L. (2005). Il trasporto solido di fondo e le colate detritiche: fenomenologia ed effetti sull'assetto dei corsi d'acqua a forte pendenza. In: D'Agostino V. & Carraro V. (Eds.), *Conoscere il sistema fiume nell'ambiente alpino*, Atti del 41° corso di cultura in Ecologia, Università di Padova, 125-139.
- MARCHI L, PASUTO A., TECCA P.R. (1993). Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps. *Z. Geomorph.*, N.F. 37(4), 447-458.
- MARTÍNEZ SANTA-MARÍA C., FERNÁNDEZ YUSTE J.A. (2010). IAHRIS 2.2. Indicators of Hydrologic Alteration in Rivers. User's Manual. Ministry of the Environment - Polytechnic University of Madrid – CEDEX, 66 p. http://www.ecogefor.org/IAHRIS_es.html.
- MATHON B.R., RIZZO D.M., KLINE M., ALEXANDER G., FISKE S., LANGDON R., SEVENS L. (2013). Assessing linkages in stream habitat, geomorphic condition, and biological integrity using a generalized regression neural network. *Journal of American Water Resources Association*, 49(2), 415-430.
- MATTM (2013) – Indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni (Decreto Legislativo n.49/2010). Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, Direzione Generale Territorio, Risorse Idriche, 35 pp.
- MAZZORANA B., FUCHS S. (2010). A Fuzzy Formative Scenario Analysis modelling framework for natural hazard management. *Environmental Modelling & Software*, 25(10), 1208-1224.
- MAZZORANA B., COMITI F., VOLCAN C., SCHERER C. (2011). Determining flood hazard patterns through a combined stochastic–deterministic approach. *Natural Hazards*, 59, 301-316.
- MAZZORANA B., COMITI F., SCHERER C., FUCHS S. (2012). Developing consistent scenarios to assess flood hazards in mountain streams. *Journal of Environmental Management*, 94, 112-124.

-
- MAZZORANA B., COMITI F., FUCHS S. (2013). A structured approach to enhance flood hazard assessment in mountain streams. *Natural Hazards*, 63(3), 991-1009.
- 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.
- MEYER-PETER E., MÜLLER R. (1948). Formulas for bedload transport. *Proceedings 2nd Meeting International Association on Hydraulic Structures Research*, Appendix 2, Stockholm, Sweden, 39-64.
- MIKOŠ, M., R. FAZARINC, N. RIBIČIČ (2006). Sediment production and delivery from recent large landslides and earthquake-induced rock falls in the Upper Soča River Valley, Slovenia, *Engineering Geology*, 86, 198-210.
- MIORI S., REPETTO R., TUBINO M. (2006). A one-dimensional model of bifurcations in gravel bed channels with erodible banks. *Water Resources Research*, 42, 11.
- 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. (2008). Dreams of natural streams. *Science* 319, 291-292.
- MONTGOMERY D.R., BUFFINGTON J.M. (1997). Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 109 (5), 596-611.
- MOSS T., MONSTADT J. (Eds.) (2008). *Restoring floodplains in Europe: policy contexts and project experiences*. IWA Publishing, London.
- MOSSELMAN E. (1998). Morphological modelling of rivers with erodible banks. *Hydrological Processes*, 12, 1357-1370.
- MOSSELMAN E. (2012). Modelling sediment transport and morphodynamics of gravel-bed rivers. In: Church M., Biron P., Roy A. (Eds.), *Gravel Bed Rivers: Processes, Tools, Environments*, Wiley, 101-115.
- MUHAR S., JUNGWIRTH M. (1998). Habitat integrity of running waters - assessment criteria and their biological relevance. *Hydrobiologia* 386,195-202.
- MUNNÉ A., PRAT N. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua* 175:20-37.
- MUNNÉ A., SOLÀ C., PAGÉS J. (2006). *HIDRI: Protocolo para la valoración de la calidad hidromorfológica de los ríos*. Barcelona, Agència Catalana de l'Aigua, 164 p.
- MURPHY M., TOLAND M. (2012). *River Hydromorphology Assessment Technique (RHAT). Training guide*. Northern Ireland Environment Agency (NIEA), Department of the Environment. Version 2012, 42 pp.
- MURRAY A.B., PAOLA C. (1994). A cellular model of braided rivers. *Nature*, 371, 54-57.
- NANSON G.C. (2013). Anabranching and anastomosing rivers. In: John F. Shroder (ed.) *Treatise on Geomorphology*, Volume 9, pp. 330-345. San Diego: Academic Press.
- NANSON G.C., CROKE J.C. (1992). A genetic classification of floodplains. *Geomorphology*, 4, 459-486.
- NANSON G.C., KNIGHTON A.D. (1996). Anabranching rivers: their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms* 21, 217-239.
- NARDINI A., SANSONI G. (a cura di) (2006). *La Riqualificazione Fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio*. Collezione CIRE, Mazzanti Editore, Venezia, 832 pp.
- 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.

NELSON J.M., BENNETT J.P., WIELE S.M. (2003). Flow and Sediment-transport Modeling. In: Kondolf G.M., Piégay H. (Eds.), *Tools in Fluvial Geomorphology*, John Wiley & Sons Ltd, 539-576.

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 índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales. *Geographicalia*, 52, 113-141.

OLSEN N. R. B. (2000). A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multiblock option, User's Manual. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

ONEMA (2010). Des étapes et des outils. Les outils de connaissance de l'hydromorphologie des cours d'eau français. *Restauration physique des cours d'eau – Connaissance*.

OREGON WATERSHED ENHANCEMENT BOARD – OWEB (2000). Oregon Watershed Assessment Manual, 583 p.

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.

PARASIEWICZ P., RYAN K., VEZZA P., COMOGLIO C., BALLESTERO T., ROGERS J.N. (2012). Use of quantitative habitat models for establishing performance metrics in river restoration planning. *Ecohydrology*.

PARDO, I. ÁLVAREZ M., CASAS J., MORENO J.L., VIVAS S., BONADA N., ALBATERCEDOR J., JÁIMEZ-CUÉLLAR P., MOYÀ G., PRAT N., ROBLES S., SUÁREZ M.L., TORO M., VIDAL-ABARCA M.R. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(3-4):115-133.

PARKER C., CLIFFORD N.J., THORNE C.R. (2011a). Understanding the influence of slope on the threshold of coarse grain motion: revisiting critical stream power. *Geomorphology*, 126, 51-65.

PARKER C., THORNE C.R., CLIFFORD N.J. (2011b). A broad scale assessment of sediment dynamics in British rivers: Developing and assessing 'ST:REAM' – a reach based sediment balance model. *Earth Surface Processes and Landforms*. In progress.

PARKER G., 1976. On the cause and characteristic scales of meandering and braiding in rivers. *Journal of Fluid Mechanics*, 76, 457-480.

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., NORRIS, R. (2002). Australian River Assessment System: Review of Physical River Assessment Methods — A Biological Perspective, Monitoring River Health Initiative Technical Report no 21, Commonwealth of Australia and University of Canberra, Canberra.

PEAKALL J., ASHWORTH P., BEST J.L. (1996). Physical Modelling in Fluvial Geomorphology: Principles, Applications and Unresolved Issue. In: Rhoads B.L., Thorne C.R. (Eds.), *The Scientific Nature of Geomorphology*, Proceedings of the 27th Binghampton Symposium in Geomorphology, 221-253.

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 (NERI) and Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) (2004): Establishment of the Protocol on Monitoring, 128 pp.

PETTS G.E. (1984). Impounded Rivers: perspective for ecological management. Wiley-Interscience Publication, 326 pp.

PETTS, G.E., MÖLLER, H., ROUX, A.L. (Eds.) (1989). Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe. John Wiley & Sons.

PIÉGAY H., SAULNIER D. (2000). The streamway, a management concept applied to the French gravel bed rivers. In: Nolan T.J. e Thorne C.R. (Eds.), Gravel bed Rivers 2000, CD-ROM, A Special Publication of the New Zealand Hydrological Society.

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.

PIÉGAY, H., NAYLOR, L.A., HAIDVOGL, G., KAIL, J., SCHMITT, L., BOURDIN, L. (2008). Integrative river science and rehabilitation: European experiences. In: Brierley, G., Fryirs, K.A. (Eds.), *River Futures. An Integrative Scientific Approach to River Repair*. Society for Ecological Restoration International, Island Press, Washington, USA, 201-219.

PIERSON T.C. (2005). Hyperconcentrated flow – transitional process between water flow and debris flow. In: Jakob M. & Hungr O. (Eds.), *Debris-flow hazards and related phenomena*. Springer, 159-202.

PIERSON T.C., COSTA J.E. (1987). A rheologic classification of subaerial sediment-water flows. *Geological Society of America Reviews in Engineering Geology*, 7, 1-12.

POFF, N.L., ALLAN, J.D., BAIN, M.B., KARR, J.R., PRESTEGAARD, K.L., RICHTER, B.D., SPARKS, R.E., STROMBERG, J.C. (1997). The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration. *BioScience*, 47(11), 769-784.

RAPP C.F., ABBE T.A. (2003): A framework for delineating channel migration zones. Ecology Publication #03-06-027 (Final Draft), Washington State Department of Ecology, Washington State Department of Transportation, 135 pp.

RAVEN P.J., FOX P.J.A., EVERARD M., HOLMES N.T.H., DAWSON F.H. (1997). River Habitat Survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality, in BOON P.J. and HOWELL D.L. (Eds.), *Freshwater Quality: Defining the indefinable?*, The Stationery Office, Edinburgh, 215 – 234.

RAVEN P.J., HOLMES N.T.H., CHARRIER P., DAWSON F.H., NAURA M., BOON P.J. (2002). Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 12(4):405-424.

REICHEL G., FÄH R., BAUMHACKL G. (2000). FLORIS2000 - Ansätze zur 1.5D-Simulation des Sedimenttransportes im Rahmen der mathematischen Modellierung von Fließvorgängen. Internat. Symposium "Betrieb und Überwachung wasserbaulicher Anlagen", Graz.

RHOADS B.L. (1987). Stream power terminology. *Professional Geographer* 39: 189–195.

RHOADS B.L. (1992). Statistical models of fluvial systems. *Geomorphology*, 5, 433-455.

RHOADS, B.L., HERRICKS, E.E. (1996). Naturalization of headwater streams in Illinois: challenges and possibilities. In: Brookes, A., Shields, F.D. Jr. (Eds.), *River Channel Restoration: Guiding Principles for Sustainable Projects*. John Wiley & Sons Ltd, 331-367.

RHOADS, B.L., WILSON, D., URBAN, M., HERRICKS, E.E. (1999). Interaction between scientists and nonscientists in community-based watershed management: emergence of the concept of stream naturalization. *Environmental Management* 24(3), 297-308.

RICHTER B.D., BAUMGARTNER J.V., POWELL J., BRAUN D.P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology* 10(4):1163-1174.

-
- RICKENMANN D. (1990). Bed load capacity of slurry flows at steep slopes. in *Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie*, edited by D. Vischer, Rep. 103, pp. 1-249, Eidg. Tech. Hochsch. Zurich, Zurich, Switzerland.
- RICKENMANN D. (2001). Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. *Water Resources Research* 37(12): 3295–3305.
- RICKENMANN D., KOSCHNI A. (2010). Sediment loads due to fluvial transport and debris flows during the 2005 flood events in Switzerland. *Hydrol. Process.* 24, 993–1007.
- RICKENMANN D., CHIARI M., FRIEDL K. (2006). Setrac - A sediment routing model for steep torrent channels. In: R. Ferreira, E. Alves, J. Leal, A., Cardoso (Eds.), *River Flow 2006*, Taylor & Francis, London, pp. 843-852.
- RIGON E., COMITI F., LENZI M.A. (2009). Quantificazione del legname in alveo in bacini alpini tramite modellazione su base GIS. *Atti del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria*, 12-16 Settembre 2009, Ischia, Memoria 3-14.
- RIGON E., COMITI F., LENZI M.A. (2012). Large wood storage in streams of the Eastern Italian Alps and the relevance of hillslope processes. *Water Resources Research*, 48, 1-18.
- 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. (2009). Approfondimenti dello studio geomorfologico dei principali alvei fluviali nel bacino del Fiume Magra finalizzato alla definizione di linee guida di gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità funzionale. *Rapporto tecnico*, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze, 152 pp.
- RINALDI M., BELLETTI B., VAN DE BUND W., GURNELL A., HENSHAW A., BERTOLDI W., BUIJSE T., MOSSELMAN E. (2013a). Review on eco-hydromorphological methods. Deliverable 1.1, REFORM.
- 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., 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., 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., MENGONI B., LUPPI L., DARBY S.E., MOSSELMAN E. (2008a). Numerical simulation of hydrodynamics and bank erosion in a river bend. *Water Resources Research*, 44, W09429, doi:10.1029/2008WR007008.
- 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., 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.
- 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., 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., SURIAN N., COMITI F., BUSSETTINI M. (2011a). 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, ISBN: 978-88-448-0438-1.
- RINALDI M., SURIAN N., COMITI F., BUSSETTINI M. (2011b). L'Indice di Qualità Morfologica (IQM) per la valutazione e classificazione idromorfologica dei corsi d'acqua. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 11 (1), 17-36.
- RINALDI M., SURIAN N., COMITI F., BUSSETTINI M. (2013b). A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: the Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, doi: 10.1016/j.geomorph.2012.09.009, 180-181, 96-108.
- RINALDI M., TERUGGI L.B., SIMONCINI C., NARDI L. (2008b). Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale. *Il Quaternario*, 21(1B), 291-302.
- RIVERMORPH-LLC (2003). *RIVERMorph Stream Restoration Software User's Manual*, Version 2.1, 112 pp.
- ROBERTSON-RINTOUL M.S.E., RICHARDS K.S. (1993). Braided channel pattern and paleohydrology using an index of total sinuosity. In: Best J.L., Bristow C.S. (Eds.), *Braided Rivers*, Geological Society of London Special Publication no.75, 113-118.
- ROBL J., HERGARTEN S., STÜWE K. (2008). Morphological analysis of the drainage system in the Eastern Alps. *Tectophysics*, 460, 263–277.
- ROSGEN, D.L. (1994). A classification of natural rivers. *Catena*, Vol. 22, 169-199. Elsevier Science, B.V., Amsterdam.
- ROSGEN D.L. (2006). *A Watershed Assessment for River Stability and Sediment Supply (WARSSS)*. Wildland Hydrology Books, Fort Collins, CO. <http://www.epa.gov/warsss/>
- RUMSBY, B.T., MACKLIN, M.G. (1996). European river response to climate changes over the last neoglacial cycle (the "Little Ice Age"). In: Branson, J., Brown, A.G., Gregory, K.J. (Eds.), *Global Continental Changes: the Context of Palaeohydrology*. Geological Society Special Publication 115: 217-233.
- RUST B.R. (1978). A classification of alluvial systems. In: A.D. Miall (ed), *Fluvial Sedimentology*, Can.Soc.Petroleum Geol., Memoir 5, 187-198.
- SANTANGELO, N., DAUNIS-I-ESTADELLA, J., DI CRESCENZO, G., DI DONATO, V., FAILLACE, P. I., MARTÍN-FERNÁNDEZ, J. A., ROMANO, P., SANTO, A., SCORPIO, V. (2012). Topographic predictors of susceptibility to alluvial fan flooding, Southern Apennines. *Earth Surf. Process. Landforms*, 37, 803–817.
- SCHMOCKER-FACKEL P., NAEF F. (2010). Changes in flood frequencies in Switzerland since 1500. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1581–1594.
- SCHOKLITSCH A. (1962). *Handbuch des Wasserbaus*. 3. Ausgabe. Springer, Wien.
- 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. (1999). Causes and controls of channel incision. In: S.E.Darby & A.Simon (Eds.), *Incised River Channels*, John Wiley & Sons, 19-33.
- SCHUMM S.A. (2005). *River Variability and Complexity*. Cambridge University Press, 220 pp.
- SCHUMM S.A., DUMONT J.F., HOLBROOK J.M. (2002). *Active Tectonics and Alluvial Rivers*. Cambridge University Press, 276 pp.
- SCHUMM S.A., HARVEY M.D., WATSON C.C. (1984). *Incised Channels: Initiation, Evolution, Dynamics, and Control*. Water Resources Publication, Littleton, Colorado, 200 pp.
- SCHUMM S.A., LICHTY R.W. (1965). Time, space and causality in geomorphology. *American Journal of Science*, 263, 110-119.
- 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.
- SEAR D.A., NEWSON M.D., THORNE C.R. (2010). *Guidebook of Applied Fluvial Geomorphology*. Thomas Telford Ltd, 262 pp.
- SEMINARA G., TUBINO M. (1989). Alternate bars and meandering: Free, forced and mixed interactions. In: Ikeda S., Parker G. (Eds.), *River Meandering*, 264-320.
- 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. (1996). Chapter 2: Hydraulic and hydrologic stability. *River channel restoration*, A. Brooks and F. D. Shields, Jr., Eds., Wiley, Chichester, England, 23 – 74.
- 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, M., BALDACCINI, G., BERNABEI, S., BUCCI, M., CAPPELLETTI, C., CHIERICI, E., et al. (2007). – IFF2007, *Indice di Funzionalità Fluviale*. Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata. Manuale APAT 2007, 325 pp. ISBN: 978-88-448-0318-6.
- 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: Subitzky, S. (Ed.), *Selected Papers in Hydrologic Sciences*, U.S.Geological Survey Water-Supply Paper 2290, pp. 113-126.
- 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., 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., 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., DOWNS P.W. (1995). An interdisciplinary approach to evaluation of potential instability in alluvial channels. *Geomorphology*, 12, 215-232.

SIMON A., DOYLE M., 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.

SOAR P.J., THORNE (2001). Channel restoration design for meandering rivers. U.S. Army Corps of Engineers, Engineering Research and Development Center, ERDC/CHL CR-01-1, 416 pp.

SOAR P.J., THORNE, C.R. (2011). Design discharge for river restoration. In: Simon A., Bennett S.J. & Castro J.M. (Eds.), *Stream Restoration in Dynamic Fluvial Systems. Scientific Approaches, Analyses, and Tools*. Geophysical Monograph Series 194, AGU, Washington DC, USA, 123-150.

SOAR P.J., COPELAND R., THORNE C.R. (2001). Channel restoration design for meandering rivers. *Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference*, Reno, USA, Volume II, 152-159.

SURIAN N. (1998). Studio finalizzato alla definizione geomorfologica della fascia di pertinenza fluviale del Fiume Piave tra Perarolo e Falzè e del Torrente Cordevole tra Mas e Santa Giustina. *Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione*, Studi finalizzati alla redazione del Piano di Bacino, 38 pp.

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., 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. (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., MAO, L., GIACOMIN, M., ZILIANI, L. (2009a), Morphological effects of different channel-forming discharges in a gravel-bed river. *Earth Surf. Process. Landforms*, 34: 1093–1107. doi: 10.1002/esp.1798.

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. (2009b). *Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*. CLEUP, Padova, 78 pp.

SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., AUDISIO C., DUCI G., MARAGA F., TERUGGI L., TURITTO O., ZILIANI L. (2009c). Towards a channel evolution model for alluvial rivers in Italy. In: Amorosi A. (Ed), *International Proceedings 27th IAS Meeting of Sedimentologists*, Alghero, Italy, September 20-23, 2009, Medimond, 31-34.

SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., AUDISIO C., MARAGA F., TERUGGI L., TURITTO O., ZILIANI L. (2009d). 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, 83-95.

SURIAN N., ZILIANI L., COMITI F., LENZI M.A., MAO L. (2009e). 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.

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.

TUBINO M., BERTOLDI W. (2008). Bifurcations in gravel-bed rivers. In: Habersack H.M., Piégay H., Rinaldi M. (Eds.), *Gravel-Bed Rivers VI: From Process Understanding to River Restoration*, Series Developments in Earth Surface Processes, 11, Elsevier, Netherlands.133-160.

TUBINO M., REPETTO R., ZOLEZZI G. (1999). Free bars in rivers. *Journal of Hydraulic Research*, 37 (6), 759-775.

UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive – UK TAG on WFD (2008). UK Environmental Standards and Conditions (Phase 1) – Final. Vol. SR1-2006

USACE (1993). HEC-6 Generalized Comput5er Program. Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, User's Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center Davis, CA, USA.

USACE (2010). HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Vers. 4.1. U.S. Army Corps of Engineers, 790 pp.

USDA – NRCS (United States Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service) (2005). *Stream Restoration Design National Engineering Handbook*, Chapter 11, 11-1 – 11-76.

VALETTE L., CHANDESRI A., MALAVOI J.R., SUCHON Y., WILLET B. (2010). Protocole AURAH-CE Audit RAPide de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Méthode de recueil d'informations complémentaires à SYRAH-CE sur le terrain, Pôle hydroécologie des cours d'eau - Onema/Cemagref, 35 p.

VALETTE L., CHANDESRI 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.

VAN DE BERG J.H. (1995). Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. *Geomorphology*, 12 (4), 259-280.

VAN ROMPAEY A., BAZZOFFI P., JONES R.J.A., MONTANARELLA L. (2005). Modelling sediment yields in Italian catchments. *Geomorphology*, 65, 157-169.

VEZZA P., PARASIEWICZ P., SPAIRANI M., COMOGLIO C. (2013). Habitat modelling in high gradient streams: the meso-scale approach and application. *Ecological Applications*.

-
- VIEIRA D.A., WU W. (2002). *CCHE1D Version 3.0 - User's Manual*. School of Engineering, The University of Mississippi, USA.
- VIERO, D.P., D'ALPAOS, A., CARNIELLO, L., DEFINA, A. (2013). Mathematical modeling of flooding due to river bank failure. *Advances in Water Resources*, 59, 82–94.
- VILLARET C., HERVOUET J.M., KOPMANN R., MERKEL U., DAVIES A.G. (2013). Morphodynamic modeling using the Telemac finite-element system. *Computers & Geosciences*, 53, 105-113.
- WALLERSTEIN N.P. (2006). Accounting for sediment in rivers. A tool box of sediment transport and transfer analysis methods and models to support hydromorphologically-sustainable flood risk management in the UK. Flood Risk Management Research Consortium, FRMRC Research Report UR9 (<http://www.floodrisk.org.uk/images/stories/Phase1/UR9%20signed%20off.pdf>), 140 pp.
- WALLERSTEIN N.P., SOAR P.J., THORNE C.R. (2006). River Energy Auditing Scheme (REAS) for catchment flood management planning. In: Ferreira R.M.L., Alves E.C.T.L., Leal J.G.A.B. & Cardoso A.H. (Eds.), *River Flow 2006*, Taylor & Francis Group, London, 1923-1932.
- WALLERSTEIN N.P., 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.
- WEISS A., MATOUSKOVA M., MATSCHULLAT J. (2008). Hydromorphological assessment within the EU-Water Framework Directive - trans-boundary cooperation and application to different water basins. *Hydrobiologia* 603:53-72.
- WILCOCK P.R., IVERSON R.M. (2003). Prediction in geomorphology. In: Wilcock P.R., Iverson R.M. (Eds.), *Prediction in geomorphology*. Geophysical Monograph Ed. 135, American Geophysical Union, 3-14.
- WILCOCK P.R., PITLICK J., CUI Y. (2009). *Sediment Transport Primer Estimating Bed-Material Transport in Gravel-bed Rivers*. U.S.Department of Agriculture Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-226, 78 pp.
- WILCOCK P.R., SOUTHARD 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.
- WINTER H.V., VAN DENSEN W.L.T. (2001). Assessing the opportunities for upstream migration of non-salmonid fishes in the weir-regulated River Vecht. *Fisheries Management and Ecology* 8:513–532. In: Kemp P. and O'Hanley J. (2010): *Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: a synthesis*. *Fisheries Management and Ecology* 17(4):297-322.
- WINTERBOTTOM S.J. (2000). Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland – *Geomorphology*, 34, 195-208.
- WL|DELFT HYDRAULICS (2006). *Delft3D-FLOW; Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments*, User manual. WL|Delft Hydraulics, Delft, Netherlands.

-
- WOHL E.E. et al. (2013). Fluvial geomorphology Vol. 9. In: Shroder, J. (Editor in Chief), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, 1–843 pp.
- WOHL E.E. (2000). *Mountain rivers*. American Geophysical Union, Washington DC, 320 pp.
- WOHL E.E. (2011). What should these rivers look like? Historical range of variability and human impacts in the Colorado Front Range, USA. *Earth Surface Processes and Landforms* 36 (10), 1378–1390.
- WOHL, E.E., ANGERMEIER, P.L., BLEDSOE, B., KONDOLF, G.M., MCDONNELL, L., MERRITT, D.M., PALMER, M.A., POFF, L., TARBOTON, T. (2005). River Restoration. *Water Resources Research* 41, W10301, doi: 10.1029/2005WR003985.
- 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.
- WONG M., PARKER G. (2006). Re-analysis and correction of bedload relation of Meyer-Peter and Müller using their own database. *Journal of Hydraulic Engineering* 132, 1159–1168.
- WU W. (2001). CCHE2D Sediment Transport Model version 2.1. NCCHE Technical Report. NCCHE-TR-2001-03, University of Mississippi, MS, USA.
- WU B., ZHENG S., THORNE C.R. (2012). A general framework for using the rate law to simulate morphological response to disturbance in the fluvial system. *Progress in Physical Geography*, 36(5), 575-597.
- WYŻGA 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.
- 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.
- ZILIANI L. (2011). Ricostruzione e previsione dell'evoluzione morfologica di un alveo a fondo ghiaioso (F.Tagliamento): integrazione di modellazione numerica, analisi GIS e rilievi di terreno. Tesi di Dottorato, XXIII Ciclo, Università di Padova, 250 pp.
- ZILIANI L., SURIAN N. (2012). Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river. *Geomorphology*, 173-174, 104-117.
- ZOLEZZI G., BERTOLDI W., TUBINO M. (2012). Morphodynamics of bars in gravel bed rivers: bridging analytical models and field observations. In: Church M., Biron P., Roy A. (Eds.), *Gravel Bed Rivers: Processes, Tools, Environments*, Wiley, 71-89.
- ZOLEZZI G., SEMINARA G. (2001). Downstream and upstream influence in river meandering. Part 1. General theory and application to overdeepening. *Journal of Fluid Mechanics*, 438, 183-211.

APPENDICE 1: GUIDA ALLE RISPOSTE - *Indice di Qualità Morfologica (IQM)*

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, precedute da 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).

Nel caso di alveo *anabranching*, la lunghezza qui riportata è quella ottenuta dalla media delle lunghezze dei singoli canali. Si noti tuttavia, che in molti indicatori in cui si fa riferimento alla percentuale di lunghezza del tratto, essa va intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali (ovvero lunghezza media del tratto qui riportata moltiplicato per il numero di canali).

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 [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 - montuoso) e l'unità fisiografica (es. area montuosa alpina, bassa pianura, ecc.). Nel caso di ambito fisiografico misto, è possibile indicare più di una lettera (es. *CM* indicherà un ambito collinare – montuoso, mentre *CP* un ambito collinare – pianura). 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, intrecciamento, 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 intrecciamento 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.). Nel caso di alvei *anabranching*, la pendenza è ottenuta dalla media delle pendenze dei singoli canali, mentre la larghezza si ricava dalla somma delle larghezze dei canali. 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÷0.0625 mm; Sabbia: 0.0625÷2 mm; Ghiaia: 2÷64 mm; Ciottoli: 64÷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 può essere richiesta nella fase di monitoraggio, per la quale si rimanda al [CAPITOLO 9](#)). 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 attualmente 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 restringimento 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 accertare 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, soglie e briglie senza evidenti effetti deposizionali in quanto completamente colmate e senza evidenti differenze granulometriche tra monte e valle delle opere). Nel caso di alvei <i>anabranching</i> : assenza o presenza trascurabile di alterazioni in tutti i canali presenti.
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 o briglie di trattenuta colmate fino alla gaveta da sedimento grossolano ma con evidente differenza granulometrica tra monte e valle); gran parte del materiale legnoso di dimensioni maggiori viene trattenuto da pile di ponti e/o opere filtranti. Nel caso di alvei <i>anabranching</i> : lieve alterazione in uno o più canali presenti oppure forte alterazione in uno o più canali ma assenza nei rimanenti canali presenti (combinazione di canali in classe A e C).
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 in ambito montano non colmate oppure colmate alla gaveta da sedimenti fini). Nel caso di alvei <i>anabranching</i> : forte alterazione in tutti i canali presenti oppure forte alterazione in uno o più canali e lieve alterazione nei rimanenti canali presenti (combinazione di canali in classe B e C).

F2: Presenza di piana inondabile

DESCRIZIONE

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

La presenza, estensione e continuità di una superficie morfologica naturale con le caratteristiche di una pianura inondabile (frequenza di inondazione elevata) è qui considerata come un indicatore della funzionalità dei processi di continuità laterale dei flussi liquidi e solidi.

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 al [CAPITOLO 4](#) e [CAPITOLO 9](#) 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 il [CAPITOLO 9](#) 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). Nel caso di alvei *anabranching*, si considera la continuità lungo ogni singolo canale e si esprime in percentuale rispetto alla somma totale delle lunghezze dei canali. Per quanto riguarda l'**ampiezza**, essa va intesa come larghezza

complessiva (somma sui due lati). Si noti che nel computo sia della continuità che dell'ampiezza vanno incluse le **isole**, essendo esse assimilabili a porzioni di piana inondabile all'interno dell'alveo, ad eccezione di 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, $n = 2$ per alvei a canale singolo (compresi i sinuosi a barre alternate) o *anabranching*, mentre $n = 1$ 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 rimarkano 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 golenale") 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 GUIDATO PER LA DEFINIZIONE DELLA CLASSE

In [Figura A1.1](#) si riporta uno schema logico per verificare la coerenza dell'interpretazione di piana inondabile con altri indicatori (in particolare con il V1) e 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. Lo schema proposto vuole rappresentare un supporto per la definizione della classe, facendo riferimento alle situazioni che si osservano più frequentemente, ma non va inteso come esaustivo, in quanto possono esservi casi particolari non rientranti in questa casistica.

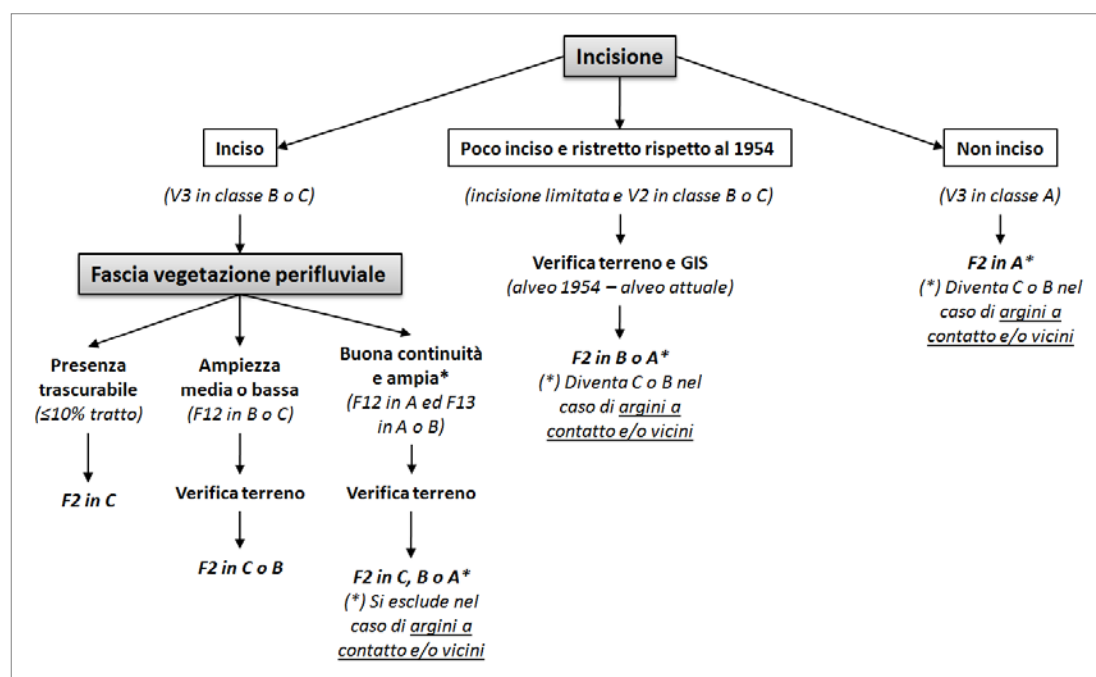


Figura A1.1 – Diagramma schematico delle interazioni tra indicatori a supporto della classificazione di F2.

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
CAMPI 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 <i>anabranching</i> , o $\geq La$ nel caso di corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i> . Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.
B	Presenza di piana inondabile discontinua ($10\div 66\%$ 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, sinuosi a barre alternate o <i>anabranching</i>) 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 processi di erosione superficiale, instabilità del terreno (processi gravitativi), 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 ed il solo alveo. Non si deve valutare se l'eventuale pianura presente sia o meno ancora attivabile (erodibile) dal corso d'acqua. 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 da queste infrastrutture. La presenza di difese di sponda determina un'interruzione di questi processi di trasporto dai versanti soltanto quando queste opere siano caratterizzate a tergo da una fascia rimodellata di versante a pendenza ridotta capace di bloccare sedimento e legno proveniente da monte.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: 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). Tale larghezza viene valutata come proiezione orizzontale per ragioni di semplicità, pur essendo evidente come versanti a diversa pendenza avranno una larghezza inclinata diversa (che è quella realmente rilevante). Nel caso di versanti sub-verticali, l'utilizzo dei 50 m orizzontali potrebbe portare a valutazioni sostanzialmente erronee, e quindi l'operatore in questi casi dovrebbe avere l'accortezza di rispondere tenendo conto della forte acclività delle fasce esterne al corridoio fluviale. Nel caso di tratti confinati da conoidi o terrazzi antichi, è possibile che naturalmente la fascia di "versante" (in questo caso non in roccia ma in materiale sciolto) sia inferiore ai 50 m, mentre ci siano porzioni sub-orizzontali (ad es. sommità dei

terrazzi). In questi casi chiaramente non si deve penalizzare tale larghezza ridotta, utilizzando il valore massimo naturale come riferimento al posto dei 50 m.

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.

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 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 (≤ 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 e per i **corsi d'acqua di risorgiva** 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
CAMPI DI APPLICAZIONE		NON SI VALUTA IN CASO DI ALVEI RETTILINEI, SINUOSI O ANABRANCHING (ANASTOMIZZATI) A BASSA ENERGIA (BASSA PIANURA, BASSE PENDENZE E/O BASSO TRASPORTO AL FONDO) E NEL CASO DI CORSI D'ACQUA DI RISORGIVA
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 impedito 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 CAMPI DI 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	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: 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 impedirebbero 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, $n = 2$ per alvei a canale singolo (compresi i sinuosi a barre alternate) o *anabranching*, mentre $n = 1$ per alvei a canali intrecciati o *wandering*. Nel caso di alvei *anabranching*, si considera la continuità lungo ogni singolo canale e si esprime in percentuale rispetto alla somma totale delle lunghezze dei canali e, per quanto riguarda

l'ampiezza, vanno incluse anche le isole (qualora siano erodibili). 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 <i>anabranching</i> , o $\geq La$ nel caso di corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i> . Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.	
B	Presenza di una fascia erodibile ampia ma con media continuità ($33\div 66\%$), oppure continuità superiore ma fascia erodibile ristretta, ovvero larghezza media complessiva $\leq 2La$ (corsi d'acqua a canale singolo, sinuosi a barre alternate o <i>anabranching</i>) 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. In particolare, esiste una forte correlazione tra pendenza dell'alveo e tipologia morfologica, ovvero al crescere delle pendenze si ha il seguente ordine di forme: dune (solo in alvei sabbiosi), *riffle-pool*, letto piano, gradinata (ovvero morfologie a *step-pool* e/o *cascade*). 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 una variazione della morfologia del fondo e di conseguenza del mosaico di habitat presenti. Questo indicatore intende quindi valutare la magnitudo del cambiamento arrecato da opere trasversali, e non la loro mera presenza (la quale viene presa in considerazione nella sezione [ARTIFICIALITÀ](#) 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 alluvionali** (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 A1.1](#). 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 rare in alvei confinati che per lo più sono caratteristici di ambiti 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 sedimento ghiaioso e presentano bassi valori di sommergenza. Per tale ragione in [Tabella A1.1](#) 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 dicasi 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 A1.1 – 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	$1 \div 4$
Gradinata	Massi e ciottoli	> 3

Successivamente, tramite verifica nel sito **durante la fase di rilievo sul terreno** e attraverso **immagini telerilevate** (per quanto possibile in tali alvei), si dovrà individuare la tipologia morfologica prevalente e valutarne la coerenza con quanto atteso in base alla [Tabella A1.1](#). 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);
- In caso di tratto senza opere trasversali, eventuali scostamenti tra quanto atteso in base alla [Tabella A1.1](#) 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.).

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
CAMPI DI APPLICAZIONE	SI APPLICA A CONFINATI A CANALE SINGOLO ALLUVIONALI. NON SI APPLICA NEL CASO DI CONFINATI CON FONDO IN ROCCIA O COLLUVIALI, NONCHÉ NEL CASO DI CORSI D'ACQUA PROFONDI PER I QUALI NON SIA 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 (Tabella A1.1) oppure esistono forme di fondo non coerenti per una lunghezza $\leq 33\%$ del tratto. 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 per una lunghezza $> 33\%$ e $\leq 66\%$ del tratto, in quanto 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) o rivestimento del fondo. 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 A1.1).
C	Forte alterazione delle forme di fondo: rientrano in questa categoria tutti i casi in cui il fondo è artificiale (cunettoni) per una lunghezza $> 66\%$ del tratto, 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, ed il tratto si presenta come una successione di opere e relative buche di scavo. Sono generalmente tali i casi in cui la buca di scavo a valle di ogni opera si estende per una lunghezza $> 40\div 50\%$ 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 seguenti casi: (1) alvei a canale singolo; (2) alvei transizionali o a canali multipli intrecciati; (3) alvei *anabranching*.

- (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

manca 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 intrecciati.** 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).

- (3) **Alvei *anabranching*.** Essi rappresentano un caso a parte in quanto, per definizione, sono caratterizzati dalla presenza di più rami separati da isole, ognuno dei quali può assumere una morfologia riconducibile alle altre tipologie. Gli *anabranching* di bassa energia, o anastomizzati, sono caratterizzati da più rami ognuno dei quali è riconducibile ad un canale singolo da rettilineo a meandriforme, mentre nel caso di alvei *anabranching* a maggiore energia i singoli rami possono contenere barre, fino ad assumere una morfologia transizionale o anche a canali intrecciati. Pertanto, in queste situazioni la valutazione va fatta riconducendo la morfologia dei singoli rami ad uno dei casi precedenti.

Nel caso di **interventi di riqualificazione** consistenti in una "ricostruzione morfologica" (ovvero di una modificazione diretta della morfologia dell'alveo) eseguiti di recente (ossia entro gli ultimi 5 anni), l'indicatore *F7* non è significativo e non va quindi applicato, in quanto è necessario attendere un certo periodo di tempo affinché il corso d'acqua si adatti alle nuove condizioni determinate dall'intervento.

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. NON SI VALUTA NEL CASO DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE CONSISTENTI IN UNA "RICOSTRUZIONE MORFOLOGICA" REALIZZATI NEGLI ULTIMI 5 ANNI.
A	Assenza o presenza localizzata ($\leq 5\%$) di alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale. <i>Canali intrecciati</i>: tipica presenza di più canali attivi con numerose biforcazioni e barre longitudinali, frequente presenza di isole pioniere, talora di isole mature. <i>Anabranching</i>: tipica presenza di più canali attivi con vario grado di sinuosità separati da isole vegetate. <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. <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). <i>Sinuosi, meandriiformi con barre</i>: barre laterali o di meandro, frequenti erosioni delle sponde esterne (soprattutto nei meandriiformi), 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). <i>Rettilinei, sinuosi, meandriiformi, anabranching (anastomizzati) di bassa energia</i>: non presentano necessariamente una significativa eterogeneità di forme: possono essere stabili planimetricamente e privi di barre.
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 meandriiformi (o originariamente tali) in condizioni non alterate, risulta normale la presenza di alcune forme tipiche della pianura (in particolar modo meandri abbandonati più o meno connessi idrologicamente all'alveo, relativi laghi, canali secondari, ecc.). Esse svolgono importanti funzioni ecologiche (creazione di habitat umidi) oltre che geomorfologico-idrauliche. L'assenza di tali forme 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 **meandriiformi**, anche nel caso in cui il corso d'acqua era meandriiforme in passato ma attualmente non lo è (ad es., a causa di rettifiche). Non viene invece valutato nel caso di alvei mai stati meandriiformi (a canali intrecciati o *wandering* né tantomeno per corsi d'acqua confinati). Vengono esclusi anche i casi di **corsi d'acqua di risorgiva**, seppure meandriiformi, per i quali l'assenza di tali forme non è necessariamente da considerare un'alterazione, data la loro dinamica planimetrica in genere estremamente ridotta. 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 (ATTUALMENTE O IN PASSATO), ESCLUSI I CORSI D'ACQUA DI RISORGIVA
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	
LONGITUDINALE: Sito/Tratto	LATERALE: 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 meandriche per loro natura prive di barre (bassa pianura, basse pendenze e/o basso trasporto al fondo) e per i **corsi d'acqua di risorgiva**, 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). Nel caso di alvei confinati, la mera presenza di difese di sponda non deve condurre automaticamente a valutare le porzioni difese del tratto come alterate per la variabilità della sezione, in quanto nel tempo le difese possono diventare morfologicamente mascherate da sedimenti e vegetazione, ed essere quindi caratterizzate da variabilità paragonabili a quelle di sponde non difese. In ogni caso la presenza delle opere longitudinali verrà valutata negli indicatori di artificialità.

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). Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzioni limitate del tratto ($\leq 33\%$): esiste una variabilità della sezione per $> 67\%$ 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
CAMPI DI APPLICAZIONE		NON SI VALUTA IN CASO DI ALVEI RETTILINEI, SINUOSI, MEANDRIFORMI O ANABRANCHING (ANASTOMIZZATI) PER LORO NATURA PRIVI DI BARRE (BASSA PIANURA, BASSE PENDENZE E/O BASSO TRASPORTO AL FONDO) E PER I CORSI D'ACQUA DI RISORGIVA (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 $> 67\%$ 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 presentano sedimenti sul fondo in modo discontinuo, e quelli colluviali sono caratterizzati da dinamiche di trasporto solido alquanto peculiari), 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** (o **colmatazione**), 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, spesso legate alla presenza di invasi soggetti a svasi periodici. 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). Un ulteriore elemento sintomo di alterazione può essere rappresentato dalla presenza di **affioramenti del substrato**, ossia di rocce o sedimenti giacenti al di sotto del materasso alluvionale. Tale elemento va tuttavia valutato con attenzione in quanto, soprattutto nel caso di alvei confinati, esso può rappresentare un elemento naturale. La presenza di substrato va invece considerato, come elemento per l'attribuzione alle classi C1 o C2, solo in quelle situazioni in cui si hanno informazioni / evidenze di un passaggio, a causa di incisione recente chiaramente attribuibile a fattori antropici, da un alveo confinato ma con fondo alluvionale ad un substrato non alluvionale, quindi con una sostanziale modifica del substrato. 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 sottostrato, 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 sottostrato, si tenga presente che con corazzamento accentuato si intende un rapporto " $D_{50\text{superficiale}} / D_{50\text{sottostrato}}$ " 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. Per quanto riguarda la presenza di **affioramenti del substrato**, analogamente al caso di alvei confinati, tale elemento va 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 attribuibili a fattori antropici, vale a dire in corsi d'acqua alluvionali dove è presumibile che si sia verificato un passaggio da un fondo alluvionale ad un substrato roccioso. Vanno esclusi quei casi in cui i versanti sono a breve distanza dall'alveo e la presenza di substrato non è attribuibile a cause antropiche ma ad 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
CAMPI DI APPLICAZIONE	NON SI VALUTA NEL CASO DI FONDO IN ROCCIA, COLLUVIALI O IN SABBIA, 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) oppure presenza di affioramenti del substrato occasionali (e comunque per una lunghezza $\leq 33\%$ del tratto) dovuti ad incisione recente, attribuibile a cause antropiche, di un fondo alluvionale.
C2	Completa alterazione del substrato per diffusa presenza (> 33% del tratto) di rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili) oppure per presenza diffusa (> 33% del tratto) di affioramenti del substrato dovuti ad incisione recente, attribuibile a cause antropiche, di un fondo alluvionale.

TIPOLOGIA	SEMI- NON CONFINATI
CAMPI DI 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: *large wood*) all'interno dell'alveo, ovvero alberi, tronchi, rami, ceppaie aventi lunghezza > 1m e diametro > 10 cm. Tale materiale legnoso svolge importanti funzioni nei confronti dei normali processi geomorfologico-idraulici ed ha numerose implicazioni in termini ecologici (diversità di habitat, input di materia organica, ecc.). È riconosciuto altresì come il materiale legnoso rappresenti spesso un fattore di pericolosità idraulica in quanto può determinare, durante eventi di piena, occlusioni di ponti e di opere idrauliche. Tuttavia, essendo il presente metodo finalizzato alla valutazione del grado di alterazione del sistema fluviale rispetto ai processi naturali di trasporto solido (sedimento e legno), l'indicatore qui descritto deve riflettere se un certo tratto si presenta o meno alterato rispetto alla "dotazione" di materiale legnoso che ci si attende date le caratteristiche morfologiche e vegetazionali del tratto stesso.

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 perseguibile "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 considerare come naturale in alcune situazioni particolari, tipicamente nel caso di alvei larghi (ovvero 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. Questi tratti sono da considerarsi per il legno come **"tratti di trasporto"**. È il caso ad esempio di alvei relativamente larghi con morfologia a letto piano (confinati) oppure a canale singolo (semi- non confinati), dove del materiale legnoso dovrebbe essere comunque presente lungo le sponde, sempre che queste non siano in roccia e/o prive di vegetazione arborea. Di conseguenza in questi tratti si attribuisce la classe A anche in assenza di materiale legnoso in alveo.

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. Oppure, assenza di materiale legnoso se il tratto è di "trasporto" (larghezza alveo piene rive > altezza media alberi, profondità media alveo piene rive > diametro medio alberi, assenza di forme deposizionali o ostacoli significativi quali barre e massi di grandi dimensioni).	
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.	

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 (ad 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 perifluviale 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 perifluviale.

F12: Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale

DESCRIZIONE

Con questo indicatore si intende valutare l'ampiezza (o in maniera equivalente l'estensione areale) attuale, in relazione all'ampiezza della *fascia perifluviale*, cioè della pianura disponibile per la fascia di vegetazione arborea ed arbustiva, ovvero per le formazioni funzionali, includendo anche formazioni di **idrofiti** 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 (50 m in pianta dalla base del versante), 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 in proiezione orizzontale 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 perifluviale presente. Si noti che, nel computo dell'ampiezza delle formazioni funzionali, vanno incluse le **isole** vegetate eventualmente comprese in alveo, considerato anche il loro potenziale apporto in termini di materiale legnoso. 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
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	Ampiezza delle formazioni funzionali elevata, ovvero: - per corsi d'acqua <i>confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali connesse che occupa > 90% dell'ampiezza dei versanti adiacenti (50 m dalla loro base, si escludono le porzioni in roccia o in frana) e dell'eventuale piana alluvionale presente. 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 connesse 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 (inclusi i sinuosi a barre alternate) o <i>anabranching</i>, 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	Ampiezza delle formazioni funzionali intermedia, ovvero: - per corsi d'acqua <i>confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali connesse con ampiezza 33÷90% dei versanti adiacenti (50 m dalla loro base, si escludono le porzioni in roccia o in frana) e dell'eventuale piana presente. La fascia delle formazioni funzionali ospita sia formazioni arboree che arbustive, con presenza significativa delle prime (copertura delle formazioni arboree > 33% della fascia). Oppure ampiezza come caso A, ma le formazioni arbustive sono fortemente prevalenti su quelle arboree (copertura delle formazioni arboree ≤ 33% della fascia). - per corsi d'acqua <i>semi- e non confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali connesse con larghezza compresa tra $0.5La$ e nLa, dove $n = 2$ per corsi d'acqua a canale singolo (inclusi i sinuosi a barre alternate) o <i>anabranching</i>, oppure $n=1$ per corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i>. Oppure come caso A ma l'ampiezza > nLa è determinata dalla presenza di formazioni parzialmente funzionali (es. pioppeti artificiali), oppure le formazioni arbustive sono fortemente prevalenti su quelle arboree (copertura delle formazioni arboree ≤ 33% della fascia).
C	Ampiezza limitata delle formazioni funzionali, ovvero: - per corsi d'acqua <i>confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali connesse con ampiezza ≤ 33% dei versanti adiacenti (50 m dalla loro base, si escludono le porzioni in roccia o in frana) e dell'eventuale piana presente. Oppure ampiezza come caso B, ma le formazioni arbustive sono fortemente prevalenti su quelle arboree (copertura delle formazioni arboree ≤ 33% della fascia). - per corsi d'acqua <i>semi- non confinati</i>, fascia delle formazioni funzionali connesse con larghezza complessiva (somma sui due lati) ≤ $0.5La$ (qualunque tipologia), oppure come caso B ma non tutte le formazioni sono funzionali (ossia vegetazione non spontanea) o presenza di sole formazioni arbustive. Oppure ampiezza come caso B, ma l'ampiezza > $0.5La$ è determinata dalla presenza di formazioni parzialmente funzionali (es. pioppeti artificiali), oppure le formazioni arbustive sono fortemente prevalenti su quelle arboree (copertura delle formazioni arboree ≤ 33% della fascia).

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) esterna all'alveo, a prescindere dalla sua estensione areale. Si fa riferimento alla vegetazione presente nelle zone perifluviali, quindi in questo caso (a differenza dell'ampiezza delle formazioni funzionali), non vanno considerate le **isole** in quanto interne all'alveo. 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 connessa all'alveo 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
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	Estensione lineare delle formazioni funzionali connesse 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. Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.
B	Estensione lineare delle formazioni funzionali connesse per una lunghezza del 33÷90% della lunghezza massima disponibile. Oppure come caso A, ma l'estensione > 90% è determinata dalla presenza di formazioni parzialmente funzionali (es. pioppeti industriali, filari), o vi è forte prevalenza di formazioni arbustive (formazioni arboree < 33% in lunghezza delle formazioni funzionali).
C	Estensione lineare delle formazioni funzionali connesse per una lunghezza ≤ 33% della lunghezza massima disponibile. Oppure come caso B, ma l'estensione > 33% è determinata dalla presenza di formazioni parzialmente funzionali (es. pioppeti 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, traverse, diversivi, scolmatori, casse di espansione) che hanno effetti notevoli sulla continuità delle portate liquide e, in parte, anche su quelle solide. Esse infatti

tendono a ridurre le portate liquide a valle determinando una riduzione delle portate formative e della capacità di trasporto. Possono ascrivere a tale categoria qualsiasi opera di derivazione (anche direttamente alle sorgenti) che produca 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, a meno che la derivazione non avvenga alle sue sorgenti.

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 1](#) 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 $> 2\div3$ anni sono normalmente capaci di determinare rilevanti processi di trasporto solido al fondo (escludendo i casi di elevata alimentazione solida da fenomeni di dissesto molto attivi o di origine glaciale), 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 1](#)). 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 A1.2](#) e [Figura A1.2](#)).

- (1) **Portate formative.** La stima della $Q_{1.5}$ *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 accerta 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 accerta 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 A1.2 – Definizione delle classi dell'indicatore A1.

	ΔQ_{form}	$\Delta Q (TR > 10 \text{ anni})$
A	$< 10\%$	$< 10\%$
B	$< 10\%$	$> 10\%$
C	$> 10\%$	-

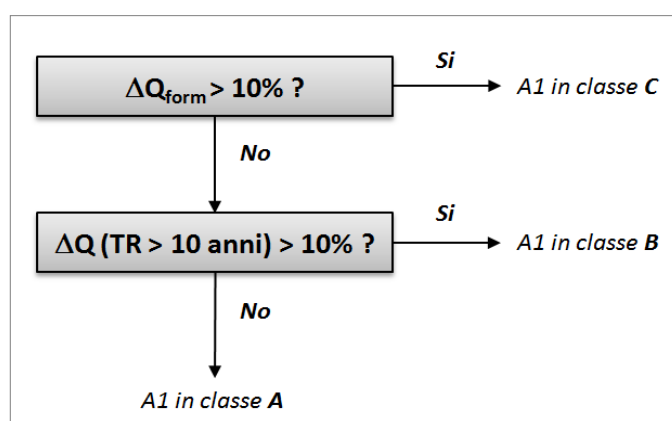


Figura A1.2 – Diagramma di flusso dell'indicatore A1.

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 (per esempio 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 presenza di opere ritenute prive di effetti sulle portate formative (ad es. piccole derivazioni a scopo irriguo, idroelettrico, idropotabile).
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) oppure presenza di derivazioni di dimensioni medio - grandi con restituzione a valle del tratto o derivazioni comunque tali da causare laminazione delle portate formative.

A2: Opere di alterazione delle portate solide

DESCRIZIONE

Con questo indicatore si prendono in considerazione le opere trasversali (dighe, briglie, traverse) presenti a monte del tratto di studio che possono indurre effetti rilevanti in termini di alterazione del trasporto solido al fondo. Non si prendono invece in considerazione opere di sistemazione idraulico-forestale realizzate sui versanti (stabilizzazione di frane, rimboschimenti, ecc.). 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	
LONGITUDINALE: Bacino sotteso	LATERALE: 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) Dighe.** 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 o hanno determinato 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) **$A_o \leq 5\% A_t$** , ovvero l'area sottesa dalle opere trasversali (A_o) è inferiore al 5% dell'area sottesa dal tratto (A_t) (ad es., una diga che sottende un'area di 40 km² rispetto ad un'area di drenaggio sottesa alla chiusura del tratto di 500 km²);
- (2) **$5\% A_t < A_o \leq 33\% A_t$** , ovvero l'area sottesa dalle opere trasversali (A_o) è compresa tra 5% e 33% dell'area sottesa dal tratto (A_t) (ad es., una diga che sottende un'area di 30 km² rispetto ad un'area di drenaggio sottesa alla chiusura del tratto di 400 km²);
- (3) **$33\% A_t < A_o \leq 66\% A_t$** , ovvero l'area sottesa dalle opere trasversali (A_o) è compresa tra 33% e 66% dell'area sottesa dal tratto (A_t) (ad es., una diga che sottende un'area di 120 km² rispetto ad un'area di drenaggio sottesa alla chiusura del tratto di 200 km²);
- (4) **$A_o > 66\% A_t$** , ovvero l'area sottesa dalle opere trasversali (A_o) è superiore al 66% dell'area sottesa dal tratto (A_t) (ad es., una diga che sottende un'area di 150 km² rispetto ad un'area di drenaggio sottesa alla chiusura del tratto di 200 km²);
- (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.

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 di un sottobacino o dell'asta principale del corso d'acqua in analisi, per una lunghezza rilevante rispetto alla sua lunghezza complessiva fino al tratto di 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 A1.3.](#)

Tabella A1.3 – 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) Asta stabilizzata da 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 A1.4](#).

Tabella A1.4 – 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*.

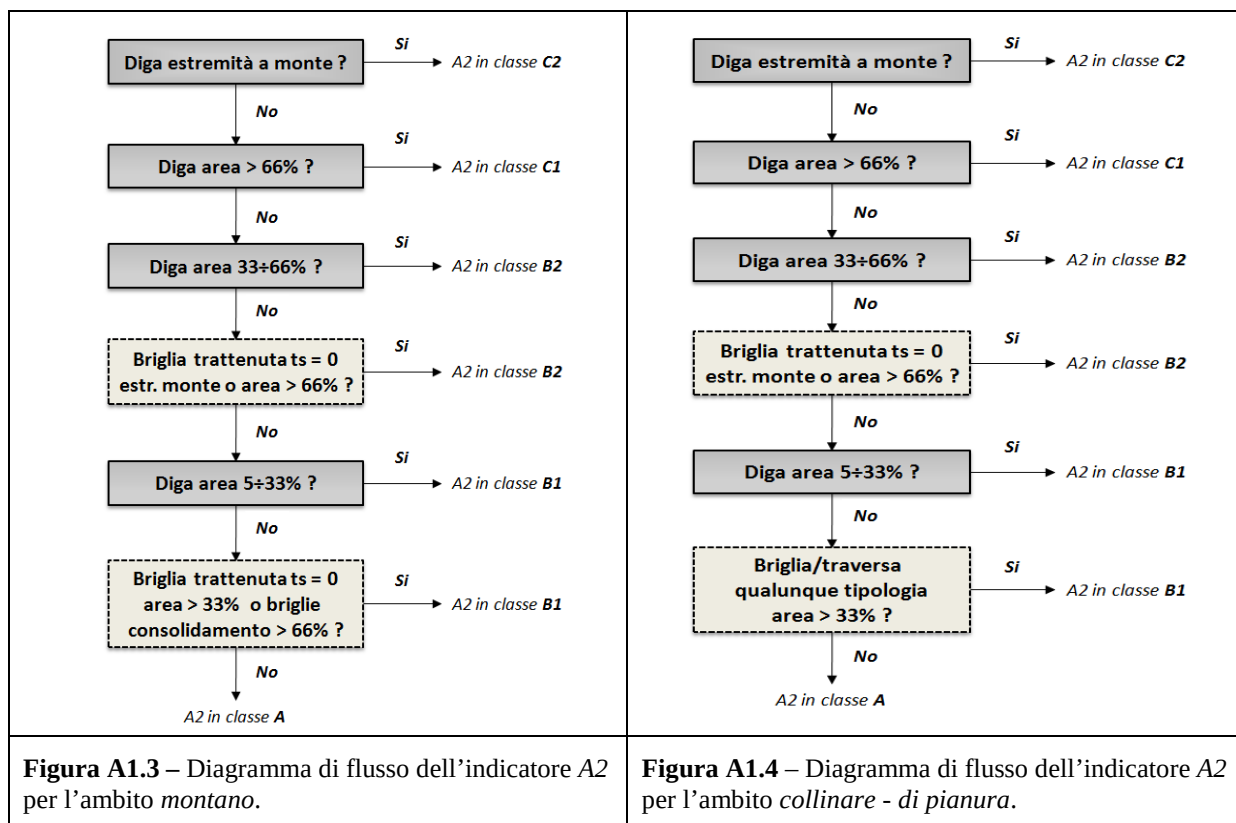
Viceversa, nel caso in cui si accerti (dall'ente gestore dell'opera) una periodica **rimozione di sedimenti a monte di una briglia** (i quali non vengono poi rilasciati a valle) al fine di impedirne il riempimento completo, l'opera si attribuisce al caso di completa intercettazione del trasporto solido 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, a meno che non vi siano delle sistemazioni idrauliche importanti (sequenze di briglie di consolidamento) sulle aste di ordine inferiore.

- (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 $> 66\%$ A_t 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 azzerava 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 [Figura A1.3](#) e [Figura A1.4](#) (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 $A_o > 33\%$ A_t 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 $A_o > 66\%$ A_t . 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	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: Pianura alluvionale
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 ritenute prive di effetti sulle portate formative (ad es. piccole derivazioni a scopo irriguo, idroelettrico, idropotabile).
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) oppure presenza di derivazioni di dimensioni medio - grandi con restituzione a valle del tratto o derivazioni comunque tali da causare laminazione delle portate formative.

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, oltre che F1). Tuttavia, la presenza della diga altera il normale flusso di sedimenti anche per il tratto immediatamente a monte della stessa 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). In questi casi quindi si applica l'indicatore A4 anche se la diga non è fisicamente il limite di valle del tratto, ma lo è l'incile del suo vaso. 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.

In **ambito montano**, 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 durante eventi di piena eccezionale, alterando solo in parte (frazioni grossolane) la continuità longitudinale del sedimento. Tali briglie tendono inoltre a bloccare il materiale legnoso.

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 e le traverse di derivazione**, 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 briglie di trattenuta, le **briglie di consolidamento** sono eseguite non per intercettare il trasporto solido, bensì per ridurre l'intensità e mitigare la capacità erosiva della corrente attraverso una diminuzione della pendenza dell'alveo. In tal caso più opere vengono poste a gradinata. L'effetto delle opere di consolidamento sulla morfologia di un corso d'acqua dipende infatti dalla combinazione della loro interdistanza e altezza (ovvero del dislivello ad esse associato) relativamente al dislivello totale del tratto. Tuttavia, vista la difficoltà a stimare l'altezza delle opere da foto aerea e la frequente assenza di informazioni nei catasti opere, si è ritenuto opportuno utilizzare soltanto il dato di **densità lineare delle opere**, ovvero il loro numero per km di tratto, e di differenziarlo in base alla pendenza del tratto, questo perché un'opera trasversale in un alveo a forte pendenza esercita un'influenza verso monte (profilo di rigurgito) minore rispetto ad un alveo a bassa pendenza, dove tale effetto si può trasmettere per notevoli distanze.

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 (casce in linea, diga o invaso a valle) seppure non realizzate per tale scopo.
B	- <i>Alvei a pendenza relativamente elevata ($> 1\%$):</i> Presenza di briglie di consolidamento / traverse 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 casce di espansione in linea). - <i>Alvei a pendenza medio – bassa ($\leq 1\%$):</i> Presenza di una o alcune briglie e/o traverse (≤ 1 ogni 1000 m in media nel tratto) (rientrano in questa categoria anche le casce di espansione in linea). Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.
C	- <i>Alvei a pendenza relativamente elevata ($> 1\%$):</i> 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>Alvei a pendenza medio – bassa ($\leq 1\%$):</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>).
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 a pendenza elevata ($> 1\%$), oppure > 1 ogni 500 m nel caso di alvei a pendenza medio – bassa ($\leq 1\%$), <u>aggiungere 12</u> .	

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). Esse sono incluse in questo indicatore relativamente alla loro funzione di alterazione della sezione e di interferenza con il corridoio fluviale, assimilabile quindi ad un'opera di attraversamento e pertanto valutate in termini di numero piuttosto che di lunghezza. Le altre artificialità che solitamente caratterizzano un tratto tombinato, ossia la fissazione delle sponde e gli eventuali rivestimenti del fondo, sono trattate separatamente in termini di lunghezza negli indicatori A6 e A9 rispettivamente.

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 ricognizioni 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). Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.
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.

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 (ad es., pennelli sospesi e distanti dall'alveo realizzati in epoche storiche).

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). Nel caso di alvei *anabranching*, la lunghezza totale delle sponde va intesa come somma della sponda destra e sinistra di ogni canale presente.

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 influente 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). Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza totale delle sponde va intesa come somma delle lunghezze delle sponde di tutti i canali presenti.	
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).	
<i>Nel caso le difese di sponda interessino il tratto quasi per la sua interezza (ovvero $> 80\%$), <u>aggiungere 12</u></i>		

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 sovrizzo rispetto al piano di campagna retrostante (in tali casi la stessa opera va considerata sia in questo indicatore che nel precedente), o anche infrastrutture (strade) con funzione di argini.

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE:</i> Tratto	<i>LATERALE:</i> 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 (L_a); (b) “vicini” per distanze $\leq L_a$; (c) “a contatto” quando sono in diretto contatto con le sponde (in frodo) 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 A1.5](#) 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.

Nel caso di alvei ***anabranching*** con più sistemi arginali (ad esempio per ogni singolo ramo), le precedenti definizioni (argini distanti, vicini, a contatto) vanno applicate ad ogni singolo canale e la lunghezza totale delle sponde va intesa come somma della sponda destra e sinistra di ogni canale presente.

Tabella A1.5 – 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 + ARGINI 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 $> L_a$) per qualunque lunghezza, oppure presenza localizzata di argini vicini e a contatto (complessivamente $\leq 10\%$ della lunghezza totale delle sponde escluse quelle in contatto diretto con versanti). Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la valutazione va effettuata ad ogni ramo e la lunghezza totale delle sponde va intesa come somma della sponda destra e sinistra di ogni canale presente.
B	Somma di argini vicini e a contatto per lunghezza $> 10\%$ della lunghezza totale delle sponde, escluse quelle in contatto diretto con versanti, comprendenti i seguenti casi: (a) lunghezza della somma di argini a contatto e argini vicini $\leq 90\%$, di cui quelli a contatto $\leq 50\%$; (b) lunghezza complessiva della somma di argini a contatto e vicini $> 90\%$, di cui quelli a contatto $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (escluse quelle in contatto diretto con versanti).
C	Somma di argini vicini e a contatto $> 50\%$, comprendente i due seguenti casi: (a) lunghezza della somma di argini a contatto e argini vicini $\leq 90\%$, di cui quelli a contatto $> 50\%$; (b) lunghezza della somma di argini a contatto e vicini $> 90\%$, di cui quelli 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. Vengono considerate variazioni planimetriche consistenti in uno spostamento significativo del tracciato stesso, a seguito di un intervento artificiale. 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 intende considerare variazioni planimetriche consistenti in uno spostamento significativo del tracciato stesso, a seguito di un intervento diretto, che quindi va ad occupare una posizione diversa dall'alveo precedente. Non sono quindi da includere in questo indicatore variazioni, seppure dovute a fattori antropici, che mantengono il tracciato artificiale all'interno dell'alveo precedente all'intervento (es. restringimenti di sezione, canalizzazioni).

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. Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.
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 (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 tipologie non differiscono dalle opere tradizionali. 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, con valori diversi a seconda della pendenza del tratto.

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 presenza di rivestimenti localizzati per una lunghezza ridotta del tratto ($\leq 5\%$) tali da non alterare significativamente la continuità verticale e la struttura del fondo. Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.
B	Presenza di soglie e/o rampe con densità relativamente bassa, ovvero ≤ 1 ogni d in media nel tratto, dove $d = 200$ m per alvei a pendenza relativamente elevata ($> 1\%$) e $d = 1000$ m per pianura alvei a pendenza medio – bassa ($\leq 1\%$) 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, la cui somma (sia impermeabili che permeabili) è comunque $\leq 33\%$.
C1	Presenza diffusa di soglie e/o rampe (> 1 ogni d 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, la cui somma (sia impermeabili che permeabili) è comunque $\leq 50\%$.
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, la cui somma (sia impermeabili che permeabili) è comunque $\leq 80\%$.
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 a pendenza relativamente elevata ($> 1\%$), oppure > 1 ogni 500 m nel caso di alvei a pendenza medio – bassa ($\leq 1\%$), <u>aggiungere 12</u> . 2) Nel caso i rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili) interessino il tratto quasi per la sua interezza (ovvero $> 80\%$), <u>aggiungere 12</u> .	

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, sia per motivi di sicurezza idraulica (risagomatura o ricalibratura dell'alveo) che di estrazione di inerti ("cave"). 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 del XX secolo). 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 o praticamente trascurabile; (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.

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	
LONGITUDINALE: Tratto	LATERALE: 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 proposti**, 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*. Come nel caso dell'indicatore *A10*, **non si considerano qui le rimozioni di materiale legnoso esclusivamente compiute presso le briglie di trattenuta**.

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	Assenza di interventi di rimozione di materiale legnoso di grandi dimensioni (> 10 cm diametro e > 1 m di lunghezza) negli ultimi 20 anni, oppure notizie di interventi trascurabili per volumi asportati.
B	Evidenze/notizie certe di interventi di rimozione parziale negli ultimi 20 anni, ovvero solo degli elementi di dimensioni maggiori, 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 totale 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 (ovvero riguardanti tutte le piante arboree ed arbustive presenti) lungo le sponde, gli Enti preposti si stanno orientando verso trattamenti selettivi, dove solo parte del popolamento perifluviale (solamente le piante di dimensioni maggiori e/o deperienti) viene tagliato durante un intervento in modo da evitare una "denudazione" totale del suolo. Tale seconda tipologia di taglio comporta chiaramente degli impatti minori rispetto al taglio raso, ma non assenti in quanto si altera comunque profondamente la struttura forestale che si avrebbe naturalmente. Inoltre, interventi di taglio (anche a raso) non direttamente sulle sponde apportano degli

impatti morfologici (ed anche ecologici) inferiori rispetto ad interventi eseguiti a diretto contatto con l'alveo (lungo le sponde).

Si noti che l'attività di pascolo tuttora presente, che di fatto impedisce la crescita di vegetazione legnosa nella fascia perfluviale, viene assimilata a taglio di vegetazione.

SCALA SPAZIALE	
LONGITUDINALE: Sito/Tratto	LATERALE: 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 (inclusi sinuosi a barre alternate) o *anabranching*, mentre $n = 1$ 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
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	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). Nel caso di alvei <i>anabranching</i> , la lunghezza del tratto è intesa come somma delle lunghezze dei singoli canali.
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.) rispetto alla situazione degli anni '50. 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).

Nel caso di **tratti fissati planimetricamente negli anni 1954 – '55** lungo i quali vengono realizzati interventi di **riqualificazione fluviale** che inducano una variazione della configurazione morfologica attraverso rimozione dei vincoli e/o interventi di “ricostruzione morfologica”, l'indicatore *V1* non è da ritenersi significativo e pertanto non va applicato (lo stesso vale per l'indicatore *V2*). Infatti, le variazioni verso una diversa configurazione morfologica non sono in questi casi da considerarsi come un'alterazione rispetto ad una situazione già modificata (gli effetti positivi dell'intervento sono eventualmente tenuti in conto attraverso il miglioramento di funzionalità e la riduzione di artificialità).

SCALA SPAZIALE	
<i>LONGITUDINALE</i> : Tratto	<i>LATERALE</i> : 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. 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., 2009b](#)).

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 A1.6](#).

Tabella A1.6 – 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* = *anabranching*; $\Leftrightarrow$ = passaggio in entrambi i sensi. Classe: *B* = passaggio a morfologia contigua; *C* = passaggio a morfologia non contigua.

MORFOLOGIE	CLASSE	MORFOLOGIE	CLASSE
$R \Leftrightarrow S$	<i>B</i>	$M \Leftrightarrow SBA$	<i>B</i>
$R \Leftrightarrow M$	<i>C</i>	$M \Leftrightarrow W$	<i>C</i>
$R \Leftrightarrow SBA$	<i>B</i>	$M \Leftrightarrow CI$	<i>C</i>
$R \Leftrightarrow W$	<i>C</i>	$M \Leftrightarrow A$	<i>B</i>
$R \Leftrightarrow CI$	<i>C</i>	$SBA \Leftrightarrow W$	<i>B</i>
$R \Leftrightarrow A$	<i>C</i>	$SBA \Leftrightarrow CI$	<i>C</i>
$S \Leftrightarrow M$	<i>B</i>	$SBA \Leftrightarrow A$	<i>C</i>
$S \Leftrightarrow SBA$	<i>B</i>	$W \Leftrightarrow CI$	<i>B</i>
$S \Leftrightarrow W$	<i>C</i>	$W \Leftrightarrow A$	<i>C</i>
$S \Leftrightarrow CI$	<i>C</i>	$CI \Leftrightarrow A$	<i>C</i>
$S \Leftrightarrow A$	<i>B</i>		

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
CAMPI DI APPLICAZIONE	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m). NON SI VALUTA NEL CASO DI ALVEI FISSATI PLANIMETRICAMENTE NEGLI ANNI '50 E SOGGETTI A MODIFICAZIONI A CAUSA DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE.
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
CAMPI DI APPLICAZIONE	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m). NON SI VALUTA NEL CASO DI ALVEI FISSATI PLANIMETRICAMENTE NEGLI ANNI '50 E SOGGETTI A MODIFICAZIONI A CAUSA DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE.
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 A1.6).
C	Variazioni tra tipologie non contigue rispetto agli anni '50 (Tabella A1.6).

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 modificazione di larghezza dell'alveo).

Analogamente all'indicatore V1, nel caso di **tratti fissati planimetricamente negli anni 1954 – '55** lungo i quali vengono realizzati interventi di **riqualificazione fluviale** che inducano una variazione di larghezza attraverso rimozione dei vincoli e/o interventi di “ricostruzione morfologica”, l'indicatore V2 non è da ritenersi significativo e pertanto non va applicato. Infatti, le variazioni di larghezza non sono in questi casi da considerarsi come un'alterazione rispetto ad una situazione già modificata (gli effetti positivi dell'intervento sono eventualmente tenuti in conto attraverso il miglioramento di funzionalità e la riduzione di artificialità).

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 (V1), 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 V1, 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 evidenzia 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., 2009b](#)).

RISPOSTE ESTESE

TIPOLOGIA	CONFINATI
CAMPI DI APPLICAZIONE	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m). NON SI VALUTA NEL CASO DI ALVEI FISSATI PLANIMETRICAMENTE NEGLI ANNI '50 E SOGGETTI A MODIFICAZIONI A CAUSA DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE.
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
CAMPI DI APPLICAZIONE	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 m). NON SI VALUTA NEL CASO DI ALVEI FISSATI PLANIMETRICAMENTE NEGLI ANNI '50 E SOGGETTI A MODIFICAZIONI A CAUSA DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE.
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto agli anni '50.
B	Variazioni di larghezza moderate ($15 \div 35\%$) 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 (rilievi 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., 2009b](#)).

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
CAMPI DI 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
CAMPI DI 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÷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 cerchierà 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: SCHEDA di valutazione *IQM* per alvei CONFINATI

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MORFOLOGICA

ALVEI CONFINATI

Versione 2 - Maggio 2014

GENERALITA'

Data _____ Operatori _____
 Bacino _____ Corso d'acqua _____
 Estremità monte _____ Estremità valle _____
 Codice Segmento _____ Codice Tratto _____ Lunghezza tratto Lt (m) _____

INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE INIZIALE

1. Inquadramento fisiografico

Ambito fisiografico _____ M=Montano, C=Collinare 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, CMW=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 (CMW):

Indice intrecciamento _____ 1-1.5, >1.5 Indice anabranching _____ 1-1.5, >1.5

Tipologia _____ W= Transizionale wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anabranching

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, variazioni unità morfologiche, variazioni dimensioni pianura e/o confinamento, variazioni granulometria sedimenti, artificializzazione, diga, altro (specificare) _____

Altri dati / informazioni eventualmente disponibili

Area drenaggio At (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		
C	Forte alterazione (forte discontinuità di forme per intercettazione)	5		

F3 Connessione 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 omissso) livello confidenza tra A e B

livello confidenza tra A e B

livello confidenza tra B e C

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 oppure non coerenti per $\leq 33\%$ tratto	0
B	Forme di fondo non coerenti con la pendenza media della valle per 33-66% del tratto	3
C	Forte alterazione delle forme di fondo per $> 66\%$ del tratto	5

Non si applica nel caso di confinato con fondo in roccia o colluviali, 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 clogging poco significativo	0
B	Clogging accentuato in varie porzioni del sito	2
C1	Clogging accentuato e diffuso ($> 90\%$) e/o affioramento occasionale substrato per incisione	5
C2	Affioramento diffuso del substrato per incisione o rivestimento fondo ($> 33\%$ tratto)	6

Non si valuta nel caso di fondo in roccia, colluviali o in sabbia, 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 perfluviale

Vegetazione fascia perfluviale

F12 Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perfluviale		
A	Ampiezza di formazioni funzionali elevata	0
B	Ampiezza di formazioni funzionali intermedia	2
C	Ampiezza 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 perfluviale

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 perfluviale

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

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	Alvei a pendenza $\leq 1\%$: presenza briglie, traverse, casse in linea ≤ 1 ogni 1000 m Alvei a pendenza $> 1\%$: briglie di consolidamento ≤ 1 ogni 200 m e/o briglie aperte	4		
C	Alvei a pendenza $\leq 1\%$: presenza briglie, traverse, casse in linea > 1 ogni 1000 m Alvei a pendenza $> 1\%$: briglie consolidamento > 1 ogni 200 m e/o briglie trattenuta a corpo pieno oppure presenza di diga e/o invaso artificiale all'estremità a valle del tratto (qualunque pendenza)	6		
Nel caso la densità di opere trasversali, incluse soglie e rampe (vedi A9), è > 1 ogni d, aggiungere dove d=100 m in alvei a pendenza $> 1\%$, o d=500 m in alvei a pendenza $\leq 1\%$		12		

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 sponde ovvero somma di entrambe)	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

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 d) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ imperm.	3		
C1	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni d) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ imperm.	6		
C2	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili	8		
dove d=200 m in alvei a pendenza $> 1\%$, o d=1000 m in alvei a pendenza $\leq 1\%$ 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 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 perfluviale

A12 Taglio della vegetazione in fascia perfluviale			
A	Vegetazione arborea sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0	
B	Taglio selettivo nel tratto e/o raso su $\leq 50\%$ 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 perfluviale

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

V1 Variazioni della configurazione morfologica (si applica solo ad alvei con larghezza > 30 m)			
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 ($\leq 15\%$) 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:

$Stot =$

Scostamento massimo:

$Smax = 119 - Sna =$

dove Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

Indice di Alterazione Morfologica:

$IAM = Stot / Smax =$

se $Stot > Smax$ 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; $0.85 \leq IQM \leq 1.0$: Elevato

APPENDICE 3: SCHEDA di valutazione *IQM* per alvei SEMICONFINATI E NON CONFINATI

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MORFOLOGICA ALVEI SEMICONFINATI E NON CONFINATI

Versione 2 - Maggio 2014

GENERALITA'

Data _____ Operatori _____
 Bacino _____ Corso d'acqua _____
 Estremità monte _____ Estremità valle _____
 Codice Segmento _____ Codice Tratto _____ Lunghezza tratto Lt (m) _____

INQUADRAMENTO E SUDDIVISIONE INIZIALE

1. Inquadramento fisiografico

Ambito fisiografico _____ M=Montano, C=Collinare, P=Pianura Unità fisiografica _____

2. Confinamento

Grado confinamento (%) _____ >90, 10-90, ≤10
 Indice confinamento _____ 1-1.5, 1.5-k, >k (k=5 canale singolo o anabranching, k=2 canali intrecciati o 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 anabranching _____ 1-1.5, >1.5
 Tipologia _____ R=Rettilineo, S=Sinuoso, M=Meandriforme, SBA= Transizionale sinuoso barre alternate,
 W= Transizionale wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anabranching
 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, variazioni unità morfologiche, variazioni dimensioni pianura e/o confinamento,
 variazioni granulometria sedimenti, artificializzazione, diga, altro (specificare) _____

Altri dati / informazioni eventualmente disponibili

Area drenaggio At (sottratta 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		
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 omissso) livello confidenza tra B e C

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 impedito 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, sinuosi o anabranching a bassa energia (bassa pianura, basse pendenze e/o basso trasporto solido al fondo) e nel caso di corsi d'acqua di risorgiva

--

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), escluso il caso di corsi d'acqua di risorgiva

--

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 o anabranching per loro natura privi di barre (bassa pianura, basse pendenze e/o basso trasporto al fondo) e nel caso di corsi d'acqua di risorgiva (naturale omogeneità di sezione)

--

Struttura e substrato alveo

F10	Struttura del substrato		
A	Naturale eterogeneità sedimenti e clogging poco significativo	0	
B	Corazzamento o clogging accentuato in varie porzioni del sito	2	
C1	Corazzamento o clogging 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 perfluviale

--

Vegetazione fascia perfluviale

F12	Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perfluviale		
A	Ampiezza di formazioni funzionali elevata	0	
B	Ampiezza di formazioni funzionali intermedia	2	
C	Ampiezza 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 perfluviale

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 perfluviale

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	Alvei a pendenza ≤1%: presenza briglie, traverse, casse in linea ≤1 ogni 1000 m Alvei a pendenza >1%: briglie di consolidamento ≤1 ogni 200 m e/o briglie aperte	4	
C	Alvei a pendenza ≤1%: presenza briglie, traverse, casse in linea >1 ogni 1000 m Alvei a pendenza >1%: briglie consolidamento >1 ogni 200 m e/o briglie trattenute a corpo pieno oppure presenza di diga e/o invaso artificiale all'estremità a valle del tratto (qualunque pendenza)	6	

Nel caso la densità di opere trasversali, incluse soglie e rampe (vedi A9), è >1 ogni d, aggiungere dove d=100 m in alvei a pendenza >1%, o d=500 m in alvei a pendenza ≤1%

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 sponde ovvero somma di entrambe)	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	Argini a contatto $\leq 50\%$, oppure $\leq 33\%$ con totale vicini e a contatto $> 90\%$	3	
C	Argini a contatto $> 50\%$, oppure $> 33\%$ con totale vicini e a contatto $> 90\%$	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 d) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ imperm.	3	
C1	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni d) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ imperm.	6	
C2	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili	8	

dove d=200 m in alvei a pendenza $> 1\%$, o d=1000 m in alvei a pendenza $\leq 1\%$

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 perfluviale

A12	Taglio della vegetazione in fascia perfluviale		
A	Vegetazione arborea sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0	
B	Taglio selettivo nel tratto e/o raso su $\leq 50\%$ 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 perfluviale

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 ($\leq 15\%$) 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:

Stot =

Scostamento massimo:

Smax = 142 - Sna =

dove Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

Indice di Alterazione Morfologica:

IAM = Stot / Smax =

se Stot $>$ Smax 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 $\leq$ 1.0: Elevato

APPENDICE 5: GUIDA ALLE RISPOSTE - *Indice di Dinamica Morfologica (IDM)*

Le schede di valutazione della dinamica morfologica sono articolate in 3 sezioni, morfologia e processi, artificialità e variazioni morfologiche, precedute da una breve parte introduttiva. In quest'ultima sono riportate le generalità (data, operatori, codici segmento e tratto), le informazioni essenziali riguardanti la tipologia dell'alveo ed infine alcune informazioni riguardanti il materiale utilizzato (immagini, eventuali rilievi topografici).

MORFOLOGIA E PROCESSI

M1: TIPOLOGIA D'ALVEO

DESCRIZIONE

La configurazione morfologica di un alveo fluviale è legata alle condizioni energetiche ed al trasporto solido del corso d'acqua (con particolare riferimento al trasporto al fondo), quindi rappresenta un indicatore indiretto delle condizioni di dinamica morfologica. Alvei a forte trasporto solido al fondo, pendenza e potenza della corrente relativamente elevate sono più dinamici rispetto a corsi d'acqua di bassa pianura, con scarso trasporto al fondo e bassa energia (pendenza e potenza della corrente). Questo indicatore esprime soprattutto la dinamica di tipo planimetrico (la dinamica altimetrica può variare fortemente a parità di configurazione morfologica essendo legata soprattutto al bilancio di sedimenti e viene quindi valutata successivamente). Particolare enfasi viene data alla presenza di barre, le quali caratterizzano una determinata configurazione morfologica, essendo elementi che determinano una maggiore propensione alla diversione del flusso verso le sponde quindi ad una maggiore dinamica planimetrica.

La classificazione della tipologia dell'alveo viene fatta nella fase di suddivisione iniziale, sulla base prevalentemente di osservazioni ed **analisi GIS di immagini telerilevate**. In alcuni casi, una certa configurazione morfologica è univocamente associata ad una classe (es. alvei a canali intrecciati alla classe D). In altri casi (es. fiumi meandriformi), oltre alla configurazione morfologica, per stabilire la classe di appartenenza bisogna valutare altri aspetti, in particolare la presenza o meno di barre, il tipo di sedimenti e, in parte, la stabilità delle sponde (seppure queste ultime vengono valutate più in dettaglio in successivi indicatori). Ad esempio, nel caso di morfologia meandriforme, un tratto di pianura medio - bassa a fondo sabbioso – ghiaioso con numero limitato di barre viene valutato in classe B, mentre un tratto di medio - alta pianura con presenza regolare di barre di meandro, sponde mobili e fondo ghiaioso viene valutato in classe C.

RISPOSTE ESTESE

A	Configurazione morfologica associata a condizioni di energia e trasporto al fondo estremamente bassi (alvei a canale singolo rettilinei o sinuosi completamente privi di barre, prevalentemente a fondo sabbioso e con sponde stabili di pianura costiera; corsi d'acqua di risorgiva)
B	Configurazione associata a condizioni di bassa energia e/o basso trasporto al fondo (sinuosi, meandriformi o anastomizzati quasi del tutto privi di barre)
C	Configurazione morfologica associata a condizioni di media energia e/o medio trasporto al fondo (sinuosi o meandriformi con barre, prevalentemente ghiaioso - ciottolosi, transizionali sinuosi a barre alternate) Configurazione morfologica associata a condizioni di elevata energia e moderata mobilità laterale (alvei a letto piano e alvei a <i>riffle-pool</i>)
D	Configurazione morfologica associata a condizioni di elevata energia, elevato trasporto solido al fondo ed elevata mobilità laterale (alvei transizionali <i>wandering</i> e alvei a canali intrecciati)

M2: ERODIBILITÀ DELLE SPONDE

DESCRIZIONE

Questo indicatore valuta la potenziale erodibilità delle sponde in funzione del materiale che le costituisce e della copertura vegetale (l'osservazione dell'effettiva presenza di processi di instabilità si valuta successivamente). Le tipologie di sponde presenti nel tratto, in termini di tipologia dei sedimenti che le costituiscono e di copertura vegetale, possono infatti condizionare i processi di dinamica laterale.

L'**indicatore M2 va compilato in contemporanea con A1**: la loro suddivisione in due indicatori differenti si giustifica per l'esigenza di valutare separatamente elementi naturali ed artificiali (attraverso appositi sub-indici) e di poter considerare molteplici aspetti (quali tipologia di sponde, vegetazione, ecc.) dei quali sarebbe difficoltoso tener conto in un unico indicatore.

In termini di materiale, viene in primo luogo valutata la **lunghezza delle sponde alluvionali erodibili**, ovvero escluse le porzioni a contatto con i versanti e le porzioni protette da difese di sponda. Non vengono quindi considerate le porzioni in cui il corso d'acqua è confinato lateralmente da versanti o terrazzi antichi costituiti da depositi cementati, le quali sono considerate pressoché stabili in quanto, nella scala temporale di interesse per queste analisi, costituiscono un vincolo alla mobilità laterale del corso d'acqua. Vengono poi escluse le porzioni protette da difese di sponda, delle quali si tiene conto attraverso l'indicatore A1.

In secondo luogo, nell'ambito delle sponde alluvionali mobili si distingue tra i due casi seguenti:

- (1) **Sponde non coesive**: costituite da materiale granulare grossolano (presenza predominante di ghiaia e/o ciottoli), incluse le sponde composite, ovvero costituite da un livello basale grossolano e da una porzione superiore coesiva. Sono tipiche dei tratti di alvei a fondo ghiaioso di aree pedemontane e di pianura medio – alta.
- (2) **Sponde coesive**: costituite da materiale fine (sabbia, limo, argilla). Sono tipiche, ma non esclusive, di zone di bassa pianura e di alvei con fondo meno grossolano (sabbia e/o ghiaia fine).

Questa differenza è motivata da un comportamento diverso di tali sponde rispetto ai processi erosivi: le sponde coesive presentano in genere una maggiore resistenza all'erosione fluviale ed arretrano prevalentemente per movimenti di massa, determinando di norma tassi di arretramento inferiori (anche in virtù della minore energia dei tratti di corsi d'acqua in cui si trovano). Le sponde non coesive (eccetto che nel caso si tratti di sedimenti fortemente cementati) sono in genere più erodibili da parte della corrente fluviale.

Viene inoltre tenuto conto della **copertura vegetale**: a tal fine, si distinguono sponde completamente prive di vegetazione riparia da sponde ricoperte da vegetazione arborea ed arbustiva. Seppure la presenza di vegetazione può avere molteplici effetti nei confronti dei processi di erosione e stabilità delle sponde, alcuni dei quali anche destabilizzanti, essa viene qui considerata per semplicità come avente un prevalente effetto stabilizzante.

Nel caso di **corsi d'acqua di bassa energia**, va tenuto conto del fatto che le tensioni tangenziali raggiunte dalla corrente potrebbero non superare mai condizioni di inizio del moto dei sedimenti costituenti le sponde. Rientrano tra i corsi d'acqua di bassa energia i seguenti: (a) corsi d'acqua di **risorgiva**; (b) altri corsi d'acqua con **pendenze molto basse** (dell'ordine di 0.001 o inferiori), ossia tratti di bassa pianura, in particolare quelli in prossimità della foce, ma anche corsi d'acqua a basse pendenze canalizzati ed arginati (non necessariamente di bassa pianura) per i quali l'assenza di protezioni di sponda è proprio imputabile ad una sostanziale mancanza di fenomeni erosivi. Per tali corsi d'acqua si tiene conto anche delle loro dimensioni (larghezza dell'alveo) e quindi indirettamente delle portate di piena le quali a loro volta influiscono sulla potenza della corrente. A tal fine, si differenzia tra corsi d'acqua di **piccole dimensioni** (larghezza inferiore a 10 m) rispetto a quelli di **dimensioni intermedie o grandi** (larghezza superiore a 10 m). I tratti di corsi d'acqua di bassa energia e di piccole dimensioni vengono attribuiti alla classe A indipendentemente dalle caratteristiche delle sponde, mentre ai tratti di corsi d'acqua di bassa energia ma con larghezza superiore a 10 m si attribuiscono dei punteggi ridotti rispetto al caso di corsi d'acqua non di bassa energia.

Per la distinzione tra **sponde alluvionali e versanti** si utilizzano le stesse informazioni impiegate per la misura del **grado di confinamento** durante la fase di suddivisione iniziale: vengono qui

considerati solo i tratti in cui il corso d'acqua è a contatto con la pianura alluvionale. Riguardo alla lunghezza delle sponde protette artificialmente, si fa riferimento alla misura relativa all'indicatore A1 (ovvero la lunghezza di difese di sponda da sottrarre alla lunghezza totale delle sponde deve coincidere con quella utilizzata per l'indicatore A1). La lunghezza di sponde alluvionali mobili (espressa in percentuale) si ottiene quindi sottraendo alla lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe) la lunghezza di sponde a contatto con versanti e di sponde protette artificialmente.

Per la distinzione tra **sponde coesive e non coesive**, si richiede di attribuire il tratto ad una delle due classi con un criterio di prevalenza. Di norma, alla scala di tratto non avvengono variazioni significative di tipologia di sponda, ovvero tutte le sponde lungo uno stesso tratto sono attribuibili ad una stessa tipologia prevalente. Particolare attenzione va prestata nei tratti di un corso d'acqua di transizione da una tipologia all'altra (ad es. da pianura medio – alta a bassa pianura) dove può esistere una maggiore variabilità. In tali casi bisogna stabilire la tipologia predominante. L'attribuzione si basa su **osservazioni sul terreno**.

Per quanto riguarda la **copertura vegetale**, la sua valutazione verrà effettuata per mezzo di **immagini telerilevate**. Si valuterà la lunghezza (in percentuale rispetto alla lunghezza totale delle sponde, ovvero la somma di entrambe) di sponde non coperte da vegetazione.

RISPOSTE ESTESE

A	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> per una lunghezza $\leq 10\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe) Oppure: presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>coesive</i> per una lunghezza $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)
B	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> per una lunghezza $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe) Oppure: presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>coesive</i> per una lunghezza $\leq 66\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)
C	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> per una lunghezza $\leq 66\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe) Oppure: presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>coesive</i> per una lunghezza $\leq 90\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)
D	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> per una lunghezza $\leq 90\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe) Oppure: presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>coesive</i> per una lunghezza $> 90\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)
E	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> per una lunghezza $> 90\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe)
Nel caso di lunghezza sponde prive di copertura vegetale $> 10\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe): il tratto si attribuisce ad <i>una classe superiore</i> .	
Nel caso di lunghezza sponde prive di copertura vegetale $> 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe): il tratto si attribuisce a <i>due classi superiori</i> .	
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o corsi d'acqua con pendenze ≤ 0.001) e dimensioni intermedie o grandi (larghezza > 10 m), il tratto si attribuisce a <i>due classi inferiori</i> .	
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o corsi d'acqua con pendenze ≤ 0.001) e piccole dimensioni (larghezza ≤ 10 m), il tratto si attribuisce alla <i>classe A</i> indipendentemente dalla composizione delle sponde.	

M3: ERODIBILITÀ DEL FONDO

DESCRIZIONE

Questo indicatore è l'analogo del precedente ma applicato al fondo, ossia ne valuta la potenziale erodibilità in funzione del materiale che lo costituisce (l'osservazione dell'effettiva presenza di processi di instabilità si valuta successivamente). Il tipo di materiale che costituisce il fondo (sedimenti, roccia, fondo artificiale) può infatti condizionare i processi di dinamica verticale, consentendo o impedendo l'incisione del fondo.

Analogamente al caso precedente, **l'indicatore M3 si compila in contemporanea con A2**, al fine di valutare separatamente elementi naturali ed artificiali.

Viene in primo luogo valutata la **lunghezza di fondo alluvionale completamente erodibile**, ovvero in cui non esistono impedimenti alla possibile erosione. Viene esclusa la lunghezza interessata da quegli **elementi artificiali** che determinano una protezione del fondo impedendone l'esposizione diretta all'azione erosiva della corrente, ovvero rivestimenti del fondo e rampe in massi di lunghezza significativa. Non vengono invece considerate in tale misura le opere puntuali quali briglie o soglie le quali, seppure esercitino un potenziale condizionamento sull'evoluzione del profilo longitudinale, non determinano (se non localmente) un'effettiva differenza di materiale costituente il fondo (immediatamente a monte ed a valle di una briglia il fondo rimane erodibile). Il condizionamento dell'evoluzione del fondo ad opera dei vari tipi di elementi artificiali viene poi considerato più nel dettaglio attraverso l'indicatore A2.

Per quanto riguarda gli **elementi naturali**, essi sono rappresentati da: (1) affioramenti del substrato; (b) corazzamento accentuato, vale a dire la presenza di uno strato superficiale di dimensioni nettamente maggiori rispetto a quelle del sottostrato. In entrambi i casi, si valuta l'estensione del tratto in cui tali condizioni sono presenti. Nel caso di affioramenti del substrato molto occasionali (affioramenti isolati e/o che interessano solo una parte della sezione), essi non vengono considerati significativi. Si noti che ci possono essere situazioni di sedimenti o rocce costituenti il substrato giudicati fortemente erodibili (in alcuni casi più dello stesso materasso alluvionale): in questi casi il fondo non viene attribuito ad affioramento del substrato ma viene assimilato ad un fondo completamente erodibile.

Analogamente all'indicatore precedente (M2), un caso particolare è rappresentato dai **corsi d'acqua di bassa energia** (corsi d'acqua di risorgiva o con pendenza inferiore a 0.001). Per tali corsi d'acqua, la mobilità del fondo è da ritenersi inferiore rispetto al caso di corsi d'acqua a pendenze più elevate. Anche in questo caso tali casi sono ulteriormente differenziati anche a seconda delle dimensioni del corso d'acqua (maggiore riduzione di punteggio nel caso di piccole dimensioni).

Per la valutazione degli **elementi artificiali**, si fa ricorso ad **immagini telerilevate, catasto opere e rilievi sul terreno**. Per quanto riguarda gli **affioramenti del substrato**, si ricorre ad **osservazioni sul terreno**. È utile a tal fine la delimitazione dei versanti utilizzata ai fini del grado di confinamento nella fase di suddivisione iniziale: le porzioni a contatto con un versante (o entrambi) possono più frequentemente presentare affioramenti di substrato sul fondo. Tuttavia, tali affioramenti sono possibili anche in tratti con versanti non a contatto, per incisione del materasso alluvionale. Riguardo al **corazzamento**, esso si può valutare esclusivamente attraverso **osservazioni sul terreno**. A tal fine, vanno considerate solo le porzioni in cui il processo si presenta evidente ed accentuato in varie porzioni del sito visitato sul terreno.

RISPOSTE ESTESE

A	Fondo molto poco erodibile: presenza di fondo alluvionale completamente erodibile per una lunghezza $\leq 10\%$ della lunghezza totale del tratto, a causa di presenza di elementi artificiali (rivestimenti, rampe in massi) e/o naturali (affioramenti del substrato, corazzamento)
B	Fondo poco erodibile: presenza di fondo alluvionale completamente erodibile per una lunghezza compresa tra il 10% ed il 33% della lunghezza totale del tratto, a causa di presenza di elementi artificiali (rivestimenti, rampe in massi) e/o naturali (affioramenti del substrato, corazzamento)
C	Fondo moderatamente erodibile: presenza di fondo alluvionale completamente erodibile per una lunghezza compresa tra il 33% e 66% della lunghezza totale del tratto, a causa di presenza di elementi artificiali (rivestimenti, rampe in massi) e/o naturali (affioramenti del substrato, corazzamento)
D	Fondo molto erodibile: presenza di fondo alluvionale completamente erodibile per una lunghezza compresa tra il 66% e 90% della lunghezza totale del tratto, a causa di presenza di elementi artificiali (rivestimenti, rampe in massi) e/o naturali (affioramenti del substrato, corazzamento)
E	Fondo estremamente erodibile: presenza di fondo alluvionale completamente erodibile per una lunghezza $> 90\%$ della lunghezza totale del tratto, a causa di presenza limitata o assenza di elementi artificiali e/o naturali
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o corsi d'acqua con pendenze ≤ 0.001) e dimensioni intermedie o grandi (larghezza > 10 m), il tratto si attribuisce ad <i>una classe inferiore</i> .	
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o corsi d'acqua con pendenze ≤ 0.001) e piccole dimensioni (larghezza ≤ 10 m), il tratto si attribuisce a <i>due classi inferiori</i> .	

M4: PROCESSI DI ARRETRAMENTO DELLE SPONDE

DESCRIZIONE

Questo indicatore si differenzia dal precedente *M2* in quanto valuta la presenza effettiva di processi di arretramento delle sponde nel tratto. Inoltre, si differenzia dal successivo indicatore *M6* in quanto questo indicatore riguarda i processi di arretramento di sponda, localizzati e non, indipendentemente dalle tendenze distribuite di larghezza (ad esempio, un tratto può essere in restringimento ma presentare dei tratti con sponde in arretramento).

Vengono valutati principalmente due aspetti: la **lunghezza di sponde in arretramento** e il **tasso di arretramento**. A tal fine, si effettua il confronto tra due rilievi (foto aeree o immagini satellitari) relative agli ultimi 10 - 15 anni.

Per quanto riguarda la **lunghezza di sponde in arretramento**, le porzioni di sponde che risultano arretrate sono facilmente identificabili dal confronto di **immagini telerilevate**. Tuttavia, in tale valutazione vengono incluse anche quelle porzioni di sponda attualmente in erosione, seppure dal confronto di immagini la misura dell'arretramento risultasse trascurabile. Tali sponde possono essere valutate sia dalle ultime immagini disponibili (esse di norma coincidono con le sponde non protette prive di vegetazione) che anche da **osservazioni sul terreno**.

Per quanto riguarda invece il **tasso di arretramento** si ricorre esclusivamente ad **analisi GIS** sulla base del confronto delle due immagini selezionate. Le misure sono condotte secondo una serie di sezioni perpendicolari all'asse dell'alveo, con gli stessi criteri utilizzati per le misure di larghezza. Si sovrappongono le linee di sponda relative ai due rilievi e, nei casi di arretramento, si misurano le distanze tra le due linee nelle varie sezioni di misura. 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 medio del tratto (in m/a)** rapportando la somma totale degli arretramenti misurati con il numero di misure in cui il valore è > 0 (ossia escludendo le sponde dove l'arretramento è posto uguale a 0). Pertanto il tasso ricavato va inteso come **tasso di arretramento delle sponde in erosione**. Per una valutazione corretta delle misure ottenute, è opportuno ottenere una stima di massima degli errori associati alla procedura, i quali dipendono da vari fattori, quali scala e risoluzione delle immagini, georeferenziazione, digitalizzazione delle sponde (ad es. nel caso di sponde fortemente vegetate esiste un maggior margine di errore dovuto alla precisa identificazione della sommità della sponda). Nel caso in cui gli errori stimati nelle misure siano troppo elevati (ad esempio a causa delle dimensioni troppo piccole del corso d'acqua e/o bassa risoluzione delle immagini che non consentono di identificare la linea di sponda con sufficiente grado di

precisione), l'indicatore non può essere valutato. Ai fini della classificazione dell'indicatore, si distinguono le tre seguenti classi di tasso di arretramento:

- (1) **Tasso di arretramento trascurabile:** l'arretramento non è quantificabile oppure è dello stesso ordine di grandezza dell'errore commesso nelle misure.
- (2) **Tasso di arretramento non trascurabile:** l'arretramento è quantificabile ed è sicuramente superiore al margine di errore nelle misure ma risulta sempre inferiore a 3 m/a.
- (3) **Tasso di arretramento elevato:** l'arretramento supera il valore di 3 m/a.

Si noti che, nel caso in cui la lunghezza di sponde in arretramento sia $\leq 5\%$ (ovvero presenza di situazioni localizzate), non è richiesta la determinazione del tasso di arretramento (in tal caso si attribuisce direttamente alla classe B).

RISPOSTE ESTESE

A	Completa assenza di sponde in arretramento
B	Lunghezza di sponde in arretramento $\leq 5\%$ della lunghezza totale delle sponde (somma di entrambe), qualunque sia il tasso di arretramento Oppure: Lunghezza di sponde in arretramento $\leq 33\%$, con tassi di arretramento trascurabili
C	Lunghezza di sponde in arretramento $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (somma di entrambe), con tassi di arretramento non trascurabili ma ≤ 3 m/a Oppure: Lunghezza di sponde in arretramento $> 33\%$ ma con tassi di arretramento trascurabili
D	Lunghezza di sponde in arretramento $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde (somma di entrambe), e con tassi di arretramento elevati, ovvero > 3 m/a Oppure: Lunghezza di sponde in arretramento $> 33\%$, ma con tassi di arretramento ≤ 3 m/a
E	Lunghezza di sponde in arretramento $> 33\%$, e con tassi di arretramento elevati, ovvero > 3 m/a

M5: TENDENZE DI LARGHEZZA

DESCRIZIONE

Si considerano con questo indicatore le variazioni di larghezza, indipendentemente dallo spostamento o meno del tracciato dell'alveo. In termini di **dinamica laterale**, la tendenza a variare la larghezza nel breve periodo (10-15 anni) implica una condizione di instabilità morfologica, in quanto l'alveo ha una tendenza a modificare la sua forma e dimensioni.

La valutazione si basa sul confronto e sull'**analisi GIS** di due rilievi (foto aeree o immagini satellitari) relative agli ultimi 10-15 anni. Le misure sono condotte secondo una serie di sezioni perpendicolari all'asse dell'alveo, ricavando il valore medio di larghezza del tratto per ognuno dei due rilievi e facendone la differenza. Analogamente al precedente indicatore, per una valutazione corretta delle misure ottenute, è opportuno ottenere una stima di massima degli errori associati alla procedura, i quali dipendono da vari fattori, quali scala e risoluzione delle immagini, georeferenziazione, digitalizzazione delle sponde. Le variazioni devono essere almeno dello stesso ordine di grandezza dell'errore commesso nelle misure, ovvero si deve misurare un valore minimo di 3 m di variazione di larghezza (mediato sul tratto). Pertanto, l'indicatore non si può applicare per corsi d'acqua di piccole dimensioni. A tal fine, si lascia all'operatore effettuare una valutazione dei possibili errori e rapportarli con le variazioni misurate.

Ai fini della classificazione dell'indicatore, si distinguono le tre seguenti classi di variazioni di larghezza:

- (1) **Equilibrio o tendenza di larghezza trascurabile:** le variazioni, se superiori ai 3 m, devono essere $\leq 10\% L$, nel caso di alvei a canale singolo (inclusi i sinuosi a barre alternate), oppure $\leq 5\% L$, nel caso di alvei a canali intrecciati o *wandering*. Nel caso le variazioni siano inferiori a 3 m, si assume che esse siano trascurabili.
- (2) **Tendenza al restringimento/allargamento:** le variazioni sono superiori al margine di errore nelle misure (> 3 m), e risultano comprese tra 10% e 25% L , nel caso di alvei a canale singolo (inclusi i sinuosi a barre alternate), oppure tra 5% e 15% L , nel caso di alvei a canali intrecciati o *wandering*.

- (3) **Forte tendenza al restringimento/allargamento:** le variazioni non sono superiori al margine di errore nelle misure (>3 m), e risultano $>25\%$ L , nel caso di alvei a canale singolo (inclusi i sinuosi a barre alternate), oppure $>15\%$ L , nel caso di alvei a canali intrecciati o *wandering*.

La misura deve riguardare un intervallo temporale minimo di 10 anni e collocarsi preferibilmente tra 10 e 15 anni. Si ritiene significativo considerare il valore di variazione di larghezza in percentuale rispetto al primo dei due rilievi, indipendentemente dal numero di anni intercorsi tra le due misure (quindi dal tasso di variazione medio annuo), in quanto l'intervallo compreso tra 10 e 15 anni è sufficientemente ampio per evidenziare l'esistenza di una chiara tendenza di larghezza.

Rientrano nei processi di allargamento e restringimento anche le **variazioni di larghezza indotte da interventi antropici** (ad es. restringimento dovuto a canalizzazione dell'alveo o di allargamento dovuto ad interventi di riqualificazione). Essi infatti determinano in tutti i casi una condizione di potenziale instabilità, in grado di provocare diversi tipi di risposte morfologiche, essendo la larghezza assegnata al corso d'acqua diversa da quella esistente. Al contrario, nel caso di corsi d'acqua di dimensioni piccole per i quali non è possibile utilizzare foto aeree ma sono disponibili altre informazioni certe sul fatto che non si siano verificate variazioni di larghezza (ad es. corsi d'acqua canalizzati e fissati planimetricamente, non necessariamente con presenza di difese di sponda), è possibile attribuire la classe A.

RISPOSTE ESTESE

C-	Forte tendenza al restringimento: riduzione di larghezza $>10\%$ in un intervallo temporale di 10-15 anni
B-	Tendenza al restringimento non trascurabile, con riduzione di larghezza $\leq 10\%$ in un intervallo temporale di 10-15 anni
A	Assenza di variazioni o tendenza di larghezza trascurabile
B+	Tendenza all'allargamento non trascurabile, con riduzione di larghezza $\leq 10\%$ in un intervallo temporale di 10-15 anni
C+	Forte tendenza all'allargamento: aumento di larghezza $>10\%$ in un intervallo temporale di 10-15 anni

M6: TENDENZE ALTIMETRICHE

DESCRIZIONE

Si valutano le tendenze in atto di quota del fondo, ovvero le variazioni altimetriche relativamente all'intervallo di tempo degli ultimi 10 – 15 anni (coerentemente con i due precedenti indicatori).

L'indicatore si valuta nella maggior parte dei casi in base ad **osservazioni sul terreno** e richiede pertanto un'attenta interpretazione dei processi in atto attraverso una serie di evidenze diagnostiche. Possono fare eccezione quei casi in cui esistano due **rilievi topografici** della quota del fondo (profili longitudinali o sezioni trasversali) effettuati a distanza di 10 – 15 anni.

Difficilmente si può ricavare una stima della variazione di quota del fondo in un intervallo di tempo così breve. In genere, seppure si verificano delle variazioni altimetriche, esse possono essere estremamente variabili sia lungo il profilo che anche all'interno di una stessa sezione trasversale. Per conoscere con certezza le variazioni nette complessive in un tratto bisognerebbe disporre di DEM ad alta risoluzione dei due rilievi ed effettuare una stima delle differenze volumetriche. Tali valutazioni prescindono dagli scopi del presente indice, nell'ambito del quale si intende dare una valutazione di massima della tendenza prevalente. Le classi dell'indice si basano quindi esclusivamente sulla **prevalenza di evidenze di un tipo di processo** rispetto all'altro, e non su stime delle variazioni o delle lunghezze di tratto soggette ai diversi processi, proprio per le difficoltà oggettive di effettuare tali stime. Nei casi in cui si disponesse di confronti di rilievi topografici, si può determinare quantitativamente quale dei due processi prevale nel tratto.

EVIDENZE SUL TERRENO

Si riporta una scheda di supporto per il riconoscimento delle evidenze sul terreno ([Figura A5.1](#)), la quale raccoglie una lista di evidenze che hanno sia lo scopo di costituire un promemoria degli aspetti su cui prestare attenzione, sia quello di classificare la tendenza altimetrica. Essa è tratta dalle schede di rilevamento geomorfologico riportate sulle "Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive" ([SURIAN et al., 2009b](#)).

Note esplicative della scheda delle tendenze altimetriche

Dati disponibili (profili/sezioni). Si riportano le informazioni relative a dati di profili e/o sezioni topografiche eventualmente disponibili.

Variazioni misurate. Nel caso in cui fossero disponibili tali dati, si riportano le variazioni misurate, classificando il tratto come in incisione, in equilibrio o in sedimentazione.

Dati/evidenze indiretti da foto aeree o immagini satellitari. Da questo punto in poi si cominciano ad utilizzare alcuni indicatori che possono aiutare nell'interpretazione della possibile tendenza altimetrica in atto. Ciò può essere fatto sia in assenza di dati disponibili, ma anche qualora essi esistessero, al fine di rafforzare il risultato da essi ottenuti o, piuttosto, per mettere in evidenza ed approfondire eventuali incongruenze. Gli indicatori denominati con lettera maiuscola hanno un peso maggiore (diagnostiche) rispetto a quelli indicati con lettera minuscola (non diagnostiche).

Si parte da una serie di indicatori indiretti, i quali vengono osservati dalle foto aeree ma sono direttamente finalizzati all'interpretazione delle tendenze altimetriche. In un alveo inizialmente a canali intrecciati (o transizionale), ad una fase di incisione è normalmente associabile una riduzione dell'*indice di intrecciamento* ($f1$) e del numero di *barre* ($f2$). Il caso in cui tali caratteristiche si mantengono costanti ($f3$ e $f4$) può denotare condizioni di equilibrio, mentre un loro aumento ($f5$ e $f6$) può denotare condizioni di sedimentazione. Tuttavia, ciò non è sempre vero: possono esistere dei casi in cui l'incisione provoca una forte instabilità delle sponde che determina a sua volta un aumento dell'indice di intrecciamento e delle barre.

Dati/evidenze sul terreno. Si distinguono tre principali categorie di dati/evidenze: a) evidenze morfologiche; b) caratteristiche dei sedimenti dell'alveo; c) presenza e caratteristiche della vegetazione viva e del legno presenti in alveo.

Morfologia. Il primo aspetto da prendere in considerazione è il *rapporto altimetrico tra barre e piana inondabile*. In un alveo in incisione si può osservare qualche discontinuità tra sommità delle barre attive e piana inondabile ($m1$), determinata proprio dal fatto che il letto si è abbassato dopo aver creato la piana inondabile. Il dislivello deve essere evidente e deve essere possibilmente confermato da un dislivello tra ghiaia nella piana inondabile e sommità della barra, come riportato nella riga successiva. Viceversa, in un alveo in equilibrio dinamico si dovrebbe osservare un passaggio graduale (continuità) tra sommità delle barre e piana inondabile (in particolare sulle barre di meandro) ($M7$). Nel caso di un alveo in sedimentazione, una delle evidenze più importanti è rappresentata dal fatto che la sommità delle barre attive è circa allo stesso livello, o anche superiore, rispetto alla piana inondabile ($M9$).

Nei casi in cui si osserva la sommità delle ghiaie in scarpate di erosione che mettono in contatto l'alveo con una piana inondabile di recente formazione, è possibile raffrontare tale livello con la sommità delle barre attuali. Se la sommità delle barre attuali è superiore rispetto alle ghiaie in affioramento lungo la scarpata, si può desumere che l'alveo ha una tendenza attuale all'aggradazione, e viceversa nel caso di incisione in atto. È opportuno abbinare tali interpretazioni sul terreno con osservazioni di foto aeree degli ultimi 10 - 15 anni ed effettuare più misure in uno stesso tratto. Il grado di incertezza di tali misure aumenta nel caso di alvei con morfologie a canali intrecciati, dove le altezze delle barre sono molto variabili. Queste misure possono essere importanti per rafforzare l'interpretazione e per una quantificazione delle variazioni altimetriche.

Per quanto riguarda la *morfologia delle barre*, possiamo distinguere vari casi: un dislivello marcato tra le stesse ed i canali può essere sintomo di incisione ($M2$: barre erose frequenti), tuttavia bisogna fare attenzione che questa evidenza sia sufficientemente generalizzata nel tratto (cioè gran parte delle barre, su entrambi i lati del canale o dei canali, appaiono in dislivello rispetto agli stessi) in quanto in un alveo in equilibrio in cui il canale migra può essere normale la presenza di barre in erosione che si alternano con barre in accrescimento. Nel caso si incontrano dei corpi sedimentari con una spiccata morfologia a forma lobata, con un evidente fronte di accumulo che tende a seppellire od ostruire un canale o una barra stessa, questa può essere considerata un'evidenza di sedimentazione ($M10$), a condizione che si tratti di situazioni molto frequenti nel tratto.

L'*assenza di barre* o la presenza di *barre longitudinali predominanti* può essere associata a condizioni di incisione ($m3$) o sedimentazione ($M11$) rispettivamente (quest'ultima evidenza non è applicabile ad alvei a canali intrecciati, dove le barre longitudinali sono normalmente presenti). Come detto per gli indicatori indiretti da foto aeree, possono esistere situazioni opposte a quanto descritto (presenza di

barre causate proprio dall'incisione in atto e l'erosione delle sponde), pertanto tali evidenze non sono diagnostiche.

Per quanto riguarda i *canali*: la presenza di uno scalino del fondo (*nickpoint*: vale a dire uno scalino ripido nel profilo longitudinale, tipico soprattutto di alvei incisi in sedimenti fini, o una scarpata del fondo che si può osservare in alvei ghiaiosi) può essere sintomo di incisione (*M4*); la presenza di canali di avulsione o canali secondari nella pianura inondabile sono invece associabili normalmente a situazioni in sedimentazione (*M12*).

Le *sponde* possono fornire indicazioni come segue: il caso di entrambe le sponde con scalzamento al piede può essere associato a condizioni di incisione (*m5*); entrambe le sponde stabili o con processi opposti (una in arretramento e l'altra in avanzamento) possono essere indicative di situazioni altimetricamente stabili (*m8*); il caso di entrambe le sponde con accumulo di sedimenti al piede può essere associato a condizioni di sedimentazione (*m13*). Tali evidenze sono più tipiche di alvei a canale singolo e con sponde coesive, mentre sono meno adatte al caso di alvei transizionali o a canali intrecciati.

Per quanto riguarda la *frequenza di inondazione della piana inondabile*: i casi in cui non ci sono evidenze che la piana sia frequentemente inondata può essere sintomo di una fase di incisione che ne sta progressivamente riducendo la connettività idraulica con l'alveo (*m6*); viceversa, quando esistono molte evidenze di frequenti inondazioni (soprattutto detriti vegetazionali che marcano il livello raggiunto da recenti piene), esse possono essere indicative di una situazione in sedimentazione (*m14*). Tali evidenze non sono diagnostiche in quanto non sono decisive nel distinguere una di queste situazioni rispetto ad esempio ad una condizione di equilibrio, e possono dipendere fortemente dal recente verificarsi o meno di eventi di piena di una certa entità.

Sedimenti

Alcuni Autori descrivono queste evidenze come stato del letto (*bed state*), distinguendo le tre situazioni di fondo ben corazzato ed organizzato (*underloose state*), fondo in condizioni normali (*normally loose state*), fondo disorganizzato (*overloose state*), mettendole in associazione con condizioni probabili di incisione, equilibrio o sedimentazione rispettivamente. Più in dettaglio, si utilizzano le evidenze descritte di seguito.

Il *corazzamento* dei sedimenti del letto è in genere indicativo della tendenza attuale: un marcato e diffuso corazzamento è normalmente associato a condizioni di incisione; un corazzamento molto lieve o del tutto assente è associabile a condizioni di equilibrio o sedimentazione.

L'*embriciamento* e le *forme di fondo grossolane* sono altre caratteristiche tessiturali dei sedimenti del letto che si possono mettere in relazione in una certa misura alle condizioni energetiche della corrente (eccesso o difetto di capacità di trasporto) ed alla conseguente capacità di organizzazione del fondo stesso. La presenza diffusa di embriciamento e di tali forme può essere sintomo di condizioni di eccesso della capacità di trasporto (quindi tendenza all'incisione), viceversa nel caso di assenza di tali forme.

La *variabilità tessiturale* è un'altra caratteristica legata alle precedenti: in condizioni di incisione si tende ad avere una scarsa variabilità tessiturale, cioè i sedimenti superficiali tendono ad essere poco assortiti; viceversa, in condizioni di sedimentazione si può osservare un forte assortimento granulometrico, con una frazione fine molto rilevante compresa tra i sedimenti più grossolani.

Tutti questi aspetti sono stati tradotti in tre situazioni che uniscono insieme questi vari aspetti (questo perché embriciamento, forme di fondo ed assortimento non sono di per sé evidenze necessariamente associate ad una certa situazione): *corazzamento accentuato* (*S1*), associato normalmente a embriciamento, forme fondo grossolane, scarso assortimento, indicativo di incisione; *nessuna prevalenza* (situazione intermedia) (*s2*), che può essere indicativa di situazioni di equilibrio; *corazzamento lieve o assente* (*S3*), associato normalmente ad embriciamento e forme di fondo scarsi, assortimento granulometrico, indicativi di condizioni di sedimentazione.

Vegetazione e materiale legnoso

L'ultimo gruppo di evidenze comprende quelle riguardanti la vegetazione viva ed il legno in alveo. Tali evidenze sono tutte non diagnostiche, vale a dire non sono mai decisive (non essendo esclusive di una certa tendenza) ma servono piuttosto a rafforzare l'interpretazione quando affiancate ad altre evidenze della stessa tendenza.

Le *radici* di alberi sulle sponde possono fornire alcune indicazioni come segue (si tratta di evidenze che si applicano meglio ad alvei a canale singolo): *radici esposte diffusamente* nel tratto, possono denotare incisione (v1); *radici sepolte diffusamente* nel tratto, possono al contrario denotare sedimentazione (v6). Si noti che la presenza di radici esposte o sepolte su una sola delle sponde può essere semplicemente associata a processi di erosione o sedimentazione laterale, eventualmente in un alveo in equilibrio dinamico, quindi non sono indicative di incisione o sedimentazione.

La presenza e posizione di *vegetazione arborea* sulla sponda può fornire le seguenti indicazioni: (v2) alberi regolarmente presenti solo sulla parte sommitale della sponda ed assenti sulla parte inferiore possono denotare un recente abbassamento del fondo che ha portato ad emergere la parte inferiore della sponda; (v4) sponde entrambe ricoperte da vegetazione arborea piuttosto uniforme, denotano in genere condizioni di stabilità delle stesse e di equilibrio del fondo. Materiale legnoso assente o scarso può essere associato ad incisione (v3); viceversa materiale legnoso abbondante e disposto caoticamente può essere associato a condizioni di sedimentazione (v7), mentre nessuna prevalenza può suggerire condizioni di equilibrio (v5).

L'abbondanza o meno di materiale legnoso dipende anche molto dalla gestione della vegetazione nel bacino e sulle sponde (un alveo può essere in sedimentazione senza denotare presenza di materiale legnoso e viceversa), pertanto sarebbe opportuno avere informazioni relative ad eventuali interventi di rimozione di legno in alveo durante gli ultimi 10-15 anni circa.

Si riserva uno spazio alla conoscenza di eventi di piena recenti (ultimi 10 anni) che abbiano potuto influenzare le tendenze attuali. Di tali eventi di piena viene richiesto di riportare, oltre che l'anno in cui si sono verificati, la stazione di misura e, quando noti, la portata ed il relativo tempo di ritorno.

Infine, si classifica il tratto in funzione delle tendenze altimetriche, attribuendolo ad una delle tre classi (incisione, equilibrio, sedimentazione). Un aspetto importante da rimarcare è che bisogna evitare di segnare indiscriminatamente tutte le evidenze individuate nel tratto di studio, anche localmente, ma piuttosto sforzarsi ad individuare l'evidenza dominante nel tratto. Si fa anche presente che non è obbligatorio scegliere un'opzione per ogni riga: se non si osserva alcun indicatore o si hanno molti dubbi è meglio astenersi dal rispondere. L'attribuzione finale ad una certa tendenza altimetrica si basa sul fatto che tutte o la maggior parte delle evidenze sul terreno riconosciute (in particolar modo quelle considerate come diagnostiche) siano associate a tale tendenza. D'altra parte non è infrequente il caso in cui si possano avere nello stesso tratto indicatori di tendenze opposte (incisione e sedimentazione). Ciò si può verificare soprattutto in alvei a morfologie complesse (*wandering*, canali intrecciati) e con numerose barre e canali, dove è più frequente il caso in cui nello stesso tratto esistano zone in erosione e zone in sedimentazione. In questi casi, se non esiste una tendenza chiaramente prevalente sull'altra, il tratto si interpreta come in condizioni di equilibrio dinamico.

Si riporta infine un *livello di confidenza* della classificazione altimetrica, che dovrebbe tener conto complessivamente delle incertezze relative alle eventuali misure da profili o sezioni e quelle relative alle evidenze di campo.

Figura A5.1 – Scheda di supporto per il riconoscimento di evidenze sul terreno delle tendenze altimetriche (da *SURIAN et al., 2009b*).

RISPOSTE ESTESE

C-	Condizioni di incisione largamente prevalenti: esistono evidenze di incisione nettamente prevalenti e diffuse lungo il tratto
B-	Condizioni di lieve incisione: le evidenze di incisione sono poco numerose e non diffuse lungo il tratto, ma prevalgono rispetto a quelle di sedimentazione
A	Condizioni prevalenti di equilibrio: non si osservano chiare evidenze di incisione o di sedimentazione; queste evidenze si equivalgono oppure sono prevalenti quelle di equilibrio lungo il tratto
B+	Condizioni di lieve sedimentazione: le evidenze di sedimentazione sono poco numerose e non diffuse lungo il tratto, ma prevalgono rispetto a quelle di incisione
C+	Condizioni di sedimentazione largamente prevalenti: esistono evidenze di sedimentazione nettamente prevalenti e diffuse lungo il tratto

ARTIFICIALITÀ

A1: DIFESA DI SPONDA

DESCRIZIONE

Vengono considerate tutte le opere di difesa di sponda (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli) che determinano una fissazione della sponda. L'effetto delle difese di sponda è quello di ridurre la dinamica laterale (erosione delle sponde). Tale valutazione va ad integrare quella effettuata con l'indicatore M2 (erodibilità delle sponde), il quale va a considerare le caratteristiche delle sponde escluse quelle a contatto con versanti e le porzioni protette da elementi artificiali. Come per l'indicatore M2, non vengono considerate le porzioni in cui il corso d'acqua è confinato lateralmente da versanti o da terrazzi antichi costituiti da depositi cementati, le quali sono considerate pressoché stabili in quanto, nella scala temporale di interesse per queste analisi, costituiscono un vincolo alla mobilità laterale del corso d'acqua. La lunghezza complessiva delle opere di difesa di sponda viene quindi rapportata alla lunghezza delle sole sponde alluvionali erodibili all'interno del tratto (escludendo le porzioni a contatto con i versanti o terrazzi antichi cementati).

Si considerano solo le opere presenti lungo le sponde attuali (linee che delimitano l'alveo), all'interno o esternamente ma a stretto ridosso dell'alveo, che determinano un'effettiva protezione ed evitano la mobilità laterale nelle condizioni attuali. Non si considerano le opere di difesa realizzate in altre epoche, oggi distanti dall'alveo e che quindi risultano ininfluenti nei riguardi dei processi attuali di mobilità laterale. Si escludono inoltre le opere che, seppure sono ubicate lungo o in prossimità delle sponde attuali, risultano completamente danneggiate e non esplicano più la loro funzione di protezione della sponda. In assenza di informazioni specifiche, si assume che le opere esistenti siano in buono stato.

Analogamente all'indicatore M2, un caso particolare è rappresentato dai tratti di **corsi d'acqua di bassa energia**. Rientrano in questi casi i corsi d'acqua di risorgiva o altri corsi d'acqua a bassa pendenza (inferiore a 0.001). In tali casi vengono attribuite delle classi inferiori rispetto ai corsi d'acqua non di bassa energia, anche in funzione delle loro dimensioni.

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. 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 influente 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).

RISPOSTE ESTESE

A	Presenza di difese di sponda che interessano il tratto quasi per la sua interezza, ovvero >80% della lunghezza totale delle sponde non a contatto con versanti o terrazzi antichi costituiti da depositi cementati
B	Presenza di difese di sponda per una lunghezza >66% della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe) non a contatto con versanti o terrazzi antichi costituiti da depositi cementati
C	Presenza di difese di sponda per una lunghezza >33% della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe) non a contatto con versanti o terrazzi antichi costituiti da depositi cementati
D	Presenza di difese di sponda per una lunghezza ≤33% della lunghezza totale delle sponde (ovvero somma di entrambe) non a contatto con versanti o terrazzi antichi costituiti da depositi cementati
E	Assenza di difese di sponda oppure presenza solo di difese localizzate (≤5% della lunghezza totale delle sponde non a contatto con versanti o terrazzi antichi costituiti da depositi cementati)
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o corsi d'acqua con pendenze ≤0.001) e dimensioni intermedie o grandi (larghezza > 10 m), il tratto si attribuisce a <i>due classi inferiori</i> .	
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o corsi d'acqua con pendenze ≤0.001) e piccole dimensioni (larghezza ≤ 10 m), il tratto si attribuisce alla <i>classe A</i> indipendentemente dalla presenza o meno di difese di sponda.	

A2: OPERE DI CONSOLIDAMENTO O RIVESTIMENTO DEL FONDO

DESCRIZIONE

Questo indicatore prende in considerazione le varie opere di fissazione del fondo, realizzate per impedire l'incisione del fondo o anche per scopi diversi (derivazione, trattenuta di sedimenti e legname, laminazione, ecc.). Tali opere includono **rivestimenti del fondo, soglie, rampe, briglie di consolidamento, briglie di trattenuta, casse in linea, traverse, diga** all'estremità a valle.

Tale valutazione va ad integrare quella effettuata attraverso l'indicatore *M3* (erodibilità del fondo), il quale va a considerare le caratteristiche del fondo escluse le porzioni protette da elementi artificiali. L'effetto di tali opere è proteggere il fondo e/o di condizionare il profilo longitudinale del corso d'acqua, impedendo o riducendo direttamente o indirettamente l'incisione del fondo, quindi riducendo la **dinamica verticale** dell'alveo. I possibili fenomeni localizzati (sedimentazione a monte ed eventuale erosione a valle) non vengono invece considerati.

Analogamente all'indicatore *M3*, un caso particolare è rappresentato dai tratti di **corsi d'acqua di bassa energia** (di risorgiva o pendenze inferiori a 0.001), per i quali vengono attribuite delle classi inferiori rispetto ai corsi d'acqua non di bassa energia, anche in funzione delle loro dimensioni.

Per quanto riguarda i metodi di rilievo, si tratta di opere in genere ben individuabili da **immagini telerilevate**, con l'eventuale supporto di osservazioni sul **terreno, catasto opere e carte topografiche**.

RISPOSTE ESTESE

A	Rivestimenti del fondo che interessano il tratto quasi per la sua interezza, ovvero >80% della lunghezza del tratto
B	Rivestimenti del fondo per una lunghezza compresa tra 66% e 80% della lunghezza del tratto Oppure, come D con presenza di diga all'estremità a valle
C	Rivestimenti del fondo per una lunghezza compresa tra 33% e 66% della lunghezza del tratto e/o presenza diffusa di soglie, rampe, briglie, traverse, ovvero >1 ogni d in media nel tratto, dove $d=1000$ m in alvei a pendenza medio – bassa ($\leq 1\%$); $d=200$ m in alvei a pendenza relativamente elevata ($>1\%$) Oppure, come E con presenza di diga all'estremità a valle
D	Rivestimenti del fondo per una lunghezza $\leq 33\%$ della lunghezza del tratto e/o presenza di soglie, rampe, briglie, traverse con densità relativamente bassa, ovvero ≤ 1 ogni d in media nel tratto, dove $d=1000$ m in alvei a pendenza medio – bassa ($\leq 1\%$); $d=200$ m in alvei a pendenza relativamente elevata ($>1\%$)
E	Assenza o presenza localizzata di rivestimenti ($\leq 5\%$ della lunghezza del tratto) e totale assenza di altre opere (soglie, rampe, briglie, traverse)
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o corsi d'acqua con pendenze ≤ 0.001) e dimensioni intermedie o grandi (larghezza > 10 m), il tratto si attribuisce ad <i>una classe inferiore</i> .	
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o corsi d'acqua con pendenze ≤ 0.001) e piccole dimensioni (larghezza ≤ 10 m), il tratto si attribuisce a <i>due classi inferiori</i> .	

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

V1: VARIAZIONE DI CONFIGURAZIONE MORFOLOGICA

DESCRIZIONE

Vengono analizzate le variazioni di configurazione morfologica, ovvero l'eventuale passaggio da una tipologia morfologica ad una diversa (sinuoso, meandriforme, a canali intrecciati, ecc.) tra la situazione degli anni '50 del XX secolo e quella attuale. L'eventuale variazione di configurazione morfologica è valutata come un sintomo di instabilità planimetrica passata, pertanto viene considerato come un fenomeno che denota una significativa **dinamica laterale**. Tale instabilità planimetrica può infatti ancora manifestarsi, con la possibilità che, durante eventi di piena di una certa intensità, vengano rimodellate delle superfici appartenenti alla precedente morfologia, possa venire recuperata la precedente morfologia o possano verificarsi ulteriori variazioni di configurazione.

È possibile valutare tale indicatore fintantoché le dimensioni dell'alveo nelle due immagini messe a confronto rendano possibile la definizione della morfologia e l'eventuale misura degli indici necessari per la definizione della configurazione (indici di sinuosità, intrecciamento, *anabranching*). È possibile ad esempio che un alveo attualmente ha una larghezza molto ridotta ma una configurazione sicuramente attribuibile ad una morfologia a canale singolo, mentre nella foto aerea del 1954 presenti una morfologia a canali intrecciati: in tal caso è certamente possibile definire la variazione avvenuta nonostante le dimensioni ridotte dell'alveo attuale. Un altro caso può essere quello corsi d'acqua di piccole dimensioni per i quali non è possibile utilizzare foto aeree ma è possibile disporre di altre informazioni certe sul fatto che non si siano verificate variazioni di configurazione morfologica (ad es. corsi d'acqua canalizzati e fissati planimetricamente, non necessariamente con presenza di difese di sponda): in tali casi è possibile attribuire al tratto preso in esame la classe A.

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., 2009b](#)).

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 A5.1](#).

Tabella A5.1 – 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 = anabranching; $\Leftrightarrow$ = passaggio in entrambi i sensi. Classe: B = passaggio a morfologia contigua; C = passaggio a morfologia non contigua.

MORFOLOGIE	CLASSE	MORFOLOGIE	CLASSE
$R \Leftrightarrow S$	B	$M \Leftrightarrow SBA$	B
$R \Leftrightarrow M$	C	$M \Leftrightarrow W$	C
$R \Leftrightarrow SBA$	B	$M \Leftrightarrow CI$	C
$R \Leftrightarrow W$	C	$M \Leftrightarrow A$	B
$R \Leftrightarrow CI$	C	$SBA \Leftrightarrow W$	B
$R \Leftrightarrow A$	C	$SBA \Leftrightarrow CI$	C
$S \Leftrightarrow M$	B	$SBA \Leftrightarrow A$	C
$S \Leftrightarrow SBA$	B	$W \Leftrightarrow CI$	B
$S \Leftrightarrow W$	C	$W \Leftrightarrow A$	C
$S \Leftrightarrow CI$	C	$CI \Leftrightarrow A$	C
$S \Leftrightarrow A$	B		

RISPOSTE ESTESE

A	Assenza di variazioni di configurazione morfologica rispetto agli anni '50
B	Variazioni di configurazione morfologica tra tipologie contigue rispetto agli anni '50
C	Variazioni di configurazione morfologica tra tipologie non contigue rispetto agli anni '50

V2: VARIAZIONE DI LARGHEZZA

DESCRIZIONE

L'indicatore prende in esame le variazioni di larghezza dell'alveo manifestatesi rispetto agli anni '50. Le variazioni di larghezza denotano una condizione di instabilità passata che può tuttora condizionare l'attuale dinamica planimetrica.

Per gli aspetti metodologici valgono all'incirca le stesse considerazioni fatte per l'indicatore V1, ovvero è necessario disporre del **volo IGM GAI 1954/55** e di un volo recente. 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., 2009b](#)). In maniera analoga all'indicatore M5, è opportuno valutare i possibili errori associati alle misure di larghezza, tenendo presente che il volo IGM GAI è disponibile generalmente ad una scala di circa 1:33.000, pertanto le misure effettuate per alvei con larghezza del 1954/55 inferiore a 30 m circa possono risultare piuttosto problematiche. Tuttavia le misure possono essere condotte anche nel caso in cui l'alveo del 1954/55 misuri meno di 30 m ma il confronto con la situazione attuale evidenzia una variazione certa della larghezza (ovvero variazione superiore al margine di incertezza delle misure). Come per M5 e V1, nei casi di corsi d'acqua di piccole dimensioni per i quali non è possibile utilizzare foto aeree ma è possibile disporre di altre informazioni certe sul fatto che non si siano verificate variazioni di configurazione morfologica (ad es. corsi d'acqua

canalizzati e fissati planimetricamente, non necessariamente con presenza di difese di sponda), è possibile attribuire al tratto in esame la classe A.

RISPOSTE ESTESE

C-	Restringimento intenso (>35%) rispetto agli anni '50
B-	Restringimento moderato (15÷35%) rispetto agli anni '50
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto agli anni '50, sia in presenza che in assenza di variazioni della configurazione morfologica
B+	Allargamento moderato (15÷35%) rispetto agli anni '50
C+	Allargamento intenso (>35%) rispetto agli anni '50

V3: VARIAZIONI ALTIMETRICHE

DESCRIZIONE

Viene analizzata l'esistenza di variazioni altimetriche, ossia incisione o aggradazione (sedimentazione), verificatesi in passato. L'esistenza di variazioni altimetriche passate implica una maggiore dinamica verticale dell'alveo.

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 da fine XIX – inizi XX secolo. Tale semplificazione permette infatti di utilizzare meglio le evidenze sul terreno (dislivelli complessivi tra attuale piana inondabile e terrazzo recente: si veda più avanti nel testo).

Per valutare le variazioni avvenute, si effettua dapprima una ricerca delle **informazioni e dati** eventualmente disponibili (rilievi 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 all'interno di un tratto le variazioni possono non essere costanti. Per ottenere stime sufficientemente attendibili, è necessario pertanto effettuare più misure 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., 2009b](#)).

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

D-	Variazioni della quota del fondo molto intense (>6 m): alveo eccezionalmente inciso
C-	Variazioni della quota del fondo intense (3÷6 m): alveo fortemente inciso
B-	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤ 3 m): alveo inciso
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (≤ 0.5 m)
B+	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤ 3 m): alveo aggradato
C+	Variazioni della quota del fondo intense (3÷6 m): alveo fortemente aggradato
D+	Variazioni della quota del fondo molto intense (>6 m): 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 a quali classi si riferisce l'incertezza (ad es. se tra classe A e B, tra classe B e C o addirittura tra più di 2 classi, nel qual caso si inserisce l'iniziale della classe di confidenza in più caselle). Nel caso di assenza di indicazioni, si intende che la confidenza è alta.

L'ultima parte della scheda è dedicata al calcolo dei punteggi complessivi e dell'**IDM**. La somma dei punteggi relativi a tutti gli indicatori fornisce il **punteggio totale (P_{tot})**. Si calcola poi il **punteggio massimo (P_{max})** che si potrebbe totalizzare se per tutti gli indicatori si registrasse il punteggio più alto. Tale punteggio è pari a 100, al quale va eventualmente sottratta la somma dei punteggi massimi relativi agli **indicatori non applicati (P_{na})**. Questi riguardano quegli indicatori che richiedono misure da immagini ($M4$, $M5$, $V1$ e $V2$), i quali potrebbero non essere applicati per corsi d'acqua relativamente piccoli e/o per i quali le caratteristiche delle immagini analizzate non permettono di effettuare stime attendibili. Si ricorda inoltre che è possibile che non si valutino gli indicatori $M6$ (Tendenze altimetriche) e/o $V3$ (Variazioni altimetriche) nei casi di assoluta mancanza di dati, informazioni ed evidenze sul terreno.

In seguito, il punteggio totale (P_{tot}) viene normalizzato rispetto al punteggio massimo così ottenuto. Tale rapporto corrisponde all'**Indice di Dinamica Morfologica $IDM = P_{tot}/P_{max}$** . In base all'**IDM** viene ricavata la **classe di dinamica morfologica** del tratto. Si distinguono le seguenti cinque classi: (i) Molto bassa (per elevata stabilità o controllo artificiale); (ii) Bassa; (iii) Media; (iv) Elevata; (v) Molto elevata (per rilevante instabilità).

In base all'informazione sul **grado di confidenza**, è possibile ottenere una stima 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).

**APPENDICE 6: SCHEDA di valutazione *IDM* per alvei
SEMICONFINATI e NON CONFINATI**

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA DINAMICA MORFOLOGICA

Versione 1 - Maggio 2014

GENERALITA'

Data _____ Operatori _____
 Bacino _____ Corso d'acqua _____
 Estremità monte _____ Estremità valle _____
 Codice Segmento _____ Codice Tratto _____ Lunghezza tratto (m) _____

TIPOLOGIA D'ALVEO

Confinamento _____ C= Confinato, SC=Semiconfinato, NC=Non Confinato
 Morfologia _____ R=Rettilineo, S=Sinuoso, M=Meandriforme, SBA= Sinuoso barre alternate,
 W= Wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anabranching
 Pendenza media fondo, S _____ Larghezza media alveo, L (m) _____

DATI UTILIZZATI

Immagini (per situazione attuale e tendenze laterali)

Immagine situazione attuale _____ (nome, anno)
 Immagine ultimi 10-20 anni _____ (nome, anno)

Eventuali rilievi topografici (per tendenze e variazioni altimetriche)

Attuale _____ (nome, anno)
 Ultimi 10-20 anni _____ (nome, anno)
 Precedente _____ (nome, anno)

MORFOLOGIA E PROCESSI

		parz.	prog.	conf.
M1	Tipologia d'alveo			
A	Configurazione morfologica associata a condizioni di energia estremamente bassa (rettilinei o sinuosi di pianura costiera, fondo sabbioso, privi di barre)	0		
B	Configurazione morfologica associata a condizioni di bassa energia (sinuosi, meandriformi o anastomizzati privi di barre)	3		
C	Configurazione morfologica associata a condizioni di medio-elevata energia (sinuosi o meandriformi con barre, sinuosi a barre alternate, letto piano, riffle pool)	6		
D	Configurazione morfologica associata a condizioni di elevata energia e mobilità laterale (wandering, a canali intrecciati)	10		

M2	Erodibilità delle sponde			
A	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> ≤10% o <i>coesive</i> ≤33% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	0		
B	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> ≤33% o <i>coesive</i> ≤66% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	2		
C	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> ≤66% o <i>coesive</i> ≤90% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	4		
D	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> ≤90% o <i>coesive</i> >90% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	6		
E	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) <i>non coesive</i> >90% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	8		

Nel caso di sponde *prive di copertura vegetale* >10% lunghezza totale: passare alla *classe superiore*

Nel caso di sponde *prive di copertura vegetale* >33% lunghezza totale: passare a *due classi superiori*

Nel caso di *corsi d'acqua di bassa energia* (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $L > 10$ m: passare a *due classi inferiori*

Nel caso di *corsi d'acqua di bassa energia* (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $L \leq 10$ m: si attribuisce alla *classe A*

parz.: punteggi parziali (cerchiare) prog.: punteggi progressivi livello confidenza tra due classi ☐
 conf. livello di confidenza nella risposta, con M=Medio, B=Basso (Alto è omissso)

M3 Erodibilità del fondo			
A	Presenza di fondo alluvionale erodibile, non protetto da elementi artificiali (rivestimenti, rampe) e/o naturali (affioramenti, corazzamento), per $\leq 10\%$ lunghezza tratto	0	
B	Presenza di fondo alluvionale erodibile per 10-33% lunghezza tratto	2	
C	Presenza di fondo alluvionale erodibile per 33-66% lunghezza tratto	4	
D	Presenza di fondo alluvionale erodibile per 66-90% lunghezza tratto	6	
E	Presenza di fondo alluvionale erodibile per $> 90\%$ lunghezza tratto	8	
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $L > 10$ m: passare ad una classe inferiore			
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $L \leq 10$ m: passare a due classi inferiori			

M4 Processi di arretramento delle sponde			
A	Completa assenza di sponde in arretramento	0	
B	Sponde in arretramento $\leq 5\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) oppure: sponde in arretramento $\leq 33\%$ con tassi trascurabili	2	
C	Sponde in arretramento $\leq 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi ≤ 3 m/a oppure: sponde in arretramento $> 33\%$ con tassi trascurabili	4	
D	Sponde in arretramento $\leq 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi > 3 m/a oppure: sponde in arretramento $> 33\%$ con tassi ≤ 3 m/a	6	
E	Sponde in arretramento $> 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi > 3 m/a	8	

M5 Tendenze di larghezza			
C-	Restringimento $> 25\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $> 15\%$ (alvei CI o W)	8	
B-	Restringimento $> 10\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $> 5\%$ (alvei CI o W)	4	
A	Variazioni di larghezza $\leq 10\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $\leq 5\%$ (alvei CI o W)	0	
B+	Allargamento $> 10\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $> 5\%$ (alvei CI o W)	4	
C+	Allargamento $> 25\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $> 15\%$ (alvei CI o W)	8	

M6 Tendenze altimetriche			
C-	Incisione: evidenze di incisione largamente prevalenti e diffuse	8	
B-	Incisione lieve: evidenze di incisione prevalenti ma non diffuse	4	
A	Equilibrio: assenza di prevalenti condizioni di incisione o sedimentazione	0	
B+	Sedimentazione lieve: evidenze di sedimentazione prevalenti ma non diffuse	4	
C+	Sedimentazione: evidenze di sedimentazione largamente prevalenti e diffuse	8	

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

--	--	--	--

ARTIFICIALITA'

		parz.	prog.	conf.
A1 Difese di sponda				
A	Difese di sponda per $> 80\%$ lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	0		
B	Difese di sponda per 66-80% lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	4		
C	Difese di sponda per 33-66% lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	8		
D	Difese di sponda per 5-33% lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	12		
E	Difese di sponda per $\leq 5\%$ lunghezza totale sponde (escluso versanti o terrazzi antichi)	15		
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $L > 10$ m: passare ad una classe inferiore				
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o $S \leq 0.001$) e $L \leq 10$ m: passare a due classi inferiori				

A2 Opere di rivestimento o consolidamento del fondo			
A	Rivestimenti del fondo per quasi tutto il tratto (>80% lunghezza)	0	
B	Rivestimenti del fondo per 66-80% della lunghezza del tratto oppure come classe D con presenza diga estremità a valle	4	
C	Rivestimenti del fondo per 33-66% della lunghezza del tratto e/o soglie, rampe, briglie, traverse >1 ogni d, dove d=1000 m per S≤1%, d=200 m per S>1% oppure: come classe E con presenza diga estremità a valle	8	
D	Rivestimenti del fondo per 5-33% della lunghezza del tratto e/o soglie, rampe, briglie, traverse ≤1 ogni d, dove d=1000 m per S≤1%, d=200 m per S>1%	12	
E	Assenza o presenza localizzata di rivestimenti (≤5% lunghezza del tratto) e assenza di altre opere di consolidamento (soglie, rampe)	15	
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o S≤0.001) e L>10 m: passare ad una classe inferiore			
Nel caso di corsi d'acqua di bassa energia (di risorgiva o S≤0.001) e L≤10 m: passare a due classi inferiori			

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

			parz.	prog.	conf.
V1 Variazioni della configurazione morfologica					
A	Assenza di variazioni di configurazione morfologica rispetto ad anni '50	0			
B	Variazioni configurazione morfologica tra tipologie contigue rispetto anni '50	3			
C	Variazioni configurazione morfologica tra tipologie non contigue rispetto anni '50	5			

V2 Variazioni di larghezza					
C-	Restringimento intenso (>35%) rispetto ad anni '50	5			
B-	Restringimento moderato (15-35%) rispetto ad anni '50	3			
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate (≤15%) rispetto ad anni '50	0			
B+	Allargamento moderato (15-35%) rispetto ad anni '50	3			
C+	Allargamento intenso (>35%) rispetto ad anni '50	5			

V3 Variazioni altimetriche					
D-	Incisione molto intensa (>6 m)	10			
C-	Incisione intensa (>3 m)	6			
B-	Incisione limitata o moderata (≤3 m)	3			
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (fino 0.5 m)	0			
B+	Sedimentazione limitata o moderata (≤3 m)	3			
C+	Sedimentazione intensa (>3 m)	6			
D+	Sedimentazione molto intensa (>6 m)	10			

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

Punteggio totale:

Ptot =

Punteggio massimo:

Pmax = 100 - Pna =

dove Pna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

Indice di Dinamica Morfologica:

IDM = Ptot/Pmax =

Classe di dinamica morfologica del tratto:

0≤IDM<0.2: Molto bassa (per elevata stabilità o controllo artificiale); 0.2≤IDM<0.4: Bassa; 0.4≤IDM<0.6: Media; 0.6≤IDM<0.8: Elevata; 0.8≤IDM≤1.0: Molto elevata (per rilevante instabilità);

APPENDICE 7: GUIDA ALLE RISPOSTE – *Classificazione di Dinamica d’Evento (CDE)*

FASE 1: VARIAZIONI MORFOLOGICHE

INDICATORI RELATIVI A TRATTI CONFINATI E SEMICONFINATI

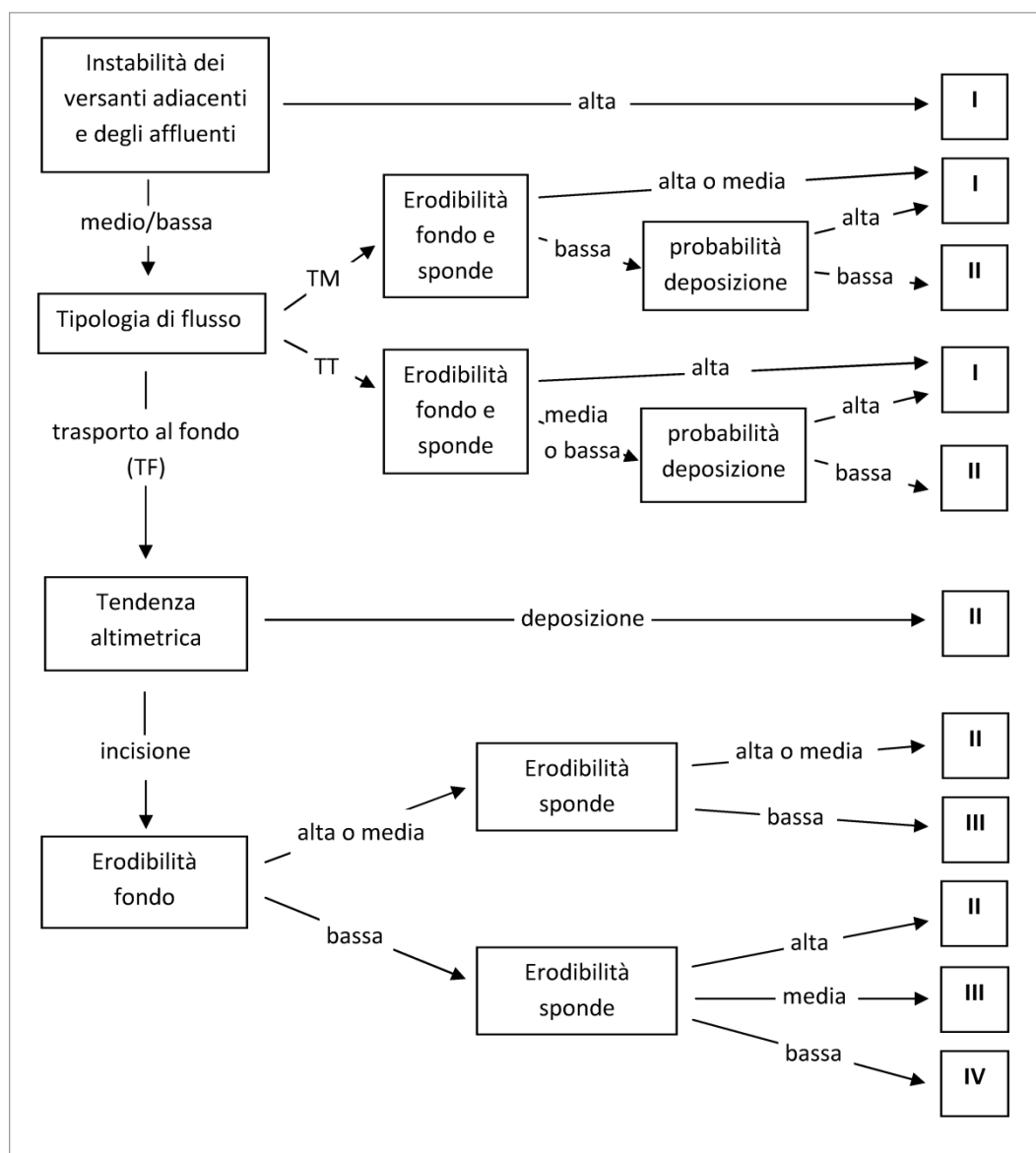


Figura A7.1 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle variazioni morfologiche (IV - L lievi; III - Medie, II - Forti, I - Molto Forti) in tratti confinati e semiconfinati.

Instabilità dei versanti adiacenti e degli affluenti

DESCRIZIONE

Negli alvei confinati spesso le maggiori cause di dinamica durante eventi di piena eccezionali derivano dall'interazione con i fenomeni di dissesto dei versanti e dei tributari ad elevata pendenza. In particolare, gli sbarramenti temporanei dovuti a frane e colate rappresentano in molti casi il processo geomorfologicamente più rilevante in ambito montano, nonostante la loro occorrenza temporale sia relativamente bassa. Tuttavia vi è evidenza che durante i maggiori eventi di piena avvenuti nel passato tali processi si sono verificati ed hanno forse determinato le maggiori conseguenze in termini di

dinamica idraulica e morfologica. Vi sono studi che dimostrano come la geometria attuale di molte valli sia stata creata dal ripetuto verificarsi di questi eventi nel corso dei millenni, con la formazione di terrazzi fluviali a monte degli sbarramenti, e processi erosivi e deposizionali molto intensi a valle. Infatti, il collasso subitaneo degli sbarramenti (*dam-break*) può arrivare a generare portate istantanee e flussi a concentrazione solida notevolmente maggiori rispetto a quelli previste per eventi meteorici anche per tempi di ritorno centenari.

L'operatore deve determinare il grado di instabilità dei versanti adiacenti e degli affluenti relativi al tratto in esame. Vengono qui considerati soltanto i probabili apporti di sedimento (sia sotto forma di processi gravitativi che di trasporto fluviale intenso) connessi direttamente all'alveo principale, e che quindi durante l'evento estremo potranno andare ad interferire in maniera diretta sui processi di trasporto lungo il tratto in esame, ad esempio deviando la direzione del flusso, fino a formare dei veri e propri sbarramenti.

Data l'estrema difficoltà non solo a quantificare in termini volumetrici/areali i dissesti previsti per l'evento di riferimento, ma anche soltanto la loro occorrenza (a meno che non si dispongano di dettagliati studi geologici e modellazioni geotecniche), viene previsto che si debba scegliere tra solo due alternative, ovvero **alta instabilità** e **medio/bassa instabilità**.

COME RISPONDERE

Per alta instabilità si intende un'alta probabilità che si verifichino all'interno del tratto – durante l'evento di piena di riferimento – dei dissesti di versante (frane superficiali o profonde) od apporti notevoli di sedimento dagli affluenti in forma di trasporto in massa o piene di detrito (si veda indicatore “Tipologia di flusso”) che per la loro dimensione/quantità vadano ad alterare significativamente la morfologia (sezioni trasversali, profilo longitudinale) dell'alveo in esame ([Figura A7.1](#)). Questo può avvenire per la deviazione del flusso e la divagazione della corrente determinata dall'apporto sedimentario e/o di materiale legnoso non smaltibile dalla portata liquida, fino al caso estremo di sbarramenti dell'alveo, anche temporanei.

La determinazione della classe (alta o medio/bassa instabilità) può essere quindi eseguita osservando la densità e l'entità dei fenomeni franosi e le caratteristiche di trasporto solido dei tributari presenti lungo il tratto. Per quanto riguarda le instabilità di versante, queste si possono valutare tramite l'analisi di carte geomorfologiche o tramite valutazioni/modellazione geologiche/geotecniche che portino ad ritenere altamente probabili tali fenomeni nel caso di eventi meteorici eccezionali. I meccanismi di destabilizzazione dei versanti da prendere in considerazione sono sia quelli associati all'aumento delle pressioni neutre nel terreno lungo i versanti (in occasione di eventi meteorici di elevata intensità o durata) che i processi di scalzamento al piede dovuti ai processi di erosione ad opera del corso d'acqua. Sono da considerarsi anche le frane quiescenti (“*dormant*”) le quali tipicamente possono riattivarsi durante eventi di elevata magnitudo. Non vanno invece considerate le frane relitte (“*relict*”) ([DIKAU et al., 1996](#)). Per la valutazione della tipologia di flusso attesa lungo i tributari, e quindi per determinare se questi siano soggetti a processi di colata detritica o piene di detrito, si rimanda alla descrizione dell'indicatore successivo.

Purtroppo la scelta tra le due classi di instabilità (alta e medio/bassa) rimane in un certo modo soggettiva e dipende dal grado di informazione geologica/geotecnica disponibile. Risulta chiaro dal diagramma di flusso della Fase 1 che classificare come altamente instabili i versanti e gli affluenti lungo un certo tratto porta direttamente a classificarne le variazioni morfologiche attese come “molto forti” (classe I), e quindi attribuire una *CDE* pari a “Molto elevata” senza bisogno di proseguire oltre nella procedura. È evidente quindi che la presenza lungo il tratto di qualche frana superficiale di dimensione relativamente ridotta non è di norma sufficiente a rendere classificabile come altamente instabili i versanti, ma è essenziale che il giudizio esperto prenda in considerazione, seppur speditamente e qualitativamente, il rapporto tra i volumi solidi potenzialmente mobilizzati e la capacità di trasporto di sedimento del tratto (si veda indicatore “Tendenza altimetrica”), così come le dimensioni dei corpi di frana rispetto alla dimensione dell'alveo. Ad esempio, anche una sola frana di grandi dimensioni (relativamente all'alveo) che possa portare ad uno sbarramento dovrà essere ritenuta sufficiente ad attribuire il tratto alla classe di “alta instabilità”.

Infatti, la possibilità che si verifichino fenomeni di sbarramento in un certo tratto dipende dalla dimensione dei fenomeni di instabilità dei versanti ad esso adiacenti, dalla loro cinematica, e dalla larghezza del corso d'acqua. Alvei stretti sono più facilmente ostruibili anche da frane di minori dimensioni. Purtroppo non esistono regole da applicarsi facilmente per stimare la probabilità di questi

fenomeni, e pertanto si richiede all'operatore una valutazione basata o su esperienze/evidenze di eventi passati in condizioni fisiografiche simili a quelle del bacino in esame, oppure utilizzando modelli specificamente dedicati a tale problematica (ad esempio si veda [ERMINI & CASAGLI, 2003](#); [CENCETTI et al., 2006](#)). Infine, nel caso un affluente ritenuto capace di determinare forti conseguenze morfologiche sull'alveo in esame si trovi esattamente al limite tra due tratti di quest'ultime, si dovrà rispondere "alta instabilità" per il tratto di monte a causa dei fenomeni di rigurgito idraulico e deposizione di sedimento conseguenti alla colata/piena di detriti. Per il tratto posto a valle, gli effetti dell'eventuale sbarramento temporaneo atteso o comunque dell'aumentata intensità di trasporto solido vanno valutati all'interno degli indicatori "Tipologia di flusso" e "Tendenza Altimetrica".



Figura A7.1 – Variazioni morfologiche molto rilevanti associate all'instabilità dei versanti (a sinistra, alveo visto da valle) e di una colata detritica lungo un affluente che ha determinato uno sbarramento temporaneo (a destra, visto da monte).

Tipologie di flusso

DESCRIZIONE

L'operatore deve assegnare per il tratto in esame la tipologia di flusso attesa durante l'evento di riferimento, scegliendo tra **trasporto di fondo (TF)**, **trasporto transizionale (TT)**, e **trasporto in massa (TM)**, come descritto in [Tabella A7.1](#).

All'interno di TM vengono inclusi i processi di trasporto in massa propriamente detti, a concentrazione solida molto elevata (indicativamente $> 40-50\%$ in volume) quali colate detritiche e colate di fango (*debris flow* and *mud flow*). La categoria TF include invece i processi di trasporto al fondo relativamente poco intensi e quindi a concentrazione solida relativamente bassa (indicativamente $< 5-10\%$) tipici degli alvei a pendenza relativamente ridotta, dove le caratteristiche reologiche del flusso sono prettamente di tipo newtoniano (processi di tipo "fluviale"). Alla categoria TT vengono ascritti i flussi di piena improvvisa in alvei ad elevata pendenza aventi notevole concentrazione solida derivante soprattutto dalla abbondante presenza di clasti di grandi dimensioni (piena di detriti o "*debris floods*" in terminologia anglosassone), ma in cui la concentrazione di sedimento trasportato è inferiore alla soglia di passaggio verso reologie non-newtoniane. Le piene di detrito si possono quindi interpretare come la transizione (su concentrazioni solide indicativamente comprese tra 10 e 30%, derivanti in maggior parte da sedimento grossolano) tra processi di trasporto al fondo e flussi di colata di tipo granulare, in cui domina però ancora un comportamento newtoniano. Nella categoria dei processi di trasporto transizionale vanno anche collocati i flussi iperconcentrati, i quali sono caratterizzati da reologie già non-newtoniane a causa della presenza abbondante di sedimento fine in sospensione ($> 3-10\%$), con concentrazioni volumetriche totali comprese tra 10% e 40%. I flussi iperconcentrati sono tipici di ambienti aridi e semi-aridi dove i versanti e gli alvei presentano alta disponibilità di sedimenti fini, e possono anche presentarsi senza caratteristiche di evento parossistico, al contrario dei fenomeni di *debris flood*. Per maggiori dettagli sulla classificazione dei processi di trasporto solido, si vedano [AULITZKY \(1982\)](#), [PIERSON & COSTA \(1987\)](#), [HUNGR \(2005\)](#), [PIERSON \(2005\)](#), [MARCHI \(2005\)](#).

Tabella A7.1 – Classificazione delle tipologie di trasporto solido ai fini della presente metodologia.

TIPOLOGIA DI PROCESSO	CATEGORIA
Trasporto al fondo (<i>bedload</i>)	TF
Piena di detrito (<i>debris flood</i>)	TT
Flusso iperconcentrato (<i>hyperconcentrated flow</i>)	TT
Colata di detrito (<i>debris flow</i>) o di fango (<i>mud flow</i>)	TM

COME RISPONDERE

I tratti aventi pendenze < 3-5% circa possono essere normalmente classificati come soggetti a trasporto al fondo (TF) anche durante eventi di piena eccezionale. Un caso particolare è rappresentato dai tratti potenzialmente impattati da fenomeni di collasso improvviso (*dam-break*) durante l'evento – causati dal cedimento di sbarramenti da frana o di opere trasversali di altezza importante – che possono dar luogo a flussi molto più concentrati rispetto a quanto prevedibile per il caso di portate di picco derivanti unicamente da eventi meteorici, seppur intensi. I flussi in tali tratti – anche se aventi pendenze ridotte – sono quindi più assimilabili a piene di detrito, se non addirittura a colate detritiche. La determinazione della lunghezza di alveo (e quindi per quanti tratti) nella quale si deve prendere in considerazione l'effetto di *dam-break* dovrebbe essere effettuata applicando modelli numerici (anche solo unidimensionali) appositamente sviluppati per tali processi.

Per i tratti aventi pendenze sostenute, ovvero indicativamente > 3-5%, le condizioni energetiche sono teoricamente sufficienti per dar luogo all'intera gamma di tipologie di trasporto, ed il loro verificarsi dipende da fattori idrologici, morfologici e geologici. Tuttavia, sopra tale soglia di pendenza il trasporto di fondo propriamente detto è piuttosto raro durante eventi eccezionali, ad eccezione di tratti molto stabili con alimentazione solida molto limitata, e sono da quindi da attendersi di norma almeno concentrazioni solide tipiche delle piene di detrito.

Si possono distinguere 3 metodologie principali ([MARCHI \(2005\)](#)) per arrivare a definire la tipologia di flusso in un certo tratto ad elevata pendenza: i) storico-documentativa; ii) morfometrica; iii) geomorfologica - sedimentologica. Il primo metodo si basa sull'identificazione delle caratteristiche degli eventi di magnitudo maggiore già occorsi lungo il tratto in esame grazie a rilievi post-evento, fotografie e documentazione varia. Si può quindi assumere che nel caso il tratto avesse manifestato processi di trasporto in massa questi siano da considerarsi la tipologia per l'evento di riferimento, sempre che le caratteristiche del bacino e del collettore non siano variate sostanzialmente dall'evento documentato (ad esempio tramite opere di sistemazione importanti). Tuttavia l'opposto non è altrettanto vero, ovvero se non si hanno indicazioni documentarie che nel passato si siano verificati processi di colata non si può direttamente concludere che queste non siano possibili nel tratto in esame. In questi casi, per determinare la tipologia di trasporto, è necessario utilizzare almeno uno degli altri due metodi qui sotto descritti.

Il metodo morfometrico si basa sulla relazione empirica – osservata in molti contesti geografici – tra indici morfometrici del bacino e del conoide e la tipologia del trasporto solido nel corso d'acqua principale di tale bacino. Infatti si è osservato che un corso d'acqua soggetto a processi di colata detritica tende a costruire conoidi con pendenze più elevate rispetto a quelli derivanti da trasporto al fondo. Per le Alpi Orientali, [MARCHI et al. \(1993\)](#) hanno elaborato una classificazione basata sulla pendenza media del conoide e sul numero di Melton Me del bacino, dato da (con H_{max} quota massima del bacino, H_0 quota dell'apice del conoide, A area drenata del bacino in m^2):

$$Me = \frac{H_{max} - H_0}{\sqrt{A}}$$

Questi autori hanno proposto delle relazioni di soglia tra pendenza del conoide del corso d'acqua in esame e numero di Melton del bacino per identificare i bacini e quindi i collettori da colata. Successivamente, altri autori hanno effettuato analisi simili in altre regioni ([AA.VV., 2005](#); [SANTANGELO et al., 2012](#)). Tuttavia tali relazioni dipendono dal contesto geografico in cui sono state sviluppate, e si raccomanda quindi di utilizzare quelle provenienti dai contesti più simili al caso in esame, oppure meglio ancora sviluppare un'analisi di questo genere – basandosi su bacini per i quali siano conosciute le dinamiche di trasporto – propriamente per la regione di interesse.

Di notevole interesse è lo studio effettuato da [BERTRAND et al. \(2013\)](#), i quali hanno raccolto dati di letteratura da 620 bacini in diverse catene montuose (Alpi, Appennini, Pirenei, Montagne Rocciose, Alpi Neozelandesi) ed effettuato delle dettagliate analisi statistiche su numero di Melton, inclinazione del conoide e tipologia di flusso ([Figura A7.2](#)). Questi autori hanno quindi elaborato dei modelli statistici ([Figura A7.3](#)) che dovrebbe potersi applicare efficacemente a diverse aree geografiche, seppure con i limiti intrinseci in un approccio semplificato quale quello morfometrico. Nella loro analisi, i bacini da *debris flood* (piene di detrito) sono stati raggruppati a quelli da trasporto al fondo “ordinario”.

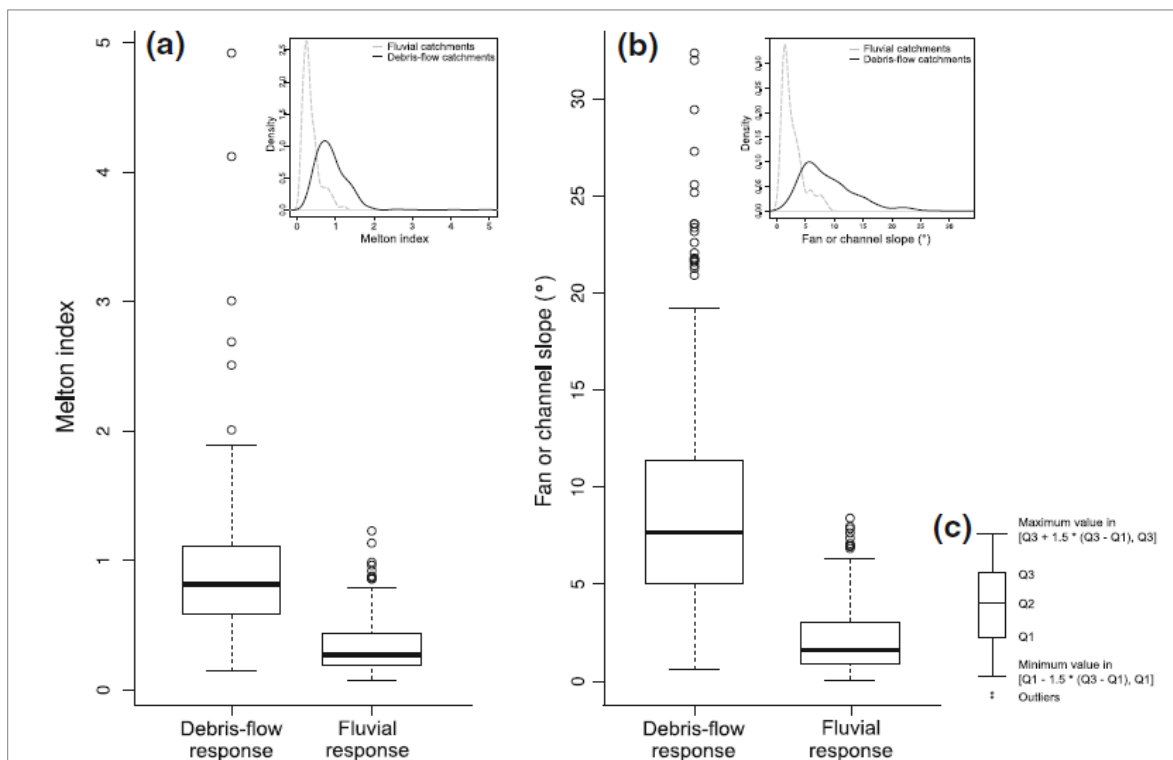


Figura A7.2 – Distribuzione del numero di Melton (a) e dell’inclinazione del conoide (od alveo lungo il conoide, b) nei bacini da colata (*debris flow*) e da trasporto al fondo (*fluvial*). I bacini da piena di detrito sono stati fatti ricadere in questa analisi nei bacini di tipo “*fluvial*”. Il riquadro (c) spiega il significato dei grafici: Q2 rappresenta la mediana, Q1 e Q3 il 25° e 75° quartile rispettivamente, e gli estremi i valori minimi e massimi escludendo gli outlier. Da [BERTRAND et al. \(2013\)](#).

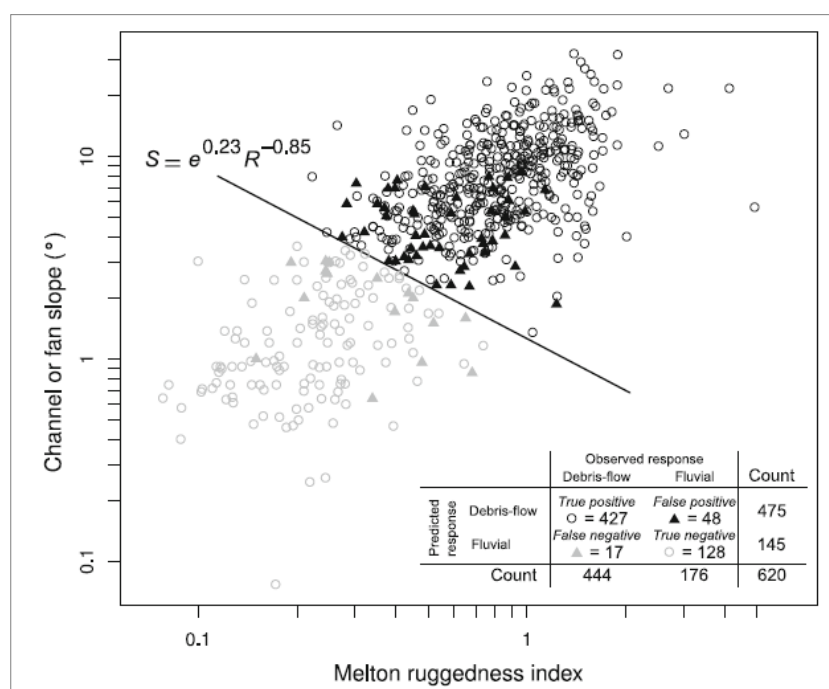


Figura A7.3 – Separazione tra bacini soggetti a colata detritica (in grassetto, sopra la linea) e quelli soggetti a trasporto di fondo (incluse piene di detrito, sotto la linea). Nell’equazione, S rappresenta l’inclinazione (in gradi) del conoide, R il numero di Melton, ed e il numero di Nepero. Da [BERTRAND et al. \(2013\)](#).

Se il bacino in esame tramite il metodo morfometrico risultasse come soggetto a processi di colata detritica, tale informazione non si applica solamente al tratto d’alveo lungo il conoide ma anche a tutti quei tratti ad elevata pendenza all’interno del bacino che mostrino evidenze morfologiche di tali processi di trasporto (in base al metodo geomorfologico sotto descritto).

Il metodo geomorfologico si basa invece sull’interpretazione diretta delle evidenze di campo nel tratto in esame e/o sulla conoide del bacino, supportata dall’utilizzo di ortofoto ed altri strati informativi (in particolare da DTM ad alta risoluzione). L’analisi dei depositi sedimentari recenti sul conoide e lungo l’alveo è di grande valore al fine di determinare se questi siano stati interessati da processi di trasporto in massa. Ad esempio, depositi molto eterogenei, lobati, con presenza di clasti di grandi dimensioni caoticamente dispersi in una matrice fine sono tipici di colate detritiche, così come depositi laterali simili ad “argini” spesso sormontati da clasti di grandi dimensioni ([Figura A7.4](#)). Nel caso di conoidi, questi argini tipicamente si trovano associati a depressioni che rappresentano i vecchi canali di deflusso (si veda [MARCHI \(2005\)](#)). Tuttavia, tratti soggetti a colate possono anche non presentare alcun deposito laterale se le condizioni di confinamento dell’alveo, di pendenza elevata e di substrato (in roccia) non favoriscono la loro formazione. In questi casi, quando l’alveo non si presenta in roccia, l’elevata caoticità del substrato può essere assunta come un indizio di flussi di colata detritica frequenti ([Figura A7.4](#)). Corsi d’acqua soggetti a trasporto in massa soltanto per eventi meteorici eccezionali però possono presentare alvei ben strutturati, e soltanto considerazioni di tipo storico e morfometrico su conoide e bacino (si veda sopra) diventano l’unico supporto in tali casi.

Rispetto ai fenomeni di colata detritica, più difficile è riconoscere in campo i depositi formati da flussi transizionali quali flussi iperconcentrati (si veda [PIERSON \(2005\)](#)) e piene di detrito. Queste ultime tipicamente lasciano depositi (barre) formati da clasti di grandi dimensioni ([Figura A7.5](#)) che – a differenza delle colate detritiche – non si presentano come argini laterali e non presentano molta matrice fine tra i clasti, mentre l’organizzazione di questi e la segregazione granulometrica è minore rispetto a quella riscontrabile tipicamente nelle barre formate da processi di trasporto al fondo meno intenso ([Figura A7.6](#)).



Figura A7.4 – Alvei soggetti a colate detritiche (visti da monte verso valle). A sinistra, si noti in particolare il deposito laterale (“argine”) a forma di cuspidi con abbondante presenza di matrice fine e di massi alla sommità. A destra, il confinamento dei versanti impedisce la formazione di argini laterali, ma si nota invece la mancanza di organizzazione del substrato in alveo. La pendenza è $> 10\%$.

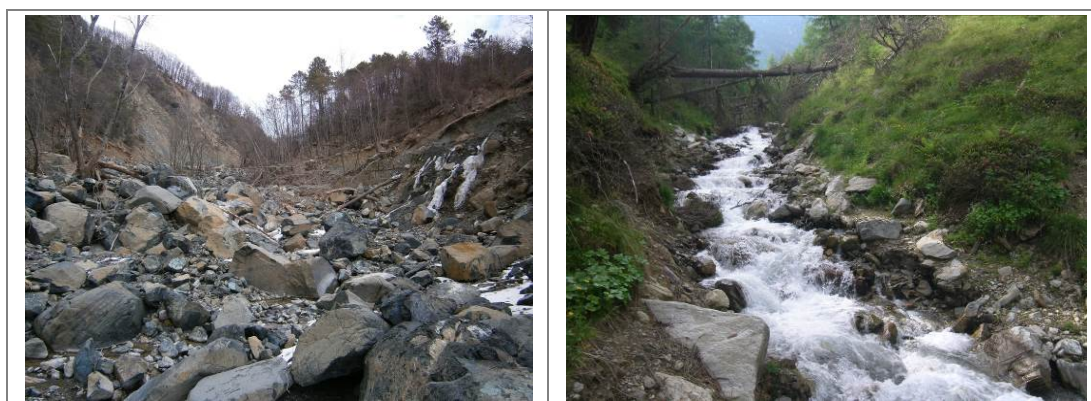


Figura A7.5 – Alvei (visti da valle verso monte) soggetti durante eventi eccezionali a processi classificabili come piene di detrito (*debris flood*). La situazione molto più caotica raffigurata a sinistra deriva da un evento recente di magnitudo molto elevata, in un tratto meno confinato dai versanti rispetto a quello della foto di destra. Le pendenze sono comprese tra 7% e 10% .



Figura A7.6 – Alvei (visti da valle verso monte) soggetti recentemente ad eventi di piena “eccezionale” con processi classificabili come trasporto al fondo, seppure sicuramente con intensità importanti. L’alveo presenta in entrambi i casi delle barre granulometricamente ben segregate e stratificate (pendenze dei tratti $1-3\%$).

Infine, similmente a quanto evidenziato per il metodo morfometrico, bisogna ricordare come l’identificazione di “testimoni silenti” di colate o *debris flood* sulla porzione più recente del conoide porta sicuramente ad attribuire tali caratteristiche al tratto immediatamente a monte, ma si dovrà valutare in campo fino a che punto del collettore tali processi siano attesi, in quanto questi potrebbero innescarsi solamente nella parte terminale del bacino (ad esempio per aumenti di pendenza o per instabilità di versante).

Erodibilità del fondo e delle sponde

DESCRIZIONE

Al fine di contrastare le variazioni altimetriche naturali che avvengono in ogni alveo a fondo mobile, da molti secoli si realizzano nei corsi d'acqua montani opere trasversali per fissare la quota del fondo ed impedire quindi fenomeni di incisione (briglie di consolidamento, soglie di fondo, rampe) e per trattenere il trasporto solido grossolano a monte di tratti potenzialmente in sedimentazione (briglie di trattenuta). Per impedire processi di variazione planimetrica (erosioni di sponda e della base dei versanti) si costruiscono invece opere longitudinali quali scogliere e muri di sponda.

La funzione di tali opere è quindi quella di ridurre sostanzialmente l'erosibilità del fondo (opere trasversali) e delle sponde (opere longitudinali), fino al caso estremo degli alvei sistemati con cunettoni dove si vuole impedire qualsiasi mobilità dei sedimenti dell'alveo. Di conseguenza, tratti che naturalmente sarebbero soggetti ad incisione – per aratura dovuta al passaggio di una colata detritica o per l'elevata capacità di trasporto della corrente relativamente all'alimentazione solida di monte – possono non mostrare variazioni morfologiche significative a seguito di un evento di piena in virtù di queste protezioni artificiali. Tuttavia, è essenziale valutare quanto effettivamente siano stabili tali protezioni, in quanto è molto comune che alcune di esse possano cedere durante eventi eccezionali (come quello in analisi tramite la presente metodologia) a causa della loro vetustà, bassa qualità o scarsa manutenzione, similmente a quanto succede con gli argini nei contesti non confinati. È essenziale quindi distinguere le opere affidabili da quelle che non lo sono, le quali potrebbero addirittura esacerbare le variazioni morfologiche nel tratto ed anche a valle di esso, a causa del loro collasso, incrementando la concentrazione solida del flusso (come sopra già evidenziato in “Tipologia di flusso”).

Anche in assenza di opere di difesa, gli alvei presentano naturalmente erodibilità diversa a seconda del substrato che compone il loro contorno bagnato, e questo influisce quindi sull'entità delle variazioni morfologiche soprattutto nei tratti tendenzialmente in erosione. Per i tratti a tendenza deposizionale invece l'erosibilità del contorno non viene analizzata, in quanto essi vengono classificati in classe II (“forti” variazioni morfologiche, vedi sotto). È evidente come i tratti con sponde e fondo in roccia siano molto più stabili rispetto a quelli caratterizzati da sedimento incoerente anche soltanto per porzioni della loro lunghezza. Si precisa che per “sponda”, trattando qui gli alvei confinati e semiconfinati, si intende sia la scarpata della pianura alluvionale (piana inondabile o terrazzi) presente in tali tratti che l'interfaccia tra alveo e versanti.

COME RISPONDERE

Le caratteristiche di fondo e sponde per le diverse classi di erodibilità da assegnare ai tratti sono riassunte nelle [Tabella A7.2](#) e [Tabella A7.3](#). È necessario selezionare un'unica classe che rifletta le caratteristiche prevalenti sia del fondo che delle sponde, scegliendo tra le **tre classi**: (1) **alta**; (2) **media**; (3) **bassa**.

Tabella A7.2 – Classi di erodibilità del fondo.

ERODIBILITÀ FONDO	CARATTERISTICHE
ALTA	Alveo alluvionale prevalentemente erodibile ($\geq 66\%$ della lunghezza del tratto) considerando tutte le classi granulometriche in relazione alle condizioni energetiche della corrente.
MEDIA	Alveo alluvionale solo parzialmente erodibile (10% - 66%) per la presenza di classi granulometriche non mobilizzabili dalla corrente, per diffusi affioramenti in roccia, e/o per la presenza di alcune opere di consolidamento affidabili.
BASSA	Alveo in roccia o semi-alluvionale per presenza di affioramenti rocciosi (porzioni erodibili $< 10\%$ della lunghezza); oppure alveo stabilizzato da opere di consolidamento affidabili, continue e ravvicinate.

Tabella A7.3 – Classi di erodibilità delle sponde. Le percentuali di lunghezza si intendono valutate su entrambe le sponde (ovvero sulla lunghezza totale di esse).

ERODIBILITÀ SPONDE	CARATTERISTICHE
ALTA	Prevalenza ($\geq 66\%$ del tratto) di sponde in depositi alluvionali non coesivi, oppure di versanti in materiale sciolto (es. depositi glaciali, gravitativi) privi di difese di sponda affidabili in relazione alle caratteristiche del flusso.
MEDIA	Presenza intermedia (10%-66%) di sponde in depositi alluvionali non coesivi, oppure di versanti in materiale sciolto (es. depositi glaciali, gravitativi) privi di difese di sponda affidabili.
BASSA	Limitata presenza ($<10\%$ del tratto) di sponde in depositi alluvionali non coesivi, oppure di versanti in materiale sciolto (es. depositi glaciali, gravitativi) privi di difese di sponda affidabili.

Per l'applicazione del CDE nel caso di fenomeni attesi di trasporto in massa o transizionale, si richiede di valutare in maniera congiunta l'erodibilità di sponde e fondo ([Figura A7.1](#)). A tal fine si può utilizzare la seguente tabella ([Tabella A7.4](#)).

Tabella A7.4 – Classificazione combinata di erodibilità fondo-sponde da utilizzare nel caso di trasporto in massa o transizionale ([Figura A7.1](#)).

		ERODIBILITÀ SPONDE		
		ALTA	MEDIA	BASSA
ERODIBILITÀ FONDO	ALTA	Alta	Alta	Alta
	MEDIA	Alta	Media	Media
	BASSA	Alta	Media	Bassa

Probabilità di deposizione

DESCRIZIONE

Scopo di questa domanda è di valutare la probabilità – seppur in termini qualitativi, ovvero semplicemente come “alta” o “bassa” – che processi di trasporto in massa e transizionali (piene di detrito e flussi iperconcentrati) provenienti da monte si arrestino o comunque causino forte deposizione nel tratto in esame, causando quindi delle variazioni morfologiche molto forti e repentine assimilabili a quelle derivanti da fenomeni di instabilità dei versanti e degli affluenti.

COME RISPONDERE

L'arresto di colate detritiche e di fango è determinato – escludendo i casi di ostruzione da parte di attraversamenti che verranno valutati successivamente – da riduzioni di pendenza, allargamenti delle sezioni trasversali, od ancora più efficacemente dalla loro compresenza. Esiste infatti una relazione tra inclinazione limite per la propagazione di questi flussi ed il rapporto tra larghezza e profondità del (confinamento) del flusso. In generale, un flusso meno confinato (dai versanti o dall'alveo inciso stesso) tenderà ad arrestarsi su pendenze maggiori rispetto a quelle di un flusso ben confinato. In termini generali, nel caso di colate detritiche ([HUNGR, 2005](#)), la propagazione avviene senza un sostanziale rallentamento per inclinazioni dell'alveo $>9-10^\circ$, ovvero su pendenze superiori a 16-17%, il rallentamento con progressiva deposizione si presenta con pendenze tra 7% e 15%, e l'arresto avviene alquanto rapido per pendenze prossime a 5-7%.

Per quanto riguarda i flussi transizionali, le conoscenze in merito alla loro dinamica deposizionale sono decisamente più scarse e le soglie intrinsecamente più sfumate in quanto si tratta di processi di trasporto intermedi a “normali” piene con trasporto al fondo ed in sospensione, e notevolmente dipendenti dalle caratteristiche (granulometriche, mineralogiche) dei sedimenti portati dalla corrente.

Ricordando il ruolo aggiuntivo del confinamento del flusso come menzionato sopra, si può assumere come condizione di rallentamento e deposizione di tali flussi valori di pendenza inferiori a 3-5%. Per le piene di detrito, essendo queste più vicine reologicamente ai processi di trasporto solido al fondo che a colate detritiche, si possono utilizzare – con la dovuta attenzione – i metodi descritti per l'indicatore successivo, e si può stimare la capacità di trasporto di tali flussi tramite le equazioni sviluppate per pendenze fino al 20% presentate in [Tabella A7.5](#).

Tendenza altimetrica

DESCRIZIONE

Scopo di questa domanda è di valutare la probabilità che si verifichino durante l'evento di riferimento variazioni di quota del fondo, e la direzione di tali variazioni (incisione o sedimentazione). Tale domanda **si applica solamente al caso di flussi di piena con caratteristiche di trasporto al fondo**, ma i metodi descritti possono essere di supporto per stimare la “probabilità di deposizione” anche nel caso di piene di detrito (si veda sopra).

Data la rarità o comunque la difficoltà di individuare correttamente i tratti in equilibrio altimetrico durante un evento “eccezionale”, questi non vengono contemplati. È possibile pertanto scegliere tra **due classi**: (1) **deposizione**; (2) **incisione**. Nel caso di tratti in roccia, se questi fossero ritenuti non soggetti a deposizione, si procederà a considerarli potenzialmente in incisione, e la bassa erodibilità del contorno andrà quindi a classificarli come soggetti a limitate variazioni morfologiche ([Figura A7.1](#)).

Per valutare la tendenza altimetrica è necessario comprendere la dinamica del trasporto solido di fondo e la stima del grado di “saturazione” delle correnti nei vari tratti. Per grado di saturazione delle correnti si intende il rapporto tra la quantità di sedimento effettivamente trasportato al fondo e la capacità di trasporto “teorica” (potenziale) in un certo tratto. Quest'ultima deriva dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente, sostanzialmente dall'eccesso di potenza unitaria (*unit stream power*) o di sforzo tangenziale (*shear stress*) rispetto alla soglia di moto del sedimento. Queste grandezze idrauliche sono determinate dalle portate liquide previste lungo il tratto per l'evento di riferimento (variabile primariamente idrologica) e dall'assetto geomorfologico del tratto, ovvero dalla sua pendenza e larghezza media.

L'effettiva quantità di sedimento che viene trasportata al fondo spesso però non coincide con la sua quantità “potenziale”, ovvero con la capacità di trasporto, ma ne risulta ampiamente inferiore, soprattutto per eventi di piena ordinaria o comunque non eccezionale. Questo avviene in tutti i casi in cui vi è una scarsità relativa di alimentazione solida, sia proveniente dal tratto di monte che dal tratto stesso (sponde ed alveo). A limitare l'alimentazione solida potenzialmente ottenibile lungo il tratto concorre il fenomeno naturale del corazzamento dell'alveo, che può risultare efficace nel caso di alvei grossolani (macro-corazzamento ad opera di unità morfologiche di tipo *step*) fino per eventi di piena rilevanti (*TR* pari a 10-20 anni od anche maggiori).

Il rapporto tra alimentazione solida e capacità di trasporto si rispecchia nella tipologia morfologica di un alveo, la quale risulta strettamente legata alla sua pendenza media. Morfologie a gradinata, tipiche di pendenze >5%, indicano una forte capacità di trasporto raramente saturata dall'alimentazione solida, il che induce ad una auto-stabilizzazione dell'alveo tramite forme di fondale che comportano forti dissipazioni energetiche. Quando le portate liquide arrivano a mobilitare il macro-corazzamento di questi alvei (per *TR* > 30-50 anni, e quindi sicuramente durante l'evento di riferimento per il *CDE*) vi è un incremento esponenziale nei tassi di trasporto solido per via del materiale più fine reso disponibile dallo strato sottosuperficiale ora esposto alla corrente. Al contempo si manifestano processi di incisione rapidi ed intensi – anche dell'ordine di vari metri – in mancanza di sorgenti “esterne” di sedimento quali frane e/o colate dai versanti adiacenti.

All'estremo opposto, i tratti a canali intrecciati, ed, in misura minore, quelli a canale singolo a *riffle-pool* sono caratterizzati da abbondante sedimento disponibile nell'alveo – il corazzamento è in genere limitato – che rende più facilmente saturabile la capacità di trasporto, comunque già ridotta per via delle minori pendenze. Durante eventi di piena eccezionali, nei quali è molto frequente che si attivino dissesti di versante che contribuiscono ad aumentare notevolmente l'alimentazione solida nel tratto, risulta quindi che i tassi di trasporto di sedimento convogliati da monte e lungo il tratto stesso siano maggiori di quelli evacuabili dalla corrente, e avvengono pertanto processi diffusi di deposizione che conducono ad un innalzamento del livello medio dell'alveo (sedimentazione) la cui entità può variare da pochi decimetri a vari metri. È da sottolineare come non sia affatto certo che un tratto a

canali intrecciati vada in sedimentazione durante l'evento di riferimento, ma ciò è altamente probabile a condizione che non siano cambiate le condizioni di alimentazione solida che hanno generato tale morfologia (p.e. una diga recentemente costruita a monte del tratto). In tal caso, l'alveo potrebbe incidersi notevolmente nei suoi precedenti depositi, manifestando comunque una forte dinamica durante l'evento.

Infine, una morfologia "a letto piano" viene letta come sintomo di un sostanziale equilibrio – nel lungo periodo – tra alimentazione solida e capacità di trasporto, e potrebbe pertanto portare a ritenere il tratto come non soggetto a forti dinamiche verticali. Tuttavia, durante eventi di piena di elevata magnitudo possono verificarsi delle condizioni di forte alimentazione solida da parte di tributari o dai versanti adiacenti che non possono essere bilanciate dalla potenza non elevata della corrente, con conseguente sedimentazione. Più infrequenti ma pur possibili sono i casi in cui un tratto a letto piano vada in incisione, seppur limitata, a seguito di un inusuale decremento di alimentazione solida.

COME RISPONDERE

Per rispondere a questa domanda l'operatore può scegliere tra diversi metodi aventi diverso grado di dettaglio di analisi, e quindi anche diverso impegno ma anche potenzialmente differente affidabilità. Si possono distinguere: (1) metodo basato sulla tipologia geomorfologica; (2) metodo geomorfologico a scala di reticolo; (3) metodo geomorfologico a scala di bacino; (4) metodo del bilancio di sedimenti; (5) metodo storico.

1. Metodo basato sulla tipologia morfologica

Tale metodo prevede essenzialmente soltanto l'individuazione della tipologia morfologica del tratto ed assume che, in base ad essa, si possano trarre indicazioni sul rapporto tra alimentazione solida e capacità di trasporto come descritto sopra, integrate da valutazioni soggettive dell'operatore. Evidentemente è il metodo più speditivo ma può risultare spesso non affidabile, specialmente se l'operatore non ha una approfondita conoscenza del bacino. Inoltre non risulta praticamente applicabile in presenza di tratti a morfologia artificiale (sistemazioni a gradinata con briglie di consolidamento ravvicinate, cunettoni), e di non facile applicazione a tratti a canali multipli.

Tratti a gradinata (*step-pool* e *cascade*) possono essere classificati come tratti potenzialmente in incisione, mentre tratti potenzialmente in deposito durante un evento estremo includono di norma sia morfologie a canali intrecciati e transizionali che a canale singolo (a letto piano, a *riffle pool* e a dune). Tuttavia la dinamica negli alvei a letto piano risulta estremamente sensibile al rapporto tra alimentazione solida e capacità di trasporto ed a condizioni locali. Infine, i tratti in roccia – se non classificati come soggetti a trasporto in massa o piene di detrito – si possono sicuramente considerare non soggetti ad incisione durante l'evento di riferimento (sempre che non si tratti di litologie altamente erodibili), mentre invece l'esclusione di processi di deposizione è più incerta se la pendenza del tratto non fosse elevata.

2. Metodo geomorfologico a scala di reticolo

A differenza del metodo precedente, in questo l'operatore ricava parametri idraulici direttamente proporzionali alla capacità di trasporto (p.e. potenza unitaria della corrente o semplicemente uno stream power index, calcolato come prodotto tra la radice quadrata dell'area drenata e la pendenza, si veda p.e., [DALLA FONTANA & MARCHI, 2003](#)) per l'intero reticolo idrografico, tramite operazioni in ambiente GIS. È da evidenziare come per calcolare la potenza unitaria sia necessario stimare la larghezza media delle sezioni lungo il tratto, ma purtroppo questa non è facilmente ricavabile in maniera automatica dal modello digitale del terreno. Si vedano comunque i *tool* disponibili presso "AdB toolbox" all'interno (<http://www.pcn.minambiente.it/GN/adbtoolbox.php?lan=it>).

Per applicare questo metodo, viene eseguita un'analisi tra tipologia morfologica ed i valori di tali parametri al fine di delimitare gli intervalli associati alle diverse morfologie e la loro relazione spaziale monte-valle, in modo da assegnare una risultanza morfologica a tali parametri ed alla loro variazione longitudinale a scala di tratto. Ad esempio, questa permette di identificare i tratti potenzialmente soggetti a "sovrassaturazione" (e quindi a sedimentazione durante un evento di piena) come quelli dove il parametro surrogato per la capacità di trasporto (p.e., lo *stream power index*) decrementi subitaneamente, spesso in risposta ad una diminuzione di pendenza o per l'allargamento della sezione, o per entrambi. Al contrario, un brusco aumento della potenza della corrente – a valle quindi di tratti con un necessariamente ridotto trasporto al fondo – dovrebbe segnalare tratti

potenzialmente sottosaturi e quindi a tendenza erosiva. La limitazione di tale metodo, che comunque può portare a risultati interessanti, risiede nel fatto che si analizza soltanto la variazione di capacità di trasporto (o meglio dei parametri correlati ad essa) e non l'alimentazione solida. A questa mancanza supplisce il metodo descritto di seguito.

3. Metodo geomorfologico a scala di bacino

Questo metodo integra il precedente in quanto mira ad identificare le variazioni lungo il reticolo non solo della capacità di trasporto ma anche dell'alimentazione solida, ma sempre utilizzando dei parametri surrogati, derivabili su base GIS, che siano proporzionali alle quantità fisiche da analizzare. Per far questo è necessario ampliare l'analisi GIS alla scala dell'intero bacino, delimitando le aree sorgenti di sedimento che si prevede siano attive durante l'evento di riferimento ed applicando un modello di connettività derivato dalle caratteristiche topografiche e di uso del suolo del bacino (p.e. [CAVALLI et al., 2013](#)). Infatti, soltanto le aree sorgenti connesse al reticolo sono rilevanti ai fini della valutazione dell'alimentazione solida di un tratto, e proprio la connettività durante l'evento diviene quindi un aspetto cruciale da quantificare. Questo metodo si presenta molto utile per comprendere e stimare la variazione del trasporto solido lungo il reticolo, anche se non permette di arrivare a stime quantitative di esse, e pertanto necessità di una fase di interpretazione dei risultati da parte di operatori esperti. Per applicare tale metodo è consigliato utilizzare modelli digitali del terreno (DTM) ad alta risoluzione (< 5m), derivati da rilievi LiDAR.

4. Metodo del bilancio di sedimenti

Volendo arrivare a quantificare in termini volumetrici il bilancio dei sedimenti trasportati al fondo, quantità necessaria per stimare profondità di incisione (bilancio negativo, ovvero capacità di trasporto maggiore rispetto all'apporto solido) o sedimentazione (bilancio positivo, ovvero apporto solido maggiore della capacità di trasporto) in un tratto è necessario stimare sia i metri cubi evacuabili dalla corrente (capacità di trasporto integrata lungo l'intero evento) che l'alimentazione solida in input al tratto (anch'essa integrata per tutto l'evento). Si ricorda che comunque la valutazione di tali profondità non è richiesta per l'applicazione del *CDE*, in quanto per questo è sufficiente determinare se ci si attende incisione o deposizione.

Esistono numerose formulazioni in letteratura che esprimono la capacità di trasporto per alvei naturali, e la gran parte è stata ricavata da sperimentazioni di laboratorio, previa analisi dimensionale del fenomeno ([Tabella A7.5](#)). È importante sottolineare come la pendenza e la tipologia di sedimento utilizzato nelle sperimentazioni siano i fattori chiave per la scelta delle equazioni più adeguate da applicare al caso in esame. I modelli numerici morfodinamici (sia 1D che 2D) implementano alcune di queste equazioni per trasferire lungo l'alveo il sedimento trasportato al fondo e simulare le variazioni di quota del fondo e di geometria delle sponde.

Anche se l'uso dei modelli numerici morfodinamici si sta diffondendo rapidamente, è bene ricordare come sia necessario fornire in input al modello la condizione al contorno relativamente alla portata solida proveniente da monte, così come tutte le altre derivanti dalle confluenze. Assumere che queste siano pari alla capacità di trasporto è la scelta più facile ma spesso non corretta (per sovrastima). L'aspetto critico per la stima del budget di sedimento durante l'evento di riferimento risiede proprio nella stima quantitativa dell'alimentazione solida dai versanti per processi colluviali (frane e colate) lungo i vari tratti del reticolo idrografico. A tal fine si possono utilizzare modelli su base GIS più o meno semplificati, passando da semplici regole concettuali - empiriche che trasferiscono verso valle un volume iniziale da ogni area sorgente, a modelli numerici che simulano sia il verificarsi dei fenomeni di dissesto che la propagazione verso il reticolo applicando le leggi fisiche che governano i processi. L'utilizzo di quest'ultimi modelli rimane tuttavia limitato dal grande numero di parametri necessari in input e dei quali non si hanno informazioni spazialmente distribuite, unitamente dai tempi di calcolo molto onerosi per una loro applicazione su bacini di grandi dimensioni.

Tabella A7.5 – Equazioni predittive per la capacità di trasporto al fondo in alvei ghiaiosi e ad alta pendenza.

AUTORI	EQUAZIONE	INTERVALLO DI PENDENZA ORIGINARIO	NOTE
<u>SCHOKLITSCH (1962)</u>	$q_s = 0.93 \cdot (q - q_c) \cdot S^{1.5}$	–	Applicata per $0.2\% < S < 20\%$ con buoni risultati in condizioni di piena di elevata magnitudo.
<u>MEYER-PETER MÜLLER (1948)</u> modificata da <u>WONG & PARKER (2006)</u>	$q_s^* = 3.97 \cdot (\theta - 0.049)^{1.5}$	$0.04\% < S < 2.3\%$	Utilizzabile anche in alvei a pendenza maggiore (fino a 5%) durante eventi di piena importanti. Tendenza a sovrastima per flussi con bassi sforzi al fondo.
<u>RICKENMANN (1990)</u>	$q_s = 5.8 \cdot (q - q_c) \cdot S^{2.0}$	$3\% < S < 20\%$	Tendenza a sovrastima in alvei a forte pendenza ($>5\%$) durante eventi di piena importanti.
<u>RICKENMANN (2001)</u>	$q_s = 1.5 \cdot (q - q_c) \cdot S^{1.5}$	$0.04\% < S < 20\%$	Tendenza a sovrastima in alvei a forte pendenza ($>5\%$) durante eventi di piena importanti.

NOTE (tratte da [BATHURST et al., 1987](#); [D'AGOSTINO & LENZI, 1999](#); [RICKENMANN, 2001](#); [RICKENMANN & KOSCHNI, 2010](#)): q_s : portata solida al fondo unitaria ($m^2 s^{-1}$); q : portata liquida unitaria ($m^2 s^{-1}$); q_c : portata liquida di moto incipiente ($m^2 s^{-1}$); S : pendenza media dell'alveo (m/m); q_s^* : portata solida al fondo unitaria adimensionale (-); θ : sforzo tangenziale al fondo adimensionale (-).

Per maggiori dettagli sui parametri adimensionali si vedano ad esempio i testi in italiano [ARMANINI \(1999\)](#) o [FERRO \(2006\)](#), oppure gli articoli (in lingua inglese) da cui le NOTE alla tabella sono tratte.

5. Metodo basato su evidenze storiche

Il metodo storico è da vedersi come integrazione ai metodi precedenti piuttosto che come il solo strumento da applicarsi. Richiede sostanzialmente la raccolta di tutte le informazioni disponibili (relazioni tecniche, articoli di giornale, articoli scientifici, fotografie, testimonianze dirette) atte a ricostruire la dinamica dell'alveo associate ai maggior eventi di piena avvenuti nel passato (ultimi 100-200 anni come descritto nel [CAPITOLO 8](#)) nel bacino in analisi. Spesso tali informazioni permettono di stabilire i tratti del reticolo idrografico che hanno subito forte incisione o sedimentazione, e possibilmente di stimarne l'entità seppure con approssimazione.

Chiaramente, vanno prese in considerazione le modifiche interne al bacino idrografico occorse successivamente agli eventi di piena passati, soprattutto in termini di invasi artificiali (che interrompono tutto il trasporto al fondo da monte) e di opere di difesa quali briglie di consolidamento e di trattenuta che possono aver notevolmente ridotto la quantità di sedimento ora trasportabile a valle durante un evento. Tuttavia, bisogna altresì stimare il grado di affidabilità di tali strutture prima di ritenerle capaci di svolgere efficacemente la loro funzione, come spiegato anche per la domanda su "Erodibilità fondo e sponde".

INDICATORI RELATIVI A CONOIDI E TRATTI NON CONFINATI

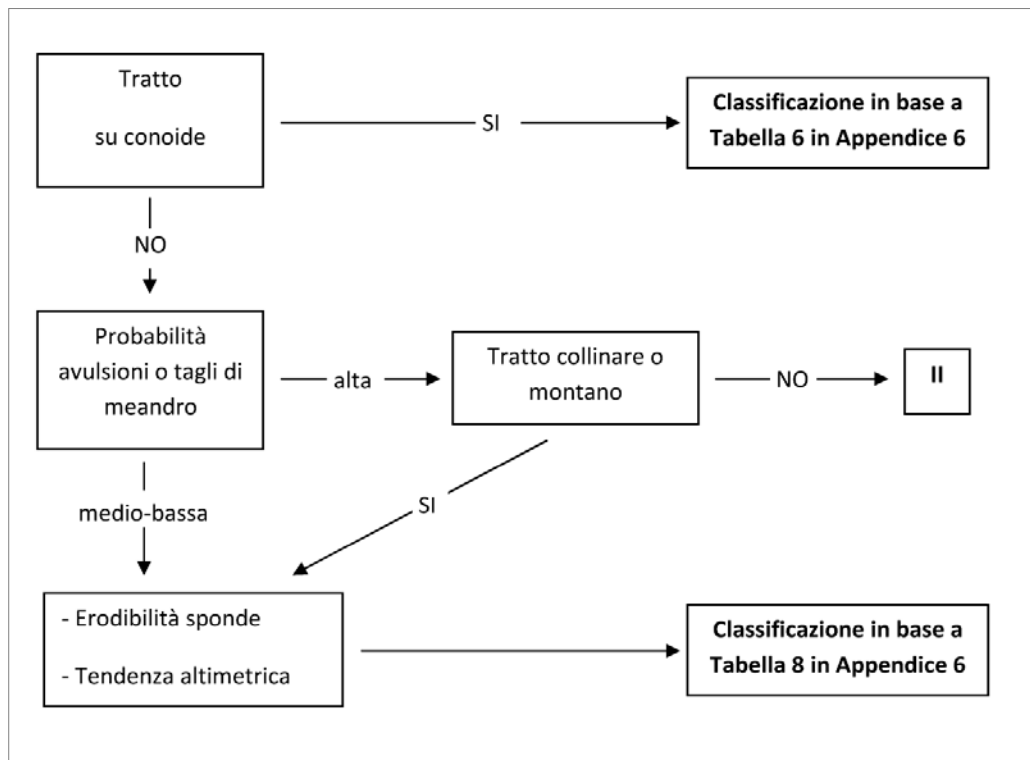


Figura A7.7 – Diagramma di flusso per la definizione dell'entità delle variazioni morfologiche in tratti non confinati.

Conoidi

Nell'ambito degli alvei non confinati si è ritenuto di trattare a parte i conoidi in quanto su queste forme di origine deposizionale si possono verificare condizioni di flusso più diversificate (da trasporto al fondo alle colate detritiche) rispetto alle altre situazioni di non confinamento. Per tale ragione i conoidi vengono esaminati in questa parte riguardante gli alvei non confinati, ma con una procedura specifica.

DESCRIZIONE

I conoidi sono caratterizzati da una condizione di non confinamento ed associati ad una varietà di tipologie di flusso (dal trasporto al fondo alla colata detritica). La loro formazione è associata inoltre a processi di avulsione, quindi, in assenza di interventi antropici sono soggetti a significative variazioni morfologiche. D'altra parte è frequente che i conoidi abbiano subito delle sistemazioni per controllare la loro attività, in quanto zone preferenziali per insediamenti antropici. È pertanto cruciale analizzare quanto gli interventi effettuati influiscano sulla dinamica del conoide.

Vanno esclusi dall'analisi i conoidi antichi, ossia quelle superfici morfologiche che possono essere considerate attualmente svincolate dalla dinamica attuale del corso d'acqua. Questa situazione generalmente si verifica quando il conoide ha subito un intenso processo di incisione (terrazzamento). Nel caso invece in cui il tratto si trovi su un conoide attivo, si utilizza la [Tabella A7.6](#) per la determinazione della classe. È opportuno precisare che in presenza di una o più superfici terrazzate presenti sul conoide è importante valutare, al di là dell'età delle superfici, se l'approfondimento è tale che anche durante un evento estremo non possa verificarsi un intenso fenomeno deposizionale tale da generare una riattivazione della superficie terrazzata.

COME RISPONDERE

Le classi di variazione morfologica su conoide sono sintetizzate in [Tabella A7.6](#).

La prima operazione da effettuare è definire la tipologia di flusso prevalente che caratterizza il conoide. Come illustrato per gli alvei confinati e semi-confinati, una metodologia relativamente speditiva è quella che mette in relazione la pendenza del conoide ed il numero di Melton del bacino con le diverse tipologie di flusso ([Figura A7.2](#) e [Figura A7.3](#)). Ulteriori approfondimenti sulla tipologia di flusso si possono ricavare da osservazioni sul terreno (morfologia e sedimentologia del conoide). Questa prima analisi consente di separare i conoidi caratterizzati solo da trasporto al fondo, a cui si associa al massimo una forte variazione morfologica (classe II), da quelli interessati anche da flussi a maggiore concentrazione solida (es. piene di detrito e colate detritiche/fangose), che possono produrre variazioni anche molto forti (I). Si veda a riguardo quanto riportato in merito alle “Tipologie di flusso” per i tratti confinati.

Il passo successivo è quello di valutare le opere presenti sul conoide (tipologia e stato), ed anche nei tratti più a monte, stabilendo quanto queste opere abbiano ridotto la possibilità che il conoide si riattivi. La riattivazione avviene soprattutto se lungo l'alveo avvengono fenomeni importanti di sedimentazione che determinano processi di avulsione. Un conoide da colata detritica sarà quindi associato a **forti (II), medie (III) o lievi (IV) variazioni morfologiche** a seconda che le opere, nel loro complesso, vengano valutate di bassa, media o alta efficacia. Se invece si ritiene che le opere non siano per nulla efficaci nel contrastare la dinamica del conoide, la variazione rimarrà molto forte (I).

Oltre a valutare l'efficacia delle opere, è importante considerare il grado di incisione dell'alveo, ossia il dislivello fra il fondo dell'alveo e la superficie del conoide. Una maggiore incisione diminuisce la probabilità che il conoide si riattivi per fenomeni di avulsione. D'altra parte è importante sottolineare che l'incisione è rilevante in presenza di trasporto al fondo, mentre assume meno rilevanza per flussi a maggiore concentrazione solida che possono determinare fenomeni più intensi di sedimentazione.

Tabella A7.6 – Variazioni morfologiche attese nel caso di tratti non confinati su conoide.

VARIAZIONI MORFOLOGICHE SU CONOIDE	CARATTERISTICHE
Molto forti (I) (variazioni associate ad avulsione)	Conoide da <i>trasporto transizionale o trasporto in massa</i> , in assenza di opere o con opere ritenute non efficaci
Forti (II) (variazioni associate ad avulsione o ad erosione laterale molto estesa)	• Conoide da <i>trasporto transizionale o trasporto in massa</i> con opere ritenute di bassa efficacia • Conoide da trasporto al fondo in assenza di opere o con opere ritenute non efficaci
Medie (III) (variazioni associate ad erosione laterale estesa)	• Conoide da <i>trasporto transizionale o trasporto in massa</i> con opere ritenute di media efficacia • Conoide da <i>trasporto al fondo</i> con opere ritenute di media efficacia tali da contrastare sia una possibile avulsione che l'erosione laterale • Conoide da <i>trasporto al fondo</i> con un grado significativo d'incisione dell'alveo ed opere di media efficacia nel contrastare l'erosione laterale
Lievi (IV) (variazioni associate ad erosione laterale localizzata)	• Conoide da <i>trasporto transizionale o trasporto in massa</i> con opere ritenute molto efficaci • Conoide da <i>trasporto al fondo</i> con opere ritenute di elevata efficacia tali da contrastare sia una possibile avulsione che l'erosione laterale • Conoide da <i>trasporto al fondo</i> con un grado significativo d'incisione dell'alveo ed opere di elevata efficacia nel contrastare l'erosione laterale

Avulsioni e tagli di meandro

DESCRIZIONE

Un'avulsione rappresenta lo spostamento di una parte dell'alveo, o dell'intero alveo, in una nuova porzione della pianura. Questa nuova porzione della pianura non viene quindi riattivata in seguito ad un processo progressivo di arretramento delle sponde, ma in seguito all'attivazione di un nuovo

canale/i che va quindi a formarsi in porzioni della pianura che possono essere anche a notevole distanza dalle sponde dell'alveo originario. Attraverso il processo di avulsione l'alveo va pertanto a rioccupare porzioni della pianura che il corso d'acqua stesso (o altri corsi d'acqua, nel caso di confluenze), aveva modellato (occupato) in passato. Nella scala temporale d'interesse le avulsioni possono verificarsi per diverse cause, ad esempio per fenomeni localizzati di deposizione o per la rottura di opere di difesa.

Il taglio di meandro, al pari dell'avulsione, rappresenta un fenomeno attraverso il quale un alveo di tipo meandriforme modifica in modo relativamente rapido, ossia a scala del singolo evento, la sua configurazione planimetrica, formando un nuovo alveo a bassa sinuosità e maggior pendenza, abbandonando in modo definitivo (o parziale) un meandro.

Entrambi questi fenomeni, avulsione e taglio di meandro, si possono verificare anche nel corso di eventi con magnitudo inferiore a quello dell'evento di riferimento. D'altra parte la loro probabilità di accadimento aumenta notevolmente nel corso di eventi estremi ad elevata magnitudo.

COME RISPONDERE

Nel valutare la probabilità che si verifichi un'avulsione o un taglio di meandro vengono distinte solo **due classi**, ossia una di **alta probabilità** che tali fenomeni si verifichino ed un'altra di **medio-bassa probabilità**.

Innanzitutto va considerata la tipologia d'alveo (*M1* in *IDM*), in quanto solo per alcune tipologie, ossia alvei a canali intrecciati, *wandering*, meandriformi e *anabranching*, questi fenomeni si verificano comunemente e la probabilità può potenzialmente essere alta. Per le altre tipologie, ossia alvei sinuosi a barre alternate, sinuosi (sia ad elevata che a bassa pendenza) e rettilinei (sia ad elevata che a bassa pendenza), si può assegnare una probabilità medio - bassa. Fatto questo primo passaggio è necessario considerare altri aspetti per confermare se per il primo gruppo di tipologie fenomeni di avulsione o tagli di meandro hanno effettivamente alta probabilità di verificarsi nel tratto in esame. Ugualmente, va verificato per l'altro gruppo di tipologie che non ci siano degli elementi che possano far aumentare la probabilità di questi fenomeni, da medio-bassa ad alta.

Per quanto riguarda le avulsioni, è necessario considerare (dagli indicatori *IDM*): la presenza di una pianura non difesa da opere (*A1*), le variazioni morfologiche (*V1*, *V2*, *V3*) e le tendenze evolutive in atto (*M5*, *M6*). Un elemento importante affinché sussista un'alta probabilità che si verifichi un'avulsione è la presenza di una pianura non difesa, o solo parzialmente difesa da opere (utilizzare *A1*). Altri aspetti che concorrono ad aumentare la probabilità di un fenomeno di avulsione sono le variazioni morfologiche (in particolare *V1* e *V2*) e la tendenza evolutiva recente. Le variazioni di larghezza (*V2*) sono importanti perché durante l'evento di riferimento l'alveo può rioccupare porzioni di pianura che nel recente passato erano parte dell'alveo. Altrettanto importanti sono le variazioni di configurazione morfologica (*V1*) perché durante l'evento l'alveo può riassumere la morfologia originaria, ad esempio un alveo sinuoso può riassumere una morfologia a canali intrecciati. È questo quindi il caso il cui da una prima valutazione di probabilità medio-bassa, sulla base della configurazione attuale, la probabilità può diventare alta. Per quanto riguarda l'evoluzione recente la probabilità di avulsione può essere invece aumentata da una recente fase di sedimentazione (*M6*). Per i tagli di meandri valgono considerazioni analoghe, ma in questi casi particolare attenzione va prestata ad eventuali opere di difesa presenti in corrispondenza della sponde che potrebbero essere coinvolte nel processo di taglio. La valutazione dell'efficacia e dello stato delle opere che potenzialmente possono impedire l'avulsione o il taglio di meandro è certamente un aspetto cruciale per il quale l'operatore può disporre di informazioni con diverso grado di accuratezza. In caso di informazioni estremamente lacunose il rilievo sul terreno deve consentire di esprimere la valutazione con un certo grado di confidenza.

Erodibilità delle sponde

DESCRIZIONE

Questo indicatore valuta la propensione dell'alveo, nel tratto in esame, a modificare lateralmente il suo contorno fisico e, soprattutto, l'entità del processo di arretramento. L'obiettivo è quello di definire se il tratto in esame può essere soggetto nel corso dell'evento di riferimento ad arretramenti delle sponde elevati (ossia dell'ordine di decine metri), medi o di bassa entità (al massimo di pochi metri). Vengono quindi definite 3 classi di erodibilità ([Tabella A7.7](#)): elevata, media, bassa.

COME RISPONDERE

Sempre facendo riferimento agli indicatori dell'*IDM*, gli aspetti più rilevanti per esprimere un giudizio sull'entità di erodibilità delle sponde sono la tipologia di sponda (*M2*), i tassi di arretramento (*M4*) e le difese di sponda (*A1*). Partendo dal materiale che costituisce le sponde (*M2*) è possibile individuare due macro-classi, ossia sponde più erodibili (sponde non coesive e composite) e meno erodibili (sponde coesive). La presenza di vegetazione assume un ruolo meno rilevante a differenza di quanto avviene nella valutazione dell'*IDM*. Il passo successivo è quello di considerare i tassi di arretramento (*M4*) che permettono di suddividere le precedenti due macro-classi in tre classi. In linea generale, a sponde non coesive (o composite) si associano tassi di arretramento elevati o non trascurabili, che, nel caso di un evento estremo, si traducono rispettivamente in classi di erodibilità alta e media. Le sponde coesive sono generalmente caratterizzate da bassi tassi di arretramento: l'erodibilità per l'evento estremo risulterà bassa quando i tassi di arretramento sono molto bassi (non quantificabili da foto aerea), mentre media quando ci sono comunque dei tassi di arretramento non trascurabili.

Nel caso i tassi di arretramento non possano essere stimati, per dimensioni ridotte dell'alveo, l'entità dell'arretramento può essere valutata facendo riferimento alla tipologia d'alveo (*M1*) o alla potenza unitaria della corrente. Per quanto riguarda la tipologia si possono utilizzare le seguenti associazioni: (i) alvei a canali intrecciati e *wandering* (alvei ad alta energia ed elevata mobilità laterale) elevati tassi di arretramento; (ii) alvei sinuosi o meandriformi con barre e sinuosi a barre alternate (alvei a media energia) tassi di arretramento non trascurabili; (iii) alvei sinuosi o rettilinei privi di barre (alvei a bassa energia): tassi di arretramento trascurabili. Il calcolo della potenza unitaria ("*unit stream power*") può essere un utile supporto per definire correttamente l'energia del tratto. L'ultimo passaggio per definire la classe di erodibilità consiste nell'analisi delle difese di sponda (*A1*). A differenza di quanto osservato e misurato per l'*IDM*, è necessario avere informazioni accurate sull'efficienza delle difese presenti (come sottolineato per "[Avulsioni e tagli di meandro](#)"). Un tratto potrà essere considerato con bassa erodibilità se completamente difeso da opere in buono stato (efficienti). Contrariamente, se alcune porzioni del tratto non sono difese o se le difese vengono valutate non efficienti, il tratto verrà classificato sulla base degli elementi considerati in precedenza (tipologia di sponda, tassi di arretramento, tipologia d'alveo, potenza della corrente).

Tabella A7.7 – Classi di erodibilità delle sponde in tratti non confinati. Le percentuali di lunghezza si intendono valutate su entrambe le sponde.

ERODIBILITÀ SPONDE	CARATTERISTICHE
Elevata	Presenza di sponde non coesive o composite caratterizzate da tassi di arretramento elevati per una lunghezza > 66% del tratto; nel tratto in esame le opere di difesa sono assenti o discontinue.
Media	Presenza di sponde, di qualsiasi tipologia, caratterizzate da tassi di arretramento non trascurabili per una lunghezza > 66% del tratto; nel tratto in esame le opere di difesa sono assenti o discontinue; presenza di sponde non coesive o composite caratterizzate da tassi di arretramento elevati per una lunghezza del tratto compresa tra il 10% ed il 66%.
Bassa	Presenza di sponde coesive caratterizzate da tassi di arretramento molto bassi e/o presenza di opere di difesa in gran parte del tratto (> 90% del tratto).

Tendenza altimetrica

DESCRIZIONE

Questo indicatore mira a valutare le variazioni altimetriche che si possono verificare nel corso dell'evento di riferimento. Mentre per i tratti confinati e semiconfinati si considerano soltanto i processi di deposizione ed incisione, per i tratti non confinati è opportuno considerare anche la possibilità che il tratto rimanga in equilibrio, intendendo per equilibrio modificazioni della quota media del fondo inferiori a 10-20 cm. Seppure questi valori di variazione non siano del tutto

trascurabili, in particolare se relativi ad alvei poco profondi, si ritiene possano essere presi come riferimento per valutare un'eventuale condizione di equilibrio in quanto (i) di modesta entità in relazione all'evento di riferimento e (ii) prossimi all'errore frequentemente associato al confronto di rilievi topografici (ad esempio tramite rilievi LiDAR).

Differentemente rispetto al caso dei confinati e semiconfinati, nel caso di fenomeni di deposizione o incisione è necessario definire, seppure con delle inevitabili approssimazioni, l'entità dei fenomeni. Facendo riferimento alla profondità media dell'alveo (P_{med} , per definizione e misura si veda il capitolo relativo al "Monitoraggio morfologico"), un fenomeno di deposizione o incisione viene considerato moderato se produce una variazione della profondità media inferiore al 25%, mentre intensa se tale variazione è pari o superiore al 25%. Quindi in un alveo poco profondo, ad esempio con $P_{med} = 1.6$ m, come può essere un alveo a canali intrecciati, il valore soglia tra variazione altimetrica moderata ed intensa sarebbe pari a 0.4 m, mentre in un alveo più profondo, ad esempio con $P_{med} = 4.0$ m (alveo a canale singolo sinuoso o meandriforme) la soglia risulterebbe pari ad 1.0 m.

Nel caso dei tratti non confinati la tendenza altimetrica viene pertanto distinta in **3 classi: equilibrio, moderata deposizione o incisione, intensa deposizione o incisione.**

COME RISPONDERE

La tendenza altimetrica viene valutata con gli approcci descritti per i tratti confinati e semi-confinati, ossia con uno o più dei seguenti metodi: i) metodo basato sulla tipologia geomorfologica; ii) metodo basato sulle variazioni della potenza della corrente; iii) metodo basato sulle variazioni della potenza della corrente e sulla connettività delle aree sorgenti di sedimento; iv) metodo del bilancio di sedimenti; v) metodo storico. Si rimanda pertanto alla domanda "Tendenza altimetrica" descritta per i tratti confinati e semi-confinati per una descrizione dettagliata dei metodi. L'impiego di più metodi è auspicabile perché si deve effettuare una valutazione più quantitativa rispetto ai tratti confinati e semi-confinati, al fine di classificare la tendenza altimetrica del tratto (equilibrio, moderata deposizione o incisione, intensa deposizione o incisione) con sufficiente affidabilità. Nel caso specifico dei tratti non confinati, pur rimanendo validi ed applicabili tutti e cinque i metodi sopra riportati, può risultare efficace, e non particolarmente oneroso, l'impiego congiunto del metodo basato sulle variazioni della potenza della corrente e di quello storico. Soprattutto per i tratti in ambito di pianura e per i corsi d'acqua di maggiori dimensioni in ambito collinare-montano, il metodo storico può fornire in molti casi informazioni utili per una quantificazione dei fenomeni (situazione meno frequente per corsi d'acqua confinati e di piccole dimensioni).

Gli indicatori dell'*IDM* vengono utilizzati in modo molto limitato per valutare la tendenza altimetrica, in quanto tale tendenza durante l'evento di riferimento può essere non coerente con le variazioni altimetriche sia sul lungo termine ($V3$) che sul breve termine ($M6$). Ad esempio un tratto che negli ultimi 10-15 anni è stato in equilibrio, o soggetto ad incisione, potrebbe essere interessato da fenomeni di deposizione durante un evento estremo. Ciò premesso, l'indicatore $M6$ può essere utilizzato a supporto per definire condizioni di equilibrio. In pratica un tratto classificato in equilibrio con i metodi sopra elencati è necessario che sia stato in equilibrio negli ultimi 10-15 anni ($M6$ in classe A). Se così non fosse, ossia condizione d'incisione o sedimentazione nel breve periodo ($M6$ in classe B o C), è cautelativo classificare il tratto in "moderata deposizione o incisione" anche se sulla base dei metodi utilizzati in precedenza (metodo basato sulle variazioni della potenza della corrente, metodo storico, ecc.) il tratto risulta in equilibrio.

Come indicato nel diagramma di flusso ([Figura A7.7](#)), la valutazione finale delle variazioni morfologiche nel tratto richiede un'analisi congiunta dell'erosibilità delle sponde e della tendenza altimetrica. La [Tabella A7.8](#) indica come incrociare le informazioni derivanti da questi due indicatori.

Tabella A7.8 – Classificazione delle variazioni morfologiche del tratto (IV Lievi; III Medie, II Forti, I Molto Forti) derivante dall’analisi congiunta dell’erodibilità delle sponde e della tendenza altimetrica nei tratti non confinati. *la classe di variazioni “molto forti” si applica solo agli alvei in ambito collinare o montano con pendenza > 1%.

		TENDENZA ALTIMETRICA		
		Deposizione/incisione INTENSA	Deposizione/incisione MODERATA	Equilibrio
ERODIBILITÀ SPONDE	ELEVATA	II/I*	II/I*	II
	MEDIA	II/I*	III	III
	BASSA	II	III	IV

Come evidenziato nella [Tabella A7.8](#), per gli alvei in ambito collinare o montano con pendenza > 1% (ma che non siano su conoide, altrimenti analizzati come da [Tabella A7.6](#)), si prevede che possano andare incontro a variazioni morfologiche “molto forti”. Infatti, in tali tratti si possono verificare variazioni molto significative (ad esempio allargamenti del 300-400% rispetto alla larghezza d’alveo originaria) in virtù di alcuni fattori. Un primo fattore rilevante è il fatto che tali alvei possono essere caratterizzati non solo da trasporto di fondo ma anche da trasporto di tipo transizionale, in particolare da *debris flood* (se le pendenze lo consentono, si veda quanto riportato per i tratti confinati e semi-confinati). Un secondo aspetto importante riguarda l’alimentazione solida che può essere molto elevata per l’apporto dagli affluenti e dai versanti, data l’ubicazione prossima alle aree sorgenti di sedimento di questi tratti a pendenza relativamente sostenuta in ambito collinare o montano.

FASE 2: VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI OCCLUSIONI

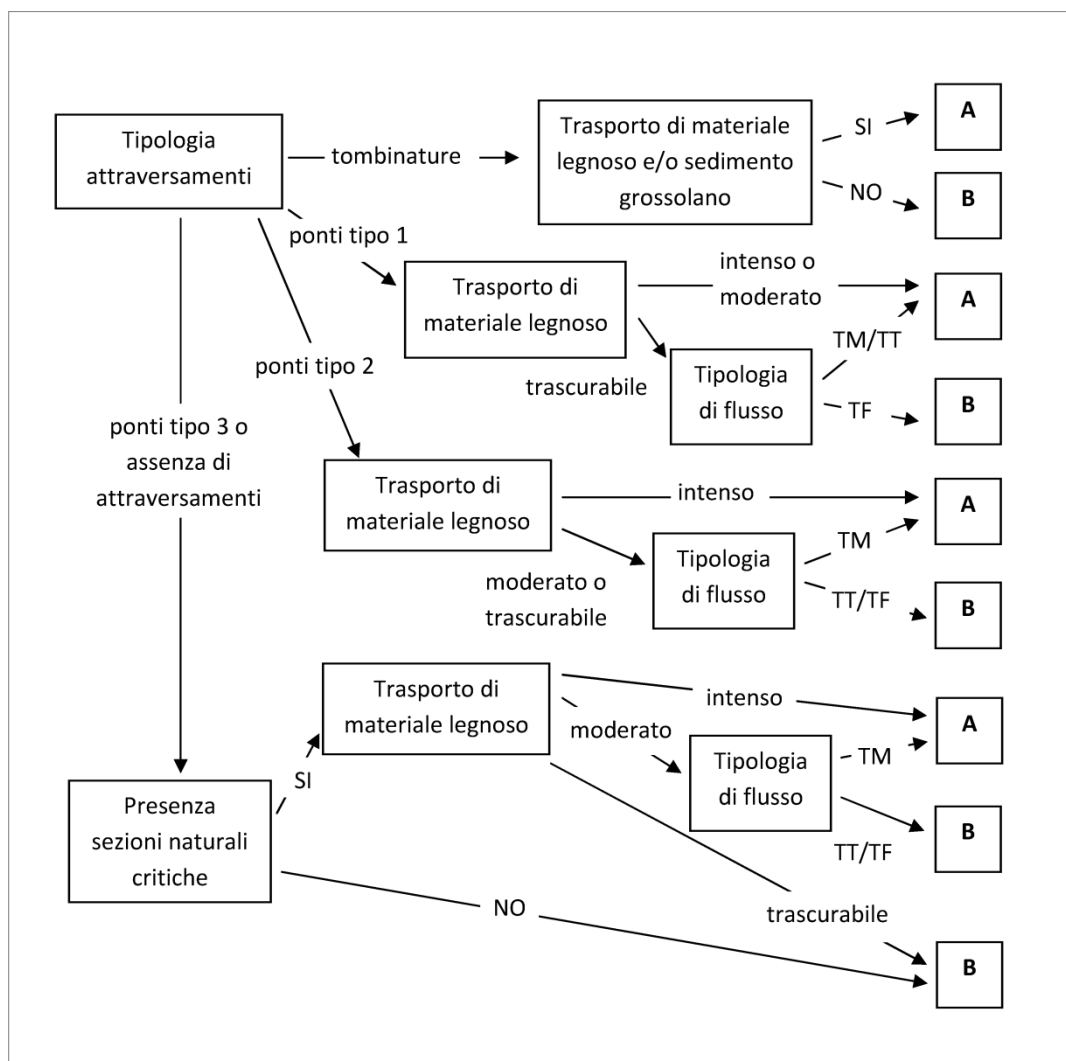


Figura A7.8 – Diagramma di flusso per la classificazione della probabilità di occlusioni.

Presenza e tipologia di attraversamenti

DESCRIZIONE

Gli attraversamenti dei corsi d'acqua (tramite infrastrutture stradali e ferroviarie quali ponti e tombinature) rappresentano molto spesso i punti di maggior criticità idraulica durante eventi di piena e di colata detritica. Questo perché il loro dimensionamento generalmente non tiene conto adeguatamente della fase solida (sedimento e materiale legnoso) oltre che di quella liquida. Spesso infatti ponti che teoricamente sono capaci di far transitare la portata con $TR = 100$ anni risultano non sufficienti in occasione di tali eventi per via del materiale fluitato che va ad interagire con pile, spalle ed impalcato del ponte, ostruendo parzialmente o totalmente la sezione di deflusso. Ancora più critiche risultano essere le tombinature, dove anche soltanto la presenza di sedimento grossolano trasportato al fondo può arrivare a determinare occlusioni con conseguenze spesso molto gravi.

Queste occlusioni tipicamente comportano rapidi fenomeni di rigurgito e deposizione di sedimento con conseguente inondazione indotta (nel senso che questa non si sarebbe verificata in loro assenza), probabili erosioni di sponda, fino ad arrivare a fenomeni di avulsione vera e propria. È quindi assolutamente necessario individuare questi attraversamenti potenzialmente critici.

COME RISPONDERE

L'operatore dovrà classificare gli attraversamenti nelle seguenti **4 tipologie** ([Figura A7.9](#)):

- **Tombinature** (di qualsiasi forma e dimensione); questo è l'unico caso di attraversamenti dove oltre al materiale fluitato si richiede di valutare se l'occlusione possa attendersi anche per intensità e dimensioni del trasporto di sedimento, indipendentemente dal tipo di flusso ([Figura A7.10](#));
- **Ponti tipo 1:** sono i ponti con maggiore probabilità di occlusione totale o comunque idraulicamente rilevante, ovvero quelli (con pile in alveo od a campata unica) aventi ampiezza delle luci sicuramente minore della lunghezza massima attesa del materiale fluitato, ed un'altezza dell'impalcato minore del tirante previsto per l'evento di riferimento ([Figura A7.11](#)), tenendo in considerazione anche le variazioni di quota dell'alveo stimate per l'evento (soprattutto nel caso di tratti valutati a rischio deposizione). Questi ponti vengono probabilmente occlusi con trasporto di materiale legnoso intenso o moderato a prescindere dalla tipologia di flusso (trasporto al fondo, transizionale o in massa), oppure anche con trascurabile trasporto di legno ma in presenza di flussi molto caotici quali colate o piene di detrito;
- **Ponti tipo 2:** sono i ponti che presentano delle caratteristiche di maggior permeabilità al materiale fluitato rispetto a quelli del tipo 1, ma che comunque rendono probabile una loro occlusione idraulicamente rilevante in occasione di trasporto intenso di materiale legnoso. Sono quelli (con pile in alveo od a campata unica) aventi luci di ampiezza paragonabile od anche lievemente superiore alla lunghezza massima attesa del materiale fluitato, ma con l'altezza dell'impalcato inferiore al livello di piena, tenuto conto anche della protrusione probabile di rami e radici e delle variazioni di quota dell'alveo; oppure sono ponti di altezza maggiore rispetto al tirante di piena atteso, ma con luci di ampiezza inferiore alla lunghezza massima attesa per i tronchi ([Figura A7.12](#));
- **Ponti tipo 3:** sono i ponti (generalmente a campata unica) dove ostruzioni rilevanti hanno una probabilità molto bassa di verificarsi, in quanto l'ampiezza della luce è decisamente maggiore rispetto alla lunghezza massima del materiale fluitato e l'altezza dell'impalcato è sicuramente maggiore del livello di piena considerando anche la possibile protrusione di radici e rami del materiale legnoso trasportato ([Figura A7.13](#)).

Per determinare la lunghezza massima attesa del materiale fluitato, l'operatore deve individuare quali sono le probabili aree sorgenti del materiale legnoso durante l'evento di riferimento, e su queste valutare/stimare l'altezza "dominante" (ovvero l'altezza media delle piante più alte formanti lo strato superiore della copertura forestale), e non l'altezza dell'unica pianta più alta, che avrebbe poco significato statistico. Negli alvei confinati, le aree sorgenti di materiale legnoso sono primariamente i versanti instabili, che possono essere individuati come descritto in merito alla "Instabilità dei versanti e degli affluenti". Per gli alvei non confinati le aree sorgenti sono rappresentate dalle sponde, dalle isole e dalla fascia perifluviale che possono essere erosi durante l'evento, mentre per gli alvei semiconfinati entrambe le tipologie di aree sorgenti sono rilevanti ([COMITI et al., 2012](#)). Tuttavia, il materiale legnoso che può arrivare ad occludere una certa sezione fluviale non è solo quello eroso nel tratto immediatamente a monte, bensì potrebbe derivare da tratti anche molto distanti se non vi fossero degli ostacoli al suo trasporto (p.e. dighe, traverse, briglie di trattenuta, occlusioni presso ponti). Si tratta quindi di valutare la connettività del trasporto in fluitazione, similmente a quanto descritto per il trasporto di sedimento (si veda [CAPITOLO 5](#)). A tal fine, si può adottare un approccio qualitativo basato sulla presenza e localizzazione degli elementi che possono rappresentare un ostacolo al trasporto, oppure metodologie più quantitative come, ad esempio, quella recentemente sviluppata su base GIS da [LUCÍA et al. \(2014\)](#).

In **assenza di attraversamenti**, non è da escludersi la formazione di occlusioni ad opera del materiale legnoso. Queste si potrebbero formare nel caso in cui l'alveo presenti dei locali restringimenti di sezione ("**sezioni critiche**") capaci per dimensione (larghezza inferiore o paragonabile alla lunghezza massima attesa delle piante), resistenza (affioramenti rocciosi o grandi massi) e conformazione (altezza dei restringimenti superiore al livello di piena considerato) di bloccare i tronchi di maggiore dimensione nel caso di trasporto in fluitazione intenso.

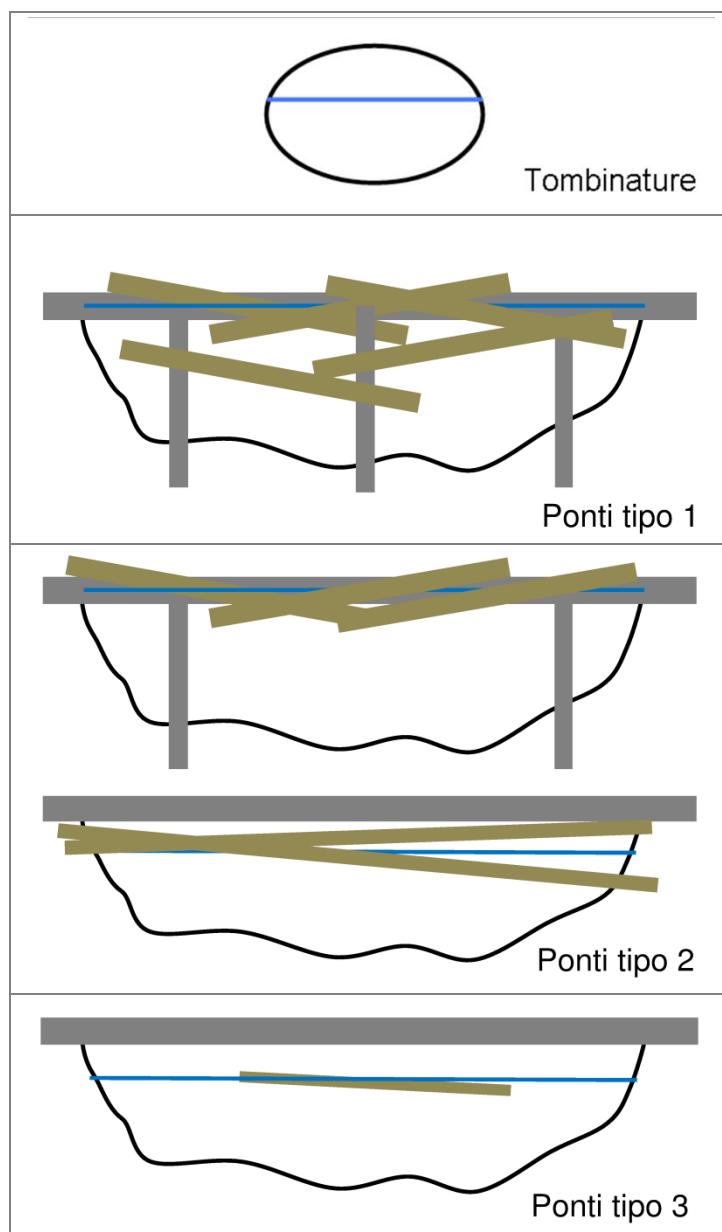


Figura A7.9 – Le quattro tipologie di attraversamento. I ponti del tipo 1 possono anche essere a campata unica se le dimensioni della luce sono entrambe (larghezza ed altezza) relativamente ridotte.



Figura A7.10 – Tombinatura occlusa da trasporto di sedimento (colata detritica) con conseguente avulsione.



Figura A7.11 – Ponti del tipo 1: a sinistra, ad arcate con una pila in alveo. Sulle sponde si vede il materiale legnoso che lo aveva ostruito completamente; a destra, a campata unica, con sia altezza che larghezza insufficienti.



Figura A7.12 – Ponti del tipo 2: a sinistra, con pile in alveo, di sufficiente ampiezza per non causare ostruzioni nel caso di trasporto di legno non intenso (immagine tratta da <http://tribunatreviso.gelocal.it>); a destra, a campata unica con impalcato di altezza teoricamente sufficiente ma con luce di ampiezza troppo ridotta con trasporto intenso di materiale legnoso (si ringrazia per foto la Provincia di La Spezia).



Figura A7.13 – Ponte del tipo 3 (Ponte della Vittoria, F. Piave presso Belluno).

Trasporto di materiale legnoso

DESCRIZIONE

Il ruolo del trasporto per fluitazione del materiale legnoso di grandi dimensioni (*large wood*, *LW* in terminologia anglosassone) sulla dinamica degli eventi di piena è stato fino a tempi recenti decisamente trascurato, ancor più del sedimento. In particolare, finora esso non è entrato nei procedimenti per la mappatura della pericolosità idraulica e nella progettazione degli attraversamenti, se non in sporadici casi. Ciò è avvenuto nonostante fosse evidente quanto il materiale legnoso possa rappresentare un fattore di grande importanza nel generare occlusioni delle sezioni, soprattutto in corrispondenza di attraversamenti e di opere trasversali.

Sicuramente uno dei motivi che ha portato a questa omissione è la grande difficoltà a prevedere i flussi di *LW* durante eventi di piena, soprattutto in alvei confinati. Infatti il materiale legnoso viene trasportato in maniera significativa soltanto durante eventi importanti (con $TR > 10-50$ anni) nella maggior parte dei corsi d'acqua montani. Questo deriva dal fatto che il trasporto di materiale legnoso è spesso limitato dalla scarsità di alimentazione (*supply-limited conditions*). Ciò avviene negli alvei con larghezze e profondità tali da poter trasferire verso valle il materiale anche con portate relativamente contenute, oppure ai tratti di testata del reticolo dove la quantità di materiale legnoso reclutata dai versanti diviene minore (per via di altitudine e condizioni geomorfologiche) rispetto alla capacità di trasferimento verso valle ad opera di processi di trasporto in massa (colate detritiche). Ciò rende scarsa la quantità di materiale legnoso disponibile mediamente in questi alvei, a cui vanno aggiunti gli interventi di rimozione condotti dagli Enti preposti ([RIGON et al., 2009](#), [RIGON et al., 2012](#)). Diversamente, i tratti con sezioni “strette” e non soggetti a colate detritiche, oppure i tratti molto larghi con profondità di flusso limitate presentano spesso condizioni di trasporto di legno limitato dalla “capacità di trasporto”, intesa qui come portate in grado di “rompere” i vincoli laterali (od i tronchi stessi, nel primo caso, con portate molto elevate e quindi poco frequenti, $TR > 30-50$ anni od anche più) o di superare la soglia di galleggiamento dei tronchi depositati di norma sopra le barre più alte (nel secondo caso, con portate di piena poco più che ordinaria, $TR > 3-5$ anni).

COME RISPONDERE

Per i motivi sopra descritti, la previsione in termini quantitativi sia dei volumi che delle “portate” di materiale legnoso fluitato in un certo tratto risulta affetta da incertezze di gran lunga maggiori rispetto ai flussi di sedimento. Come già sopra menzionato, la quantità attesa di trasporto di materiale legnoso in una certa sezione di un corso d'acqua dipende dalle aree sorgenti attivate dall'evento e dalla connettività del trasporto lungo il reticolo idrografico ([COMITI et al., 2012](#)).

Ai fini della determinazione del *CDE* si richiede quindi soltanto di classificare l'entità del trasporto di materiale legnoso in 3 gradi secondo le indicazioni presentate in [Tabella A7.9](#). Le **tre classi** in tabella (**intenso**, **moderato**, **trascurabile**) intendono raggruppare il trasporto di materiale legnoso non tanto per livelli di portata ma primariamente per le caratteristiche del moto del legname unitamente alle condizioni idrodinamiche della corrente, fattori che governano la probabilità che si formino accumuli presso sezioni critiche. Riguardo alla modalità di trasporto, viene utilizzata la terminologia descritta in [BRAUDICK et al. \(1997\)](#). In particolare, il moto congestionato ([Figura A7.14](#)) si ha quando gli elementi legnosi sono in stretto contatto tra loro, formando uno strato superficiale – anche discontinuo – che si muove quasi come un corpo unico galleggiante, e questo avviene quando la portata “legnosa” è relativamente alta (elevata frazione della superficie libera occupata dai tronchi). Nel moto semi-congestionato, gli elementi legnosi si muovono verso valle con frequenti contatti reciproci che ne condizionano fortemente le traiettorie, ma senza formare “zattere” come nel caso precedente. Infine il moto non congestionato avviene quando i singoli elementi legnosi si influenzano solo marginalmente tra di loro, in quanto la portata di legno è relativamente bassa. Per quanto riguarda il regime della corrente, una condizione di flusso prossima allo stato critico o addirittura lievemente supercritica (numero di Froude $> 0.9-1$) tipica di tratti a pendenza elevata (generalmente $> 1-3\%$) durante eventi di piena eccezionale, determina a parità di portata di legno e di tipologia di moto dei tronchi maggiori probabilità che questi vadano ad incastrarsi su ostruzioni naturali (sezioni strette) od artificiali (attraversamenti, si veda [D'AGOSTINO et al., 2000](#)).



Figura A7.14 – Esempio di moto congestionato di materiale legnoso.

Tabella A7.9 – Classi di intensità di trasporto del materiale legnoso.

LIVELLO	DESCRIZIONE	CARATTERISTICHE DEL TRATTO
Intenso	- Moto congestionato o semi-congestionato dei tronchi a velocità relativamente elevate (regime della corrente da critico a supercritico)	- Grande disponibilità di legno nel tratto o dai tratti immediatamente a monte per processi di frana e/o colata; - Pendenza elevata del tratto (>1-3%)
Moderato	- Moto congestionato dei tronchi ma a velocità relativamente moderate (regime subcritico della corrente); - Moto semi-congestionato; - Moto non congestionato ma di lunga durata/di rilevante volume complessivo	- Rilevante disponibilità di legno nel tratto o dai tratti immediatamente a monte derivanti da processi di erosione spondali (piana, terrazzi e/o isole) oppure da locali instabilità di versante
Trascurabile	- Moto non congestionato (i singoli elementi legnosi si muovono senza interferire tra loro) e di breve durata (basso volume complessivo)	- Limitata disponibilità di legno nel tratto o dai tratti immediatamente a monte, per mancanza di copertura arborea significativa o per alta stabilità delle sponde e dei versanti - Presenza di opere di trattenuta del legname subito a monte del tratto

Infine, come si vede dal diagramma in [Figura A7.8](#), è richiesto per alcuni casi di valutare successivamente la tipologia di flusso (come descritto in dettaglio nell'indicatore omonimo), in quanto i tronchi trasportati all'interno di colate o piene di detrito sono caratterizzati da maggior caoticità nel loro orientamento rispetto alla corrente, la quale aumenta la probabilità di occlusioni.

**APPENDICE 8: SCHEDA di valutazione *CDE* per alvei CONFINATI
e SEMICONFINATI**

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA DINAMICA DI EVENTO ALVEI CONFINATI E SEMICONFINATI

Versione 1 - Maggio 2014

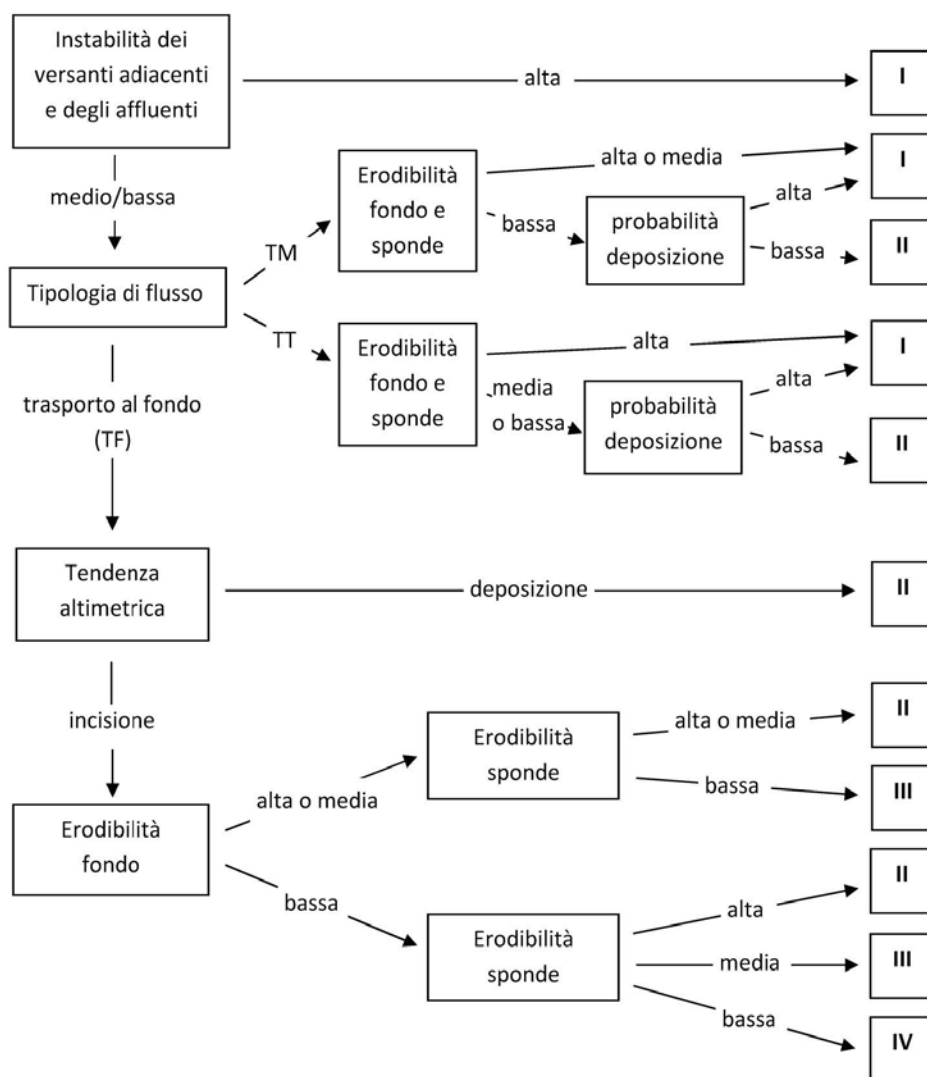
GENERALITA'

Data _____ Operatori _____
 Bacino _____ Corso d'acqua _____
 Estremità monte _____ Estremità valle _____
 Codice Segmento _____ Codice Tratto _____ Lunghezza tratto (m) _____

AMBITO FISIOGRAFICO E CONFINAMENTO

Ambito fisiografico _____ M= Montano, C= Collinare, P= Pianura
 Confinamento _____ C= Confinato, SC=Semiconfinato

FASE 1: VARIAZIONI MORFOLOGICHE



Instabilità dei versanti adiacenti e degli affluenti

- ☐ *Alta* Probabilità alta di dissesti o apporti notevoli di sedimento dagli affluenti
☐ *Medio/Bassa* Probabilità medio/bassa di dissesti o apporti notevoli di sedimento dagli affluenti

Tipologia di flusso

- ☐ *TF* Trasporto al fondo (*bedload*)
☐ *TT* Trasporto transizionale: piena di detrito (*debris floods*) o flusso iperconcentrato (*hyperconcentrated flow*)
☐ *TM* Trasporto in massa: colate di fango (*mud flows*) o colate detritiche (*debris flow*)

Erodibilità del fondo e delle sponde

		Erodibilità sponde		
		Alta	Media	Bassa
Erodibilità fondo	Alta	Alta	Alta	Alta
	Media	Alta	Media	Media
	Bassa	Alta	Media	Bassa

Erodibilità del fondo

- ☐ *Alta* Alveo alluvionale prevalentemente erodibile ($\geq 66\%$ lunghezza tratto)
☐ *Media* Alveo alluvionale parzialmente erodibile ($10+66\%$ lunghezza tratto)
☐ *Bassa* Alveo in roccia o semi-alluvionale (porzioni erodibili $<10\%$ lunghezza tratto)

Erodibilità delle sponde

- ☐ *Alta* Sponde prevalentemente erodibili ($\geq 66\%$ lunghezza tratto)
☐ *Media* Sponde parzialmente erodibili ($10+66\%$ lunghezza tratto)
☐ *Bassa* Limitata presenza di sponde erodibili ($<10\%$ lunghezza tratto)

Probabilità di deposizione

- ☐ **Alta** Probabilità alta di deposizione causata da processi di trasporto in massa o transizionale da monte
☐ **Bassa** Probabilità bassa di deposizione causata da processi di trasporto in massa o transizionale da monte

Si applica solo ai casi di Trasporto in massa (TM) o transizionale (TT)

Tendenza altimetrica

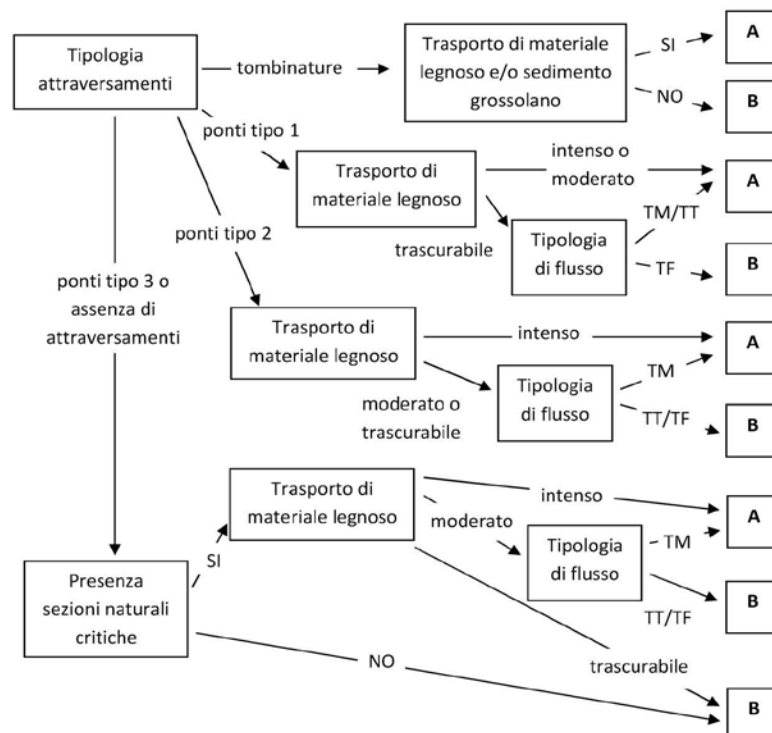
- ☐ **Deposizione** Capacità di trasporto inferiore alla quantità di sedimento trasportato al fondo
☐ **Incisione** Capacità di trasporto superiore alla quantità di sedimento trasportato al fondo

Si applica solo al caso di trasporto al fondo (TF)

Classe di variazioni morfologiche

- ☐ **Molto Forti (I)** ☐ **Forti (II)** ☐ **Medie (III)** ☐ **Lievi (IV)**

FASE 2: PROBABILITA' DI OCCLUSIONI



Presenza e tipologia di attraversamenti

- ☐ *Tombinature*
- ☐ *Ponti di tipo 1* Ampiezza luci $< L$ materiale fluitato e altezza $<$ tirante evento
- ☐ *Ponti di tipo 2* Ampiezza luci $\geq L$ materiale fluitato o campata ma altezza $<$ tirante evento oppure altezza $>$ tirante evento ma ampiezza luci $< L$ materiale fluitato
- ☐ *Ponti di tipo 3* Ampiezza luci $> L$ materiale fluitato e altezza $>$ tirante evento
- ☐ *Assenza*

Trasporto di materiale legnoso

- ☐ *Intenso* Moto congestionato o semi-congestionato a velocità elevate; grande disponibilità LW e pendenza elevata ($>1\%$)
- ☐ *Moderato* Moto congestionato o semi-congestionato a velocità moderate o non congestionato di lunga durata; rilevante disponibilità LW
- ☐ *Trascurabile* Moto non congestionato e di breve durata; limitata disponibilità LW e/o presenza opere trattenute legname immediatamente a monte

Classe di probabilità di occlusione

☐ *Alta (A)* ☐ *Bassa (B)*

CLASSIFICAZIONE DELLA DINAMICA DI EVENTO

		Probabilità occlusioni	
		Alta (A)	Bassa (B)
Entità variazioni morfologiche	Molto forti (I)	Molto elevata	Molto elevata
	Forti (II)	Molto elevata	Elevata
	Medie (III)	Elevata	Intermedia
	Lievi (IV)	Intermedia	Bassa

Classe di Dinamica di Evento

- ☐ *Molto elevata*
- ☐ *Elevata*
- ☐ *Intermedia*
- ☐ *Bassa*

**APPENDICE 9: SCHEDA di valutazione *CDE* per CONOIDI e alvei
NON CONFINATI**

SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA DINAMICA DI EVENTO CONOIDI E ALVEI NON CONFINATI

Versione 1 - Maggio 2014

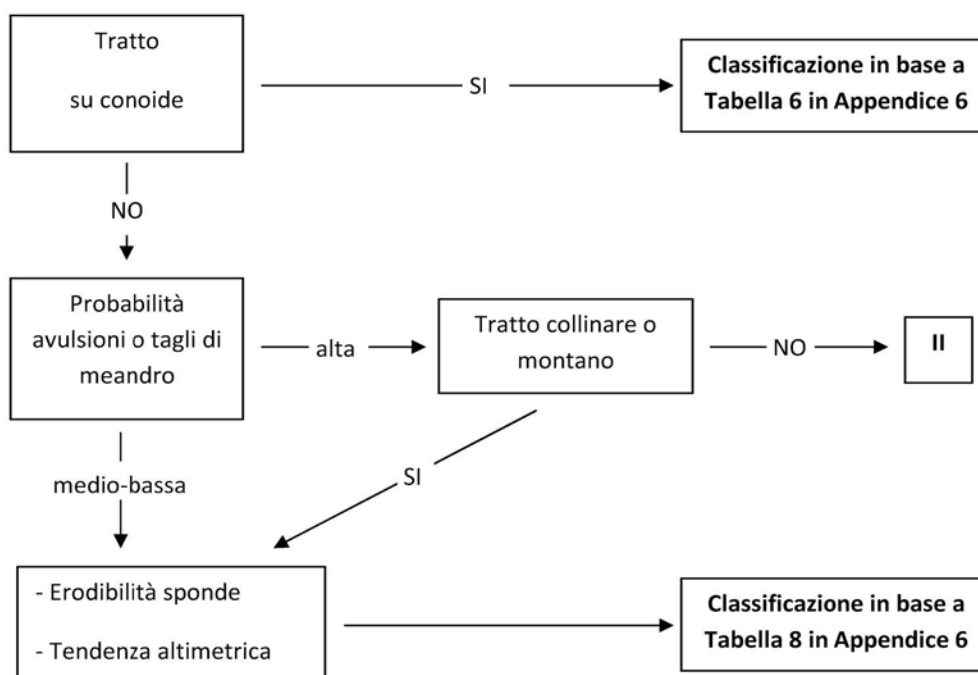
GENERALITA'

Data _____ Operatori _____
 Bacino _____ Corso d'acqua _____
 Estremità monte _____ Estremità valle _____
 Codice Segmento _____ Codice Tratto _____ Lunghezza tratto (m) _____

AMBITO FISIOGRAFICO

Ambito fisiografico _____ M= Montano, C= Collinare, P= Pianura

FASE 1: VARIAZIONI MORFOLOGICHE



Conoidi

Classe di variazioni morfologiche

- | | |
|--|--|
| ☐ Molto forti (I) | Conoide da trasporto transizionale (TT) o in massa (TM) con opere assenti o non efficaci |
| ☐ Forti (II) | Conoide da TT o TM con opere di bassa efficacia oppure conoide da trasporto al fondo (TF) con opere assenti o non efficaci |
| ☐ Medie (III) | Conoide da TT, TM o TF e opere di media efficacia |
| ☐ Lievi (IV) | Conoide da TT, TM o TF e opere di alta efficacia |

Avulsioni e tagli di meandro

- ☐ *Alta probabilità* Morfologie: a canali intrecciati, *wandering*, meandriformi o *anabranching*, pianura non difesa o parzialmente difesa
- ☐ *Medio-bassa probabilità* Morfologie: sinuosi, sinuosi a barre alternate, rettilinei oppure precedenti morfologie ma pianura difesa

Erodibilità delle sponde

- ☐ *Elevata* Sponde non coesive o composite con tassi di arretramento elevati per >66% lunghezza tratto con opere assenti o discontinue
- ☐ *Media* Sponde non coesive o composite con tassi di arretramento elevati per 10+66% lunghezza tratto oppure sponde di qualsiasi tipologia con tassi di arretramento non trascurabili per >66% tratto e con opere assenti o discontinue
- ☐ *Bassa* Sponde coesive con tassi di arretramento molto bassi e/o opere in gran parte del tratto (>90%)

Tendenza altimetrica

- ☐ *Equilibrio* Modificazioni quota media fondo < 10+20 cm
- ☐ *Moderata deposizione o incisione* Modificazioni quota media fondo <25% profondità media sezione (*Pmed*)
- ☐ *Intensa deposizione o incisione* Modificazioni quota media fondo >25% profondità media sezione (*Pmed*)

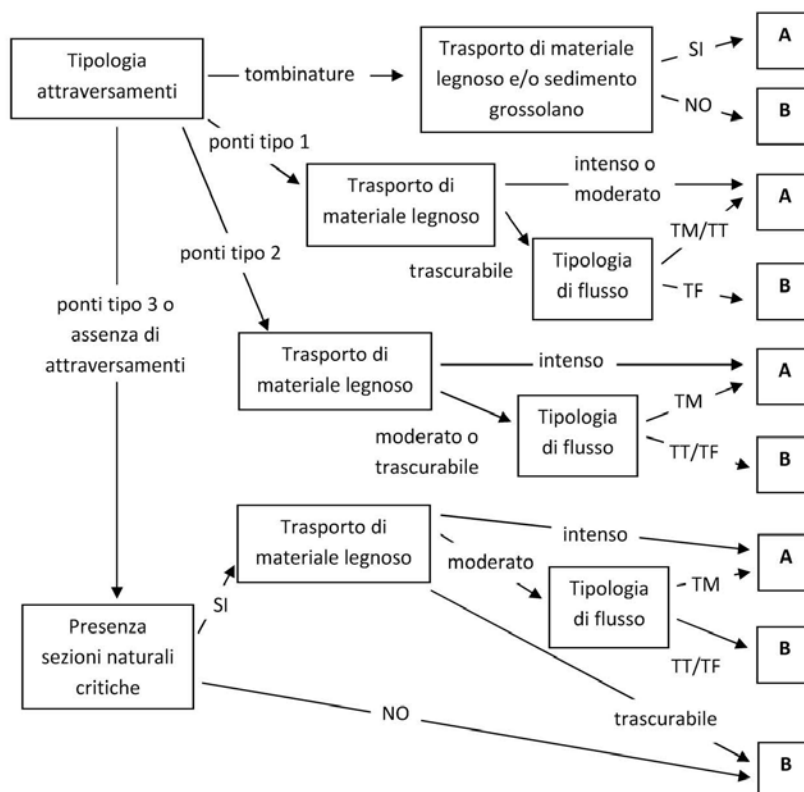
		Tendenza altimetrica		
		Deposizione/incisione intensa	Deposizione/incisione moderata	Equilibrio
Erodibilità sponde	Elevata	II/I*	II/I*	II
	Media	II/I*	III	III
	Bassa	II	III	IV

* la classe di variazioni "molto forti" (I) si applica solo agli alvei in ambito collinare o montano con pendenza >1%

Classe di variazioni morfologiche

- ☐ *Molto Forti (I)* ☐ *Forti (II)* ☐ *Medie (III)* ☐ *Lievi (IV)*

FASE 2: PROBABILITA' DI OCCLUSIONI



Presenza e tipologia di attraversamenti

- ☐ *Tombinature*
- ☐ *Ponti di tipo 1* Ampiezza luci < L materiale fluitato e altezza < tirante evento
- ☐ *Ponti di tipo 2* Ampiezza luci ≥ L materiale fluitato o campata ma altezza < tirante evento oppure altezza > tirante evento ma ampiezza luci < L materiale fluitato
- ☐ *Ponti di tipo 3* Ampiezza luci > L materiale fluitato e altezza > tirante evento
- ☐ *Assenza*

Trasporto di materiale legnoso

- ☐ *Intenso* Moto congestionato o semi-congestionato a velocità elevate; grande disponibilità LW e pendenza elevata (>1%)
- ☐ *Moderato* Moto congestionato o semi-congestionato a velocità moderate o non congestionato di lunga durata; rilevante disponibilità LW
- ☐ *Trascurabile* Moto non congestionato e di breve durata; limitata disponibilità LW e/o presenza opere trattenute legname immediatamente a monte

Classe di probabilità di occlusione

- ☐ *Alta (A)* ☐ *Bassa (B)*

CLASSIFICAZIONE DELLA DINAMICA DI EVENTO

		Probabilità occlusioni	
		Alta (A)	Bassa (B)
Entità variazioni morfologiche	Molto forti (I)	Molto elevata	Molto elevata
	Forti (II)	Molto elevata	Elevata
	Medie (III)	Elevata	Intermedia
	Lievi (IV)	Intermedia	Bassa

Classe di Dinamica di Evento

- ☐ *Molto elevata*
- ☐ *Elevata*
- ☐ *Intermedia*
- ☐ *Bassa*

