



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Sistema di Valutazione Morfologica dei corsi d'acqua

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

Versione 0

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

Roma, 11 marzo 2010



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

*Sistema di Valutazione Morfologica
dei corsi d'acqua*

**MANUALE TECNICO – OPERATIVO
PER LA VALUTAZIONE ED IL
MONITORAGGIO DELLO STATO
MORFOLOGICO DEI CORSI D'ACQUA**

Versione 0

Marzo 2010

Massimo RINALDI, Nicola SURIAN,
Francesco COMITI, Martina BUSSETTINI

INFORMAZIONI LEGALI

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo manuale. La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, ha istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

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

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

ISPRA – Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale

Via Vitaliano Brancati, 48

00144 Roma

www.isprambiente.it

© ISPRA 2010

ISBN: 978-88-448-0438-1

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

ISPRA

Marzo 2010

Citare questo documento come segue:

Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. 2010, Sistema di Valutazione Morfologica dei corsi d'acqua - MANUALE TECNICO – OPERATIVO PER LA VALUTAZIONE ED IL MONITORAGGIO DELLO STATO MORFOLOGICO DEI CORSI D'ACQUA- Versione 0, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma

INDICE

Premessa	1
Capitolo 1 - Inquadramento del problema	2
Capitolo 2 - Concetti di base di Geomorfologia Fluviale	8
2.1 Il sistema fluviale e la connettività dei processi	8
2.2 Le scale spaziali	11
2.3 Gli alvei delle zone collinari e montane	13
2.4 Gli alvei alluvionali di pianura	15
2.5 Trasporto solido e sedimenti del fondo	21
2.6 Le portate formative	23
2.7 Mobilità laterale ed erosione delle sponde	25
2.8 La vegetazione ed i processi fluviali	27
2.9 Variazioni morfologiche degli alvei fluviali	29
2.10 Attuali conoscenze sui corsi d'acqua italiani	33
Capitolo 3 - Struttura metodologica	36
3.1 Concetto di stato di riferimento	36
3.2 Metodologie di analisi	38
3.3 Scale spaziali e temporali	39
3.4 Aspetti trattati e suddivisione in fasi	42
Capitolo 4 – Inquadramento e classificazione iniziale	47
4.1 Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche	47
4.2 Definizione del grado di confinamento	52
4.3 Definizione della morfologia dell'alveo	54
4.4 Definizione dei tratti	73
4.5 Considerazioni finali sull'applicazione della Fase 1 ai fini della WFD	76
Capitolo 5 – Valutazione dello stato attuale	78
5.1 Classificazione dello stato morfologico attuale	78
5.2 Compilazione delle schede	81
Schede di valutazione per alvei confinati	82
Schede di valutazione per alvei semi- non confinati	86
Guida alle risposte	91
5.5 Attribuzione dei punteggi e sintesi delle informazioni	121
5.6 Esempio di applicazione	124
5.7 Fase di test	130
Capitolo 6 – Monitoraggio morfologico	141
6.1 Tipi di monitoraggio morfologico	141
6.2 Monitoraggio strumentale	142
6.3 Ulteriori elementi per l'analisi ed il monitoraggio	174
6.4 Schede di monitoraggio	175
Bibliografia	183

PREMESSA

Nel mese di Gennaio 2009 ha preso avvio un progetto di ricerca finalizzato alla **definizione di una metodologia operativa di indagine e classificazione idromorfologica**. Tale studio è scaturito dall'esigenza di definire procedure e metodi per la classificazione ed il monitoraggio idromorfologico in conformità con quanto disposto dalla normativa nazionale e comunitaria ed in particolare con la Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (WFD).

Il presente Manuale comprende la definizione delle procedure e dei metodi per la valutazione ed il monitoraggio morfologico.

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

Il **gruppo di lavoro** comprende:

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

Hanno collaborato alla ricerca:

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

CAPITOLO 1 – INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

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

La Direttiva Quadro Europea "Acque" (Water Framework Directive o WFD: EUROPEAN COMMISSION, 2000) introduce gli aspetti idromorfologici come elementi da valutare, oltre a quelli fisico-chimici relativi alla qualità dell'acqua e agli aspetti biologici, per giungere ad una classificazione dello stato ecologico dei corsi d'acqua. Nonostante l'impostazione innovativa della WFD, è stato evidenziato il fatto che esistano alcuni limiti, e tra questi la componente idromorfologica rappresenta certamente quella che denota una più insufficiente considerazione nella classificazione dello stato ecologico, che possono compromettere il raggiungimento degli obiettivi fondamentali della direttiva stessa (NARDINI *et al.*, 2008).

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

Attualmente non esiste ancora una piena comprensione di quali siano gli aspetti ed i parametri morfologici più strettamente correlabili con lo stato di salute ecologico di un corso d'acqua, seppure numerose ricerche si siano dedicate recentemente a questo argomento (si veda ad es. KAIL & HERING, 2009; WYŻGA *et alii*, 2009; GURNELL *et alii*, 2009). Esiste tuttavia un ampio consenso sul fatto che il funzionamento dei processi geomorfologici del corso d'acqua e le sue condizioni di equilibrio dinamico promuovono spontaneamente la diversità di habitat ed il funzionamento degli ecosistemi acquatici e ripariali, dimostrato anche dal fatto che si ritiene inappropriato definire uno stato di riferimento morfologico statico per i progetti di riqualificazione fluviale ma che esso debba essere sostituito da un'immagine guida che si identifica con un ecosistema dinamico (PALMER *et alii*, 2005) e con la necessità di una più ampia considerazione dei processi geomorfologici e delle tendenze evolutive del corso d'acqua (CLARKE *et alii*, 2003).

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

Tra le metodologie in uso al di fuori dell'Europa, si possono citare a titolo di esempio:

- *Australian River Assessment System (AusRivAS) - Physical Assessment Module* (PARSONS *et al.*, 2002);

- *Victorian Index of Stream Condition (ISC)* (LADSON *et al.*, 1999; LADSON & WHITE, 1999, 2000);
- *US EPA Rapid Assessment Method* (BARBOUR *et al.*, 1999).

Tra i metodi europei, si possono citare i seguenti:

- *Stream Habitat Survey - Method for small and medium size waters* (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (ed.) 2000);
- *Assessment of river stretches with high or good habitat in Austria* (MUHAR *et al.*, 1998);
- *National Physical Habitat Index* (National Environmental Research Institute (NERI), Denmark, 1999);
- *Physical S.E.Q.* (AGENCES DE L'EAU, 1998);
- *River Habitat Survey (RHS)* (RAVEN *et al.*, 1997)
- *CARAVAGGIO* (BUFFAGNI *et al.*, 2005).

Le metodologie finora descritte, le quali sono adatte a caratterizzare la presenza e diversità di habitat fisici ma non sono state sviluppate per soddisfare i requisiti della stessa Direttiva, sono di fatto quelle più frequentemente proposte ai fini della WFD. Tra i principali limiti di queste metodologie, qualora si pensi di applicarle alla WFD, si rimarcano i seguenti: (a) usano un approccio basato sulle forme e non includono considerazioni sui processi e sulle tendenze evolutive; (b) di conseguenza, utilizzano 'condizioni di riferimento' in termini di forme (presenza e numero di determinate caratteristiche) facendo uso di 'tratti di riferimento' nelle attuali condizioni (seppure già in parte alterati); (c) la scala spaziale di indagine (quella del 'sito', cioè con lunghezza dell'ordine di qualche centinaio di m) non può essere considerata adeguata per una reale diagnosi e comprensione dei problemi morfologici, considerato che generalmente la degradazione fisica in un sito è conseguenza di processi e cause a più ampia scala; (d) tali procedure poco si adattano ad un'analisi delle pressioni e degli impatti finalizzata alla progettazione di misure e verifiche della loro efficacia, come richiesto nei piani di gestione previsti dalla WFD.

Oltre ai metodi di censimento degli habitat prima descritti, è necessario ricordare che in alcuni paesi membri della Comunità Europea sono stati sviluppati protocolli o metodi di valutazione degli aspetti idromorfologici appositamente ai fini dell'applicazione della WFD. Tra questi metodi si segnalano i seguenti:

- *HIDRI – Protocolo para la valoracion de la calidad hidromorfológica de los rios*. Si tratta di una metodologia piuttosto articolata messa a punto dall'Agencia Catalana de l'Aigua che prende in esame i vari aspetti idromorfologici necessari per la valutazione ai fini della WFD (continuità fluviale, condizioni morfologiche, geometria dell'alveo, struttura e substrato del letto, struttura delle zone riparie) attraverso l'integrazione di vari indici e parametri per la valutazione della qualità delle condizioni morfologiche e vegetazionali (ad es. Indice di Connettività Fluviale, Indice di Habitat Fluviale, Qualità del Bosco Ripario, Indice di Vegetazione Fluviale, ecc.).

- *A Desk Study to Determine a Methodology for the Monitoring of the 'Morphological Condition' of Irish Rivers for the Water Framework Directive*. Sulla base della revisione dei metodi esistenti, questo studio raccomanda che il protocollo per la valutazione delle condizioni morfologiche dei fiumi irlandesi debba basarsi sul *AusRivAS Physical Habitat Assessment Protocol*. In tale metodo, le informazioni riguardanti gli aspetti fisici, chimici e di habitat sono raccolte in corrispondenza di siti di riferimento ed usate per costruire modelli predittivi che sono, a loro volta, usati per verificare le condizioni dei siti campione. Viene raccomandato di effettuare alcune

modifiche all'*AusRivAS* che tengano conto dei recenti sviluppi tecnologici nel telerilevamento e nelle tecnologie informatiche.

- *Establishment of the Protocol on Monitoring and Assessment of the Hydromorphological Elements, Slovak Republic*. Lo sviluppo di questo metodo è basato su una bozza di protocollo sviluppato nella Repubblica Slovacca da LEHOTSKÝ & GREŠKOVÁ dello Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) nel 2003. La metodologia si rifà prevalentemente a metodi quali il *River Habitat Survey* (RAVEN *et al.*, 1998), il *Danish Stream Habitat Index* (PEDERSEN & BAATTRUP-PEDERSEN, 2003) e il *Large River Survey* in Germania (FLEISCHHACKER & KERN, 2002), modificati in alcune parti per adattarsi alle condizioni dei fiumi della Slovacchia. Inoltre si propone l'uso integrato anche di carte storiche e foto aeree per misurare alcuni parametri planimetrici.

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

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

- *Indice Idro-Geomorfologico (IHG)* (OLLERO *et alii*, 2007). La metodologia di valutazione è strutturata in tre aspetti: (1) qualità funzionale del sistema fluviale, che include (a) la naturalità del regime delle portate; (b) la disponibilità e mobilità di sedimenti; (c) la funzionalità della pianura inondabile; (2) qualità dell'alveo, che include (a) la naturalità della configurazione dell'alveo e della sua morfologia; (b) la continuità e naturalità del letto e dei processi di continuità longitudinale e verticale; (c) la naturalità delle sponde e la mobilità laterale; (3) qualità del corridoio ripariale, che include (a) la continuità longitudinale; (b) larghezza, struttura e naturalità; (c) la connettività trasversale.

- *Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (SYRAH)*: si tratta di una procedura molto articolata sviluppata presso il CEMAGREF (Francia) (CHANDESRIIS *et al.*, 2008, 2009a, b; VALETTE *et al.*, 2008) di censimento, archiviazione e settorializzazione (tramite procedure in GIS) degli elementi antropici di pressione, ma non rappresenta un vero e proprio sistema di valutazione. L'obiettivo finale è infatti quello di promuovere l'implementazione di misure designate a correggere le disfunzioni fisiche dei corsi d'acqua piuttosto che quello di classificare lo stato morfologico di alterazione rispetto ad un dato stato di riferimento.

In ambito nazionale, oltre al già citato CARAVAGGIO, che rientra tra i metodi di censimento degli habitat considerati prima, è certamente da ricordare l'IFF (Indice di Funzionalità Fluviale: SILIGARDI *et al.*, 2007), il quale tuttavia non nasce dall'esigenza specifica di valutare un grado di scostamento rispetto ad una situazione di riferimento né approfondisce gli aspetti idromorfologici. Recentemente è stato inoltre proposto uno schema di valutazione integrata dello stato ecologico (*FLEA*:

Fluvial Ecosystem Assessment) (CIRF, 2006; NARDINI *et al.*, 2008) che include a pieno titolo anche gli elementi di qualità idromorfologica. In tale schema vengono introdotti alcuni attributi (in parte previsti nella WFD) finalizzati a caratterizzare l'assetto morfologico attuale (quali la continuità laterale, l'equilibrio geomorfologico e lo spazio di libertà), dove ogni attributo viene espresso come grado di vicinanza alle proprie condizioni di riferimento. Lo schema proposto, rispetto ad una delle principali lacune di tutti i metodi visti precedentemente, intende tener conto almeno in parte delle tendenze evolutive dell'alveo. Inoltre viene rimarcata l'opportunità di utilizzare dati ricavati da telerilevamento ad integrazione dei rilievi sul terreno e di lavorare ad una scala più ampia di quella del singolo sito. Il *FLEA* rappresenta tuttavia, al momento attuale, una proposta metodologica piuttosto che un pacchetto completamente definito (NARDINI *et al.*, 2008) che necessita di essere sviluppata nei dettagli per gli aspetti idromorfologici come per altri aspetti.

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

1. *Fluvial Audit (UK)*. Vari geomorfologi inglesi (si veda in particolare SEAR *et al.*, 2003) hanno sviluppato per l'UK Environment Agency (EA, 1998) una procedura strutturata che rappresenti una base per impostare uno studio di geomorfologia fluviale, finalizzato alla definizione di strategie di gestione del corso d'acqua e/o programmazione di interventi. Il *Fluvial Audit* è la procedura di raccolta e presentazione di dati geomorfologici, che mette in relazione le condizioni dei sedimenti nel tratto di studio con quelle prevalenti nel bacino. Esso presta particolare attenzione al trasferimento di sedimenti dalle aree sorgenti a quelle di immagazzinamento ed è fortemente finalizzato ad una comprensione dei processi geomorfologici e delle cause di instabilità (SEAR *et al.*, 1995, 2003). Un approccio analogo è quello proposto per la gestione a scala regionale dei sedimenti in sistemi fluviali artificializzati e/o da riqualificare (*Regional Sediment Appraisal Methodology*: THORNE & SKINNER, 2001). Gli autori enfatizzano la necessità di un approccio a scala di bacino e ad una scala temporale sufficientemente ampia, attraverso l'uso integrato di risorse storiche (carte, foto aeree) e rilevamenti sul terreno. Per quanto riguarda questi ultimi, sempre nell'ambito della scuola di geomorfologi inglesi si può collocare la procedura di rilevamento geomorfologico sul terreno dei corsi d'acqua (*stream reconnaissance field survey*: THORNE & EASTON, 1994; DOWNS & THORNE, 1996; THORNE, 1998). Il rilevamento geomorfologico dei corsi d'acqua può essere definito come una sorta di protocollo di raccolta di informazioni morfologiche, in genere attraverso l'uso di schede da compilare durante il sopralluogo sul terreno, che riportino in maniera sistematica ed organizzata le osservazioni e le misure quantitative da effettuare.

2. *Natural Channel Design (USA)*. Si possono includere in questa voce la metodologia cosiddetta di "progettazione di alvei naturali" basata sulla classificazione morfologica di ROSGEN (1994), e varie altre procedure che si rifanno a tale approccio, quali ad esempio *RIVERMorph* o anche il *WARSSS (Watershed Assessment of River Stability & Sediment Supply)* sviluppato dall'USEPA. Si tratta di procedure soprattutto finalizzate ad effettuare analisi e calcoli per progetti di riqualificazione fluviale, ma che fanno ampio ricorso a concetti e metodi di geomorfologia fluviale. In particolare, si prevede una prima fase di analisi geomorfologica del sistema fluviale,

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

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

Sulla base dell'inquadramento del problema e della rassegna bibliografica sullo stato dell'arte sull'argomento, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- Necessità di un approccio basato sulla comprensione dei processi e delle cause, se si intende procedere non solo ad una classificazione dello stato morfologico ma anche ad un'analisi delle pressioni e degli impatti, fondamentali anche per la progettazione di misure e verifiche della loro efficacia.
- Non esiste una metodologia già disponibile nel panorama internazionale che abbia tali requisiti e che consenta di essere importata nel contesto nazionale. Seppure esistano delle procedure (si veda in particolare il *River Styles Framework*) basate su concetti ed approcci coerenti con le necessità rimarcate prima, è necessario sviluppare una metodologia ad hoc, progettata sulla base degli obiettivi, applicabile quindi alla scala spaziale funzionale al raggiungimento di tali obiettivi e che tenga anche conto del contesto fisico ed antropico in cui si va ad applicare.
- Si può fare riferimento alle recenti esperienze di ricerca nel campo della geomorfologia e dinamica fluviale sviluppate durante gli ultimi anni in ambito

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

L’**obiettivo** del presente lavoro è stato pertanto quello di sviluppare un sistema di indagine, valutazione e classificazione morfologica dei corsi d’acqua che presenti una base scientifica solida, coerente con lo stato dell’arte internazionale, con una serie di requisiti precedentemente sottolineati (scale spaziali adeguate per una comprensione dei processi fisici, considerazione delle tendenze evolutive, ecc.), e che al tempo stesso fosse sufficientemente semplice ed operativo da poter essere adottato ai fini della WFD.

CAPITOLO 2 – CONCETTI DI BASE DI GEOMORFOLOGIA FLUVIALE

La Geomorfologia Fluviale può essere sinteticamente definita come “*studio dei processi di produzione, flusso ed immagazzinamento di sedimenti nel bacino idrografico e nell’alveo fluviale nella breve, media e lunga scala temporale, e delle forme risultanti nell’alveo e nella piana inondabile*” (NEWSON & SEAR, 1993).

2.1 Il sistema fluviale e la connettività dei processi

Il sistema fluviale che fa parte di un bacino idrografico può essere idealmente suddiviso in tre zone secondo il ben noto schema proposto da SCHUMM (1977): (1) la zona 1 rappresenta la porzione alta del bacino, nella quale prevalgono i processi che determinano la *produzione di sedimenti* (erosione, frane); (2) la zona 2, caratterizzata prevalentemente dal *trasferimento di sedimenti* verso valle da parte dei corsi d’acqua principali del sistema; (3) la zona 3 costituisce la porzione più valliva del bacino idrografico e rappresenta l’area di prevalente *accumulo di sedimenti*. I corsi d’acqua convogliano sedimenti dalle zone sorgenti nelle porzioni alte del bacino, attraverso la zona di trasferimento, alle pianure alluvionali che rappresentano le zone di accumulo. Tale suddivisione riflette la prevalenza, in ognuna delle tre zone, di una delle tre principali categorie di processi: erosione (produzione di sedimenti), trasporto solido (trasferimento di sedimenti verso valle), sedimentazione (immagazzinamento di sedimenti). Secondo tale schema idealizzato, il corso d’acqua è paragonabile ad un nastro trasportatore: una sua funzione essenziale è quella di trasferire sedimenti dalle zone di origine (versanti) verso le zone di recapito finale del sistema (Figura 2.1). Tuttavia le tre categorie di processi agiscono, in misura diversa, in ogni tratto del sistema fluviale, in particolar modo nei tratti in cui il corso d’acqua è di tipo alluvionale a fondo mobile, dove si realizzano continui scambi di sedimenti tra le sponde ed il fondo (Figura 2.2).

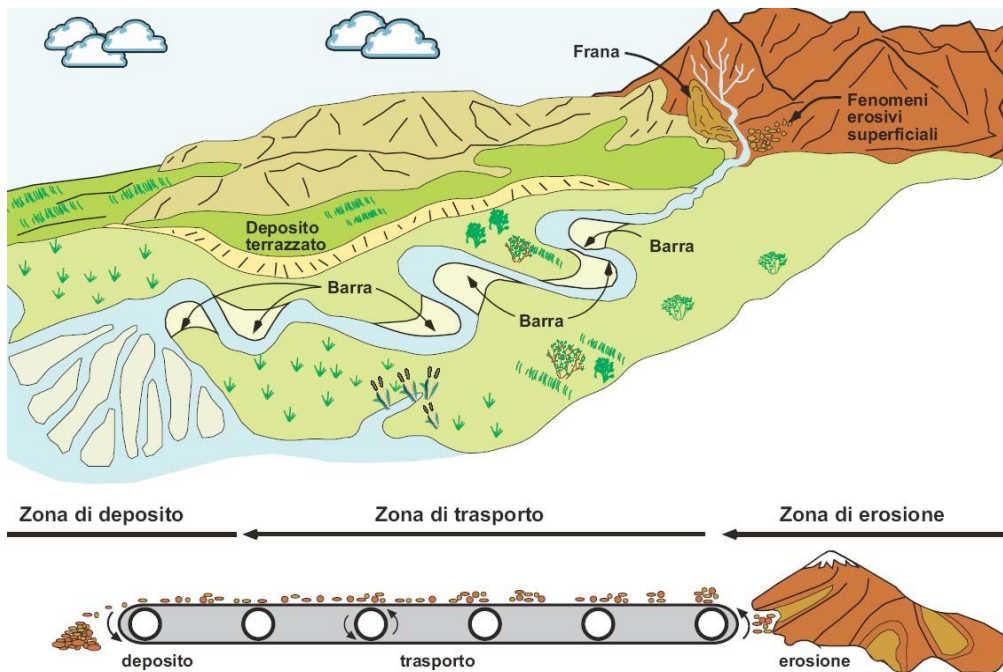


Figura 2.1 – Il corso d’acqua paragonato ad un nastro trasportatore di sedimenti (da AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008, modificato da KONDOLF, 1994).

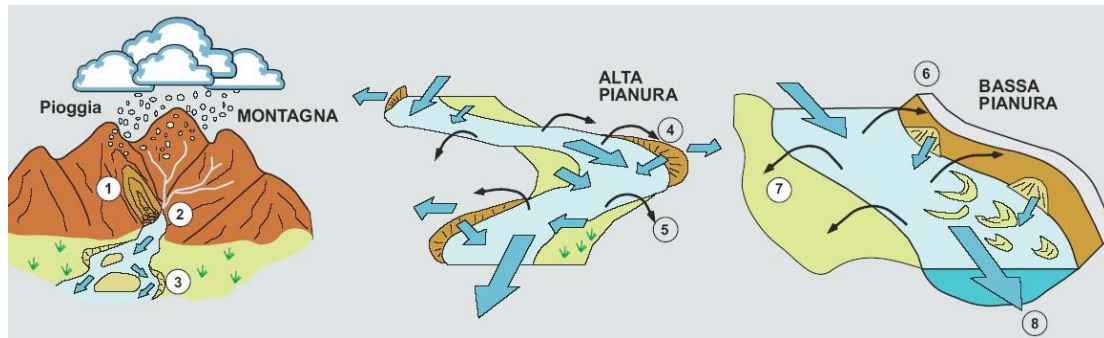


Figura 2.2 – Principali processi di interscambio di sedimenti nelle tre zone di un bacino idrografico (da AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2008, modificato da SEAR *et al.*, 2003).

Zona montana di produzione di sedimenti: (1) frane; (2) alimentazione ed eventuale sbarramento da parte dei sedimenti in alveo; (3) sedimentazione in alveo ed erosione delle sponde. Zona di trasferimento di sedimenti (alta pianura): (4) erosione delle sponde ed accrezione delle barre; (5) costruzione delle sponde per tracimazione. Zona di accumulo di sedimenti (bassa pianura): (6) erosione delle sponde per movimenti di massa; (7) deposizione di sedimenti fini nella piana inondabile; (8) trasporto di *wash load* dei sedimenti fini al mare.

La suddivisione del sistema in zone ed in processi dominanti riflette anche altre caratteristiche fisiche dei corsi d'acqua, quali il confinamento e le dimensioni. Infatti si possono distinguere tre situazioni in base al grado di confinamento dei corsi d'acqua (Figura 2.2): (1) nella zona collinare – montana prevalgono i corsi d'acqua confinati tra versanti; (2) nella zona pedemontana i corsi d'acqua sono prevalentemente semiconfinati; (3) una volta raggiunta la zona di deposizione prevalgono le pianure alluvionali i corsi d'acqua non confinati in pianure alluvionali. E' tuttavia possibile una alternanza di tratti non confinati e confinati laddove il corso d'acqua attraversa bacini compresi all'interno di catene montuose o rilievi collinari. Per quanto riguarda le dimensioni dei corsi d'acqua, esse aumentano sistematicamente attraverso il sistema fluviale al crescere dell'area di drenaggio e quindi delle portate liquide. CHURCH (1992) propone uno schema di suddivisione degli alvei scalandone la larghezza rispetto al diametro medio dei sedimenti presenti sul fondo. In base a tale criterio, si possono distinguere: (1) *alvei di piccole dimensioni* o *corsi d'acqua piccoli* (*small channels*), con il fondo costituito da materiale grossolano e larghezza compresa tra 1 e 10 volte circa le particelle presenti sul fondo; (2) *alvei di medie dimensioni* o *corsi d'acqua intermedi* (*intermediate channels*), quando la larghezza dell'alveo è superiore a 10 volte le particelle presenti sul fondo, ma possono essere ancora influenzati da sbarramenti naturali di sedimenti o di tronchi che possono occupare una porzione significativa della loro sezione (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*), sono quelli in cui la larghezza è di gran lunga superiore (vari ordini di grandezza) rispetto alle dimensioni granulometriche dei sedimenti e non esistono vincoli laterali che condizionano la forma e le dimensioni della sezione (in molti ambienti il passaggio ad alvei di grandi dimensioni avviene per larghezze al di sopra di 20-30 m e portate formative a partire da circa $20 - 50 \text{ m}^3/\text{s}$).

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>)			

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

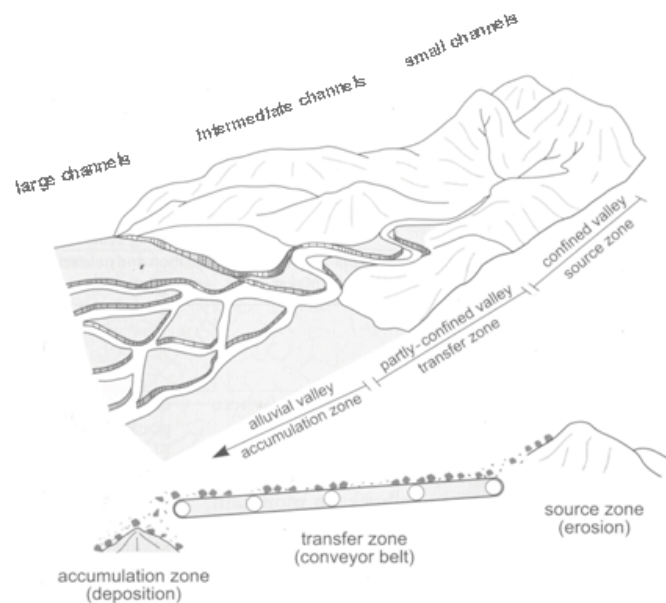


Figura 2.3 – Grado di confinamento e dimensioni dei corsi d’acqua nelle diverse zone del bacino (modificato da BRIERLEY & FRYIRS, 2005 e da CHURCH, 1992).

L’efficienza dei processi di trasferimento di sedimenti verso valle dipende dalla connettività tra le diverse unità fisiografiche. Affinchè ciò avvenga in maniera funzionale, deve esistere una *continuità longitudinale*, che esprime il fatto che siano attivi vari processi di scambio dalle zone di origine dei sedimenti al reticolo idrografico, e che tali sedimenti si muovano verso valle senza significative interruzioni (seppure siano possibili fenomeni di sbarramento dovuti a cause naturali quali frane che invadono l’alveo o affioramenti rocciosi). Per il funzionamento dei processi ecologici, è importante non solo la continuità longitudinale dei flussi liquidi e solidi, ma anche i processi fisici che determinano la continuità laterale e verticale. Vari concetti in ecologia fluviale (si veda ad esempio il *River Continuum Concept*, il *Flood Pulse Concept*, ecc.) mettono in evidenza come la connettività ecologica è funzione della struttura fisica del corso d’acqua a differenti scale spaziali e temporali. La *continuità laterale* è determinata dall’esistenza di una fascia di pertinenza fluviale nella quale si esplicano periodicamente i processi di esondazione e di mobilità laterale del corso d’acqua, mentre la *continuità verticale* è determinata dal continuo scambio di acqua tra la falda ed il corso d’acqua all’interno della zona iporreica, che è sempre presente quando il fondo dell’alveo è costituito da sedimenti permeabili.

2.2 Le scale spaziali

La scelta delle scale spaziali e temporali di analisi dipende dagli aspetti che si intendono studiare. In campo ecologico, un classico schema di organizzazione gerarchica di un sistema fluviale è quello proposto da FRISSEL *et al.* (1996) (Figura 2.4), il quale mette in evidenza la suddivisione in sub-sistemi di habitat a scale diverse.

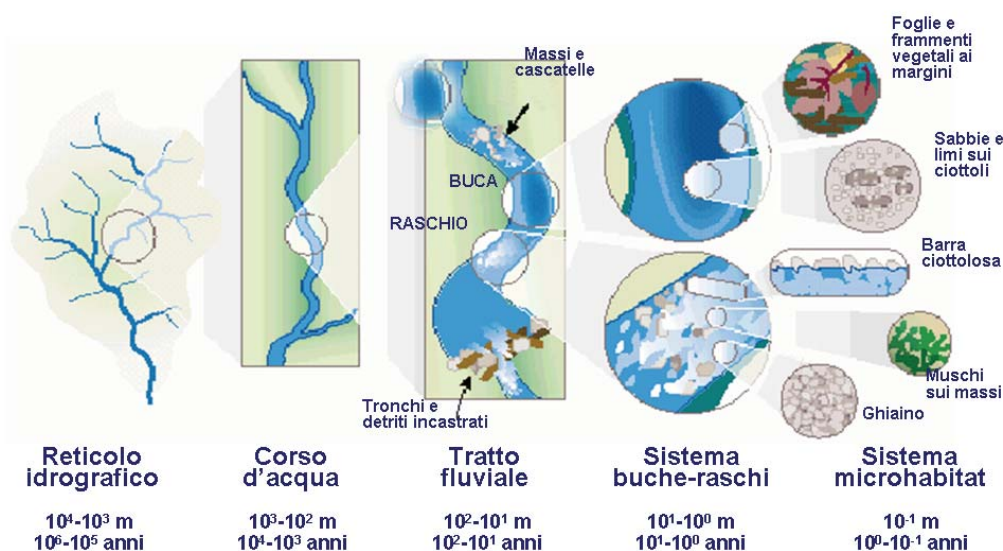


Figura 2.4 – La gerarchizzazione delle scale spaziali nel sistema fluviale (modificato da FRISSEL *et al.*, 1996).

In molti casi è utile infatti 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*). Una suddivisione delle unità spaziali che segue questo approccio è quella adottata da BRIERLEY & FRYIRS (2005), nell'ambito della metodologia denominata *River Styles Framework*, descritta brevemente di seguito (Figura 2.5).

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

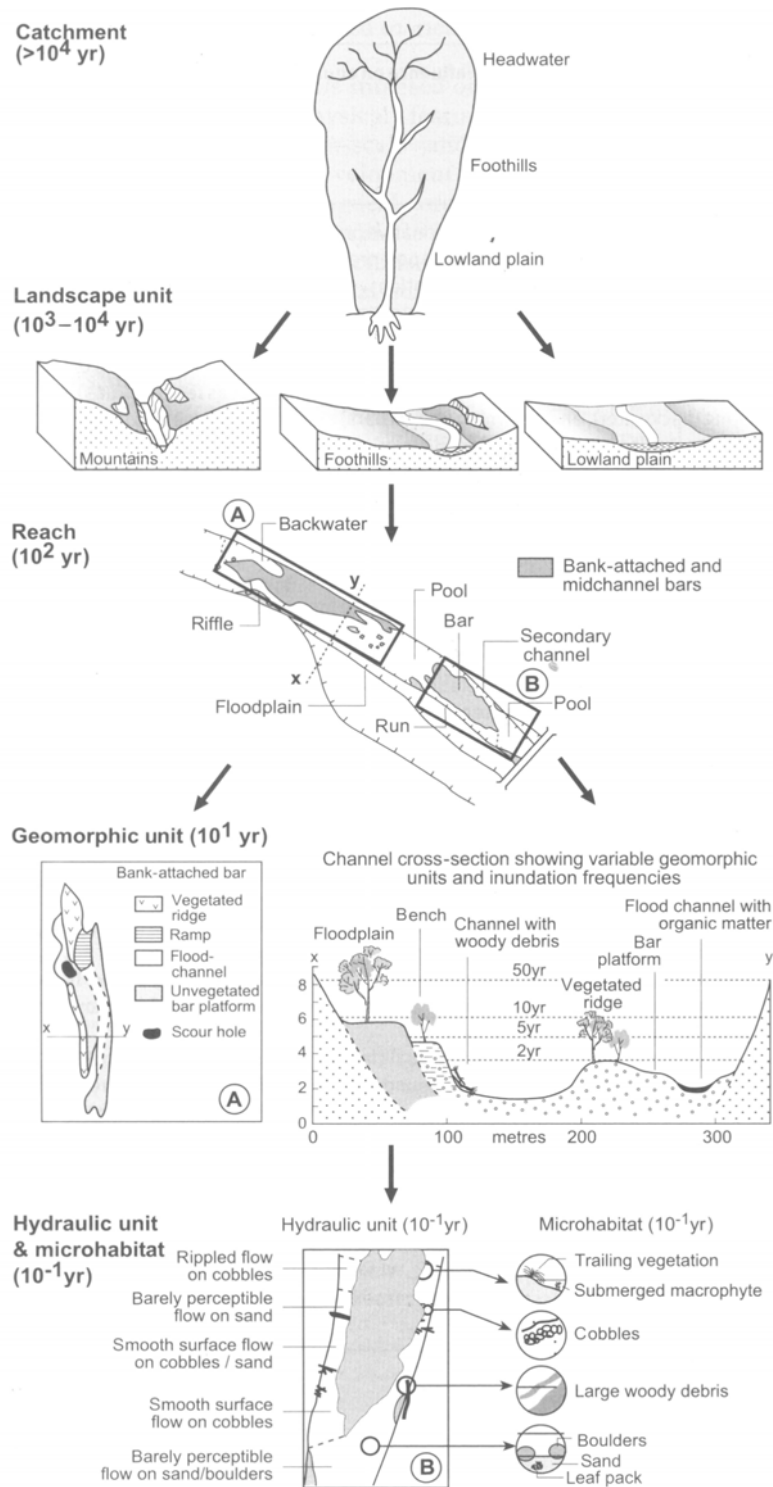


Figura 2.5 – Schema dell’approccio gerarchico (*hierarchical nested approach*) utilizzato nell’ambito del *River Styles Framework* (da BRIERLEY & FRYIRS, 2005).

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

Ad un livello di dettaglio superiore, si passa alla scala spaziale dei *tratti (reaches)*, i quali presentano condizioni al contorno, portate liquide e solide sufficientemente

uniformi in modo tale da determinare una certa omogeneità in termini di caratteri morfologici e 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 quali devono riflettere variazioni ben identificabili del carattere e del comportamento del corso d'acqua (ad esempio grado di confinamento, dimensioni, morfologia del corso d'acqua).

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

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

2.3 Gli alvei delle zone collinari e montane

Gli alvei della zona medio – alta del bacino idrografico sono di dimensioni da piccole ad intermedie, generalmente presentano pendenze relativamente elevate ed alto grado di confinamento, seppure localmente possono esistere condizioni di confinamento parziale o anche nullo. Tali corsi d'acqua sono comunemente definiti *torrenti montani* o talora *alvei confinati*. Essi si differenziano dai corsi d'acqua di pianura per alcune caratteristiche distintive quali: (a) pendenze del fondo elevate; (b) elevata resistenza al moto determinata dalla presenza di sedimenti grossolani; (c) regime delle portate con forte stagionalità; (d) morfologia dell'alveo con forte variabilità spaziale, a causa del forte controllo da parte di versanti, conoidi e substrato roccioso, e bassa variabilità temporale, in quanto solo eventi di una certa intensità sono in grado di modificare il fondo. La morfologia di tali corsi d'acqua è condizionata dalla forte interconnessione tra processi fluviali e di versante. Questi ultimi in genere ne limitano la mobilità trasversale, di conseguenza le forme fluviali sono meno sviluppate planimetricamente rispetto ai fiumi di pianura. Ai lati dell'alveo attivo può essere presente in alcuni casi una piana inondabile di limitata larghezza o, in altri casi, superfici discontinue di larghezza ancora più esigua di transizione tra barre attive e pianura (definite da alcuni autori *channel shelf* o *bench*: HUPP & OSTERKAMP, 1996).

I corsi d'acqua montano-collinari possono presentare un *alveo in roccia* (*alvei a fondo fisso*), pressoché privi di sedimenti a causa delle elevate energie della corrente in grado di smaltire tutto il materiale proveniente dai versanti. Più spesso, tali corsi d'acqua presentano invece un *alveo a fondo mobile*, cioè hanno un letto con sedimento continuo seppure le sponde possono essere in roccia. In questi casi, la configurazione del fondo può assumere varie morfologie che si differenziano soprattutto in base alla pendenza del fondo ed alle dimensioni dei sedimenti. Una prima classificazione delle morfologie di torrenti montani fu proposta da GRANT *et al.* (1990), ma successivamente la classificazione di MONTGOMERY & BUFFINGTON (1997) ha avuto più larga diffusione (Figura 2.6). 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 ed

alimentazione di sedimenti (Figura 2.7), 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*).

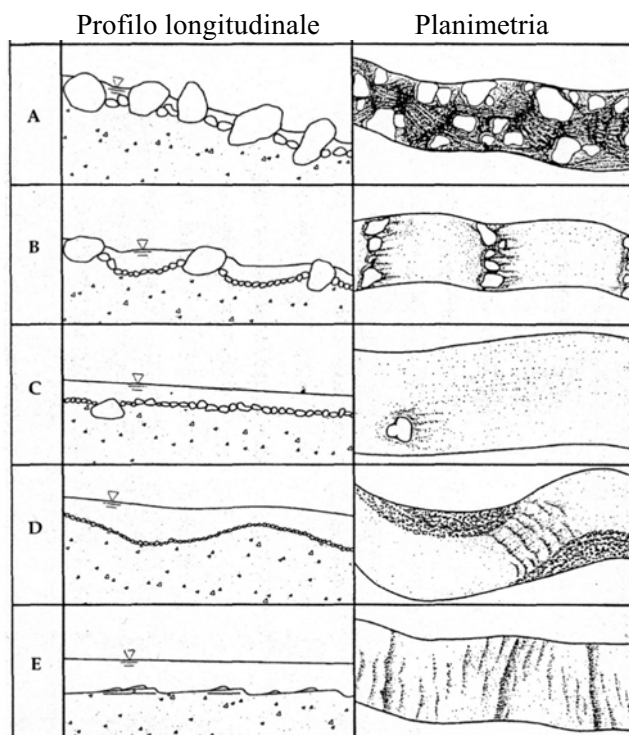


Figura 2.6 – Classificazione dei corsi d’acqua montani secondo MONTGOMERY & BUFFINGTON (1997). A) *Cascade*; B) a gradinata (*step pool*); C) letto piano (*plane bed*); D) *riffle pool*; E) *dune ripple*.

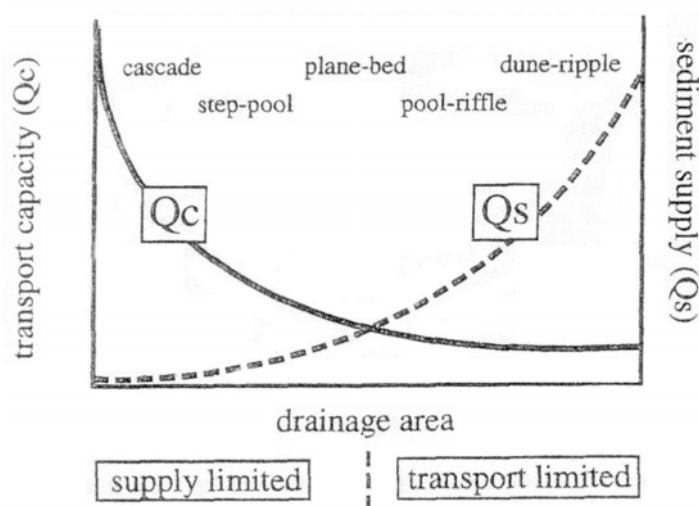


Figura 2.7 – Morfologie dei corsi d’acqua montani in relazione alle condizioni di capacità di trasporto (*transport capacity*) e di alimentazione di sedimenti (*sediment supply*) (da MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997)

Agli alvei in roccia ed alle cinque tipologie di alvei a fondo mobile prima definite, si possono aggiungere le due seguenti: (a) *tratti colluviali*, che possono riscontrarsi

nelle zone di testata del reticolo idrografico dove le aste di primo ordine possono essere incise in materiale colluviale trasportato quindi da fenomeni gravitativi; (b) *morfologie imposte*, determinate dalla presenza di ostruzioni da parte di materiale legnoso che impongono la formazione di una determinata configurazione del fondo in condizioni di pendenza e di portate solide diverse da quelle che normalmente determinerebbero quella stessa tipologia.

2.4 Gli alvei alluvionali di pianura

Nella parte medio – bassa del bacino, i corsi d’acqua sono prevalentemente di tipo non confinato o semiconfinato (eccetto eventuali tratti di attraversamento di soglie rocciose intermedie), di dimensioni da intermedie a grandi, e sviluppano un *alveo alluvionale (a fondo mobile)*, cioè modellato all’interno di sedimenti alluvionali (in precedenza da esso stesso trasportati e depositati). Una caratteristica fondamentale di un alveo alluvionale mobile è quella di essere libero di auto-modellarsi, cioè di “scegliere la propria forma” sia in senso altimetrico che planimetrico, a differenza degli alvei confinati (talvolta definiti semi-alluvionali). La configurazione 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 2.8).

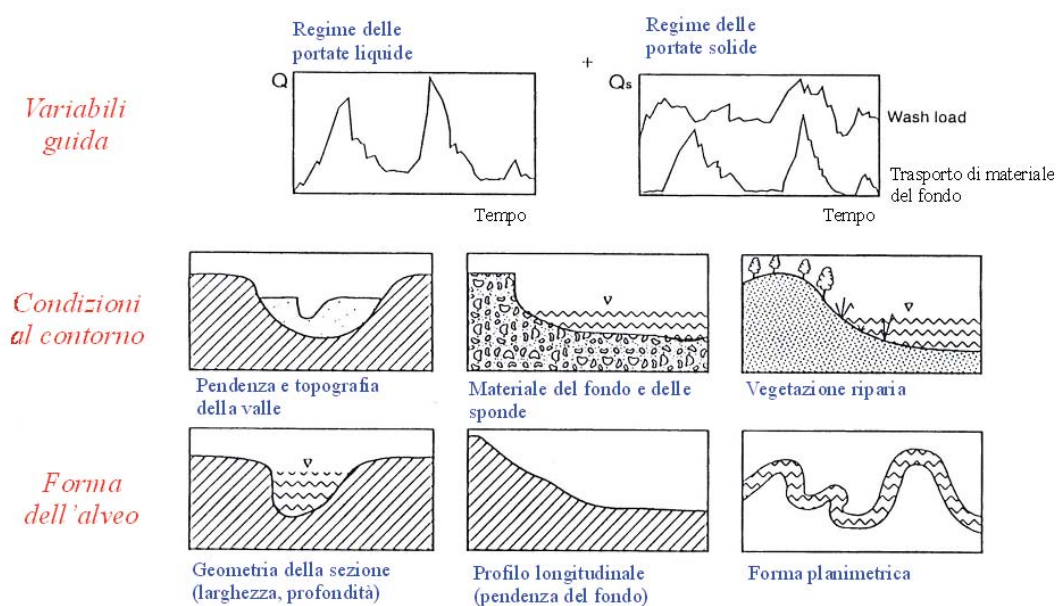


Figura 2.8 – La forma di un alveo alluvionale come risultato dell’interazione tra variabili guida e condizioni al contorno (da THORNE, 1997).

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 2.9), 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 ed arbustiva (THORNE, 1997; GURNELL *et al.*, 2005). Si tratta cioè di superfici con caratteristiche morfologiche tessiturali e vegetazionali identiche a quelle della piana inondabile (si veda più avanti) solo che, a differenza di quest'ultima, sono delimitate su entrambi i lati da porzioni di alveo (un canale principale o secondario).

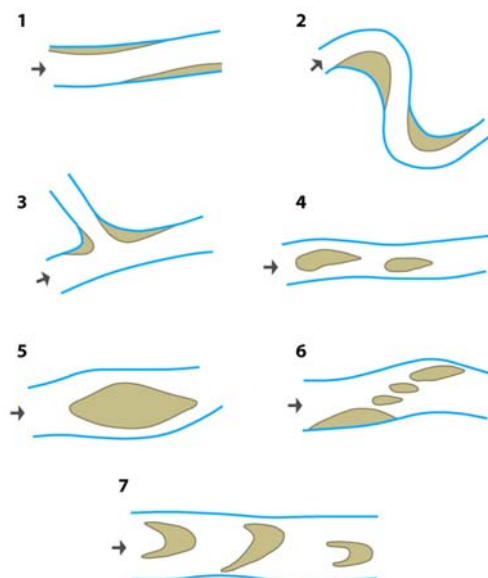


Figura 2.9 - Classificazione dei principali tipi di barre (da KELLERHALS *et al.*, 1976). 1. Barre laterali; 2. Barre di meandro; 3. Barre di confluenza; 4. Barre longitudinali; 5. Barre a losanga; 6. Barre diagonali; 7. Barre linguoidi o dune.

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; NANSON & CROKE, 1992). Tale superficie è geneticamente legata principalmente alle variazioni laterali del corso d'acqua, in particolare all'accrescimento delle barre di meandro (almeno in fiumi a canale singolo sinuoso - meandriformi). In un corso d'acqua naturale ed in condizioni di equilibrio dinamico, la piana inondabile è normalmente soggetta ad essere inondata per portate con tempi di ritorno dell'ordine di 1 – 3 anni. Il *terrazzo* rappresenta invece una piana inondabile formata in condizioni diverse dalle attuali, abbandonata per processi di abbassamento del fondo, che si trova quindi in posizione più elevata rispetto alla piana inondabile attuale e può essere raggiungibile da piene per portate con tempi di ritorno superiori ai 3 anni (HUPP & OSTERKAMP, 1996). Seppure in letteratura il terrazzo è spesso inteso come una superficie non più soggetta ad eventi alluvionali (a differenza della piana inondabile che è una superficie soggetta ad inondazioni indipendentemente dalla loro frequenza), si preferisce qui far riferimento alla terminologia frequentemente utilizzata nella moderna Geomorfologia Fluviale, dando ai due termini un significato genetico legato al grado di attività (superficie formata o meno nelle attuali condizioni). Tuttavia, sono numerosi gli autori che intendono come piana inondabile una superficie soggetta ad inondazioni per tempi di ritorno anche molto superiori (ad esempio "*piana inondabile per T=100 anni*", che secondo una classificazione genetica sarebbe da intendere come terrazzo).

Muovendosi in senso longitudinale (verso valle), il corso d'acqua può inoltre dare luogo ad altre forme 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*) ed *a canali intrecciati* (*braided*), altre numerose classificazioni si sono succedute nel tempo, privilegiando la forma planimetrica ed i parametri che la caratterizzano come criteri principali di classificazione (per una dettagliata revisione dell'argomento si rimanda a THORNE, 1997). Ad esempio la classificazione di BRICE (1975) pone l'accento sulla distinzione delle diverse morfologie in base ai gradi (o indici) di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione, introducendo quindi nuovi termini, quali quello di *anastomizzati* (*anastomosing*) per definire alvei pluricursali con i singoli canali ad alto grado di sinuosità e separati tra loro da superfici vegetate con una certa stabilità (isole) (si veda anche la classificazione di RUST, 1978). La classificazione di SCHUMM (1977), pur riprendendo le principali tipologie già definite da LEOPOLD & WOLMAN, è particolarmente significativa nel mettere in risalto il controllo esercitato sulle forme dal trasporto solido, che rappresenta il principale processo responsabile della morfologia fluviale (Figura 2.10).

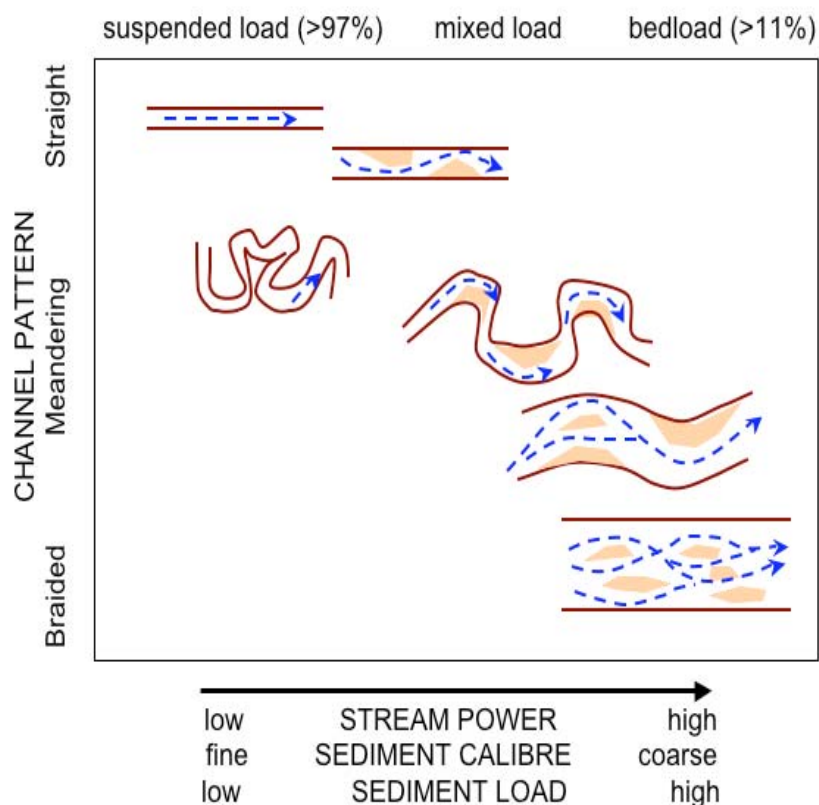


Figura 2.10 - Classificazione delle morfologie fluviali secondo SCHUMM (1977).

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 ed approfondite dallo stesso SCHUMM (1985), che ripropone uno schema più articolato rispetto al precedente dello stesso autore, ed in maniera simile da CHURCH (1992) (Figura 2.11). Quest'ultimo autore è uno dei primi ad introdurre il termine di *wandering* per indicare morfologie di transizione tra alvei meandrici ed anastomizzati. Il termine è stato successivamente esteso per indicare forme transizionali in senso lato, ma preferibilmente tra meandrici e canali intrecciati. Il sistema di ROSGEN (1994) rappresenta probabilmente la classificazione morfologica più completa di corsi d'acqua naturali (Figura 2.12), 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, ed include anche gli alvei confinati (torrenti montani) che normalmente vengono classificati con criteri differenti (come descritto precedentemente).

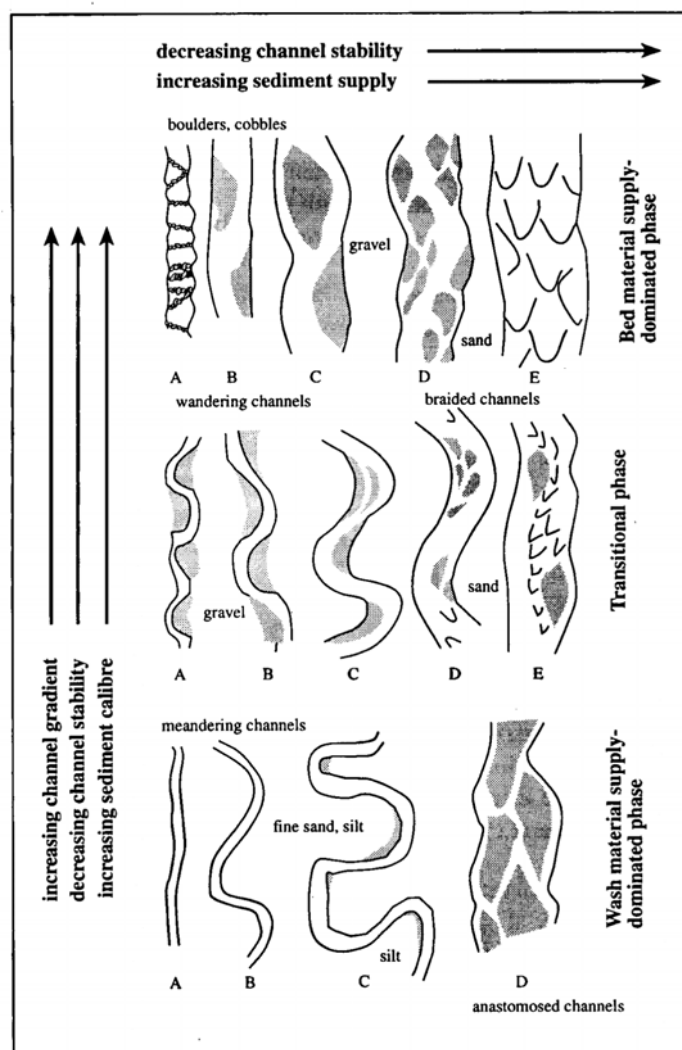


Figura 2.11 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo CHURCH (1992).

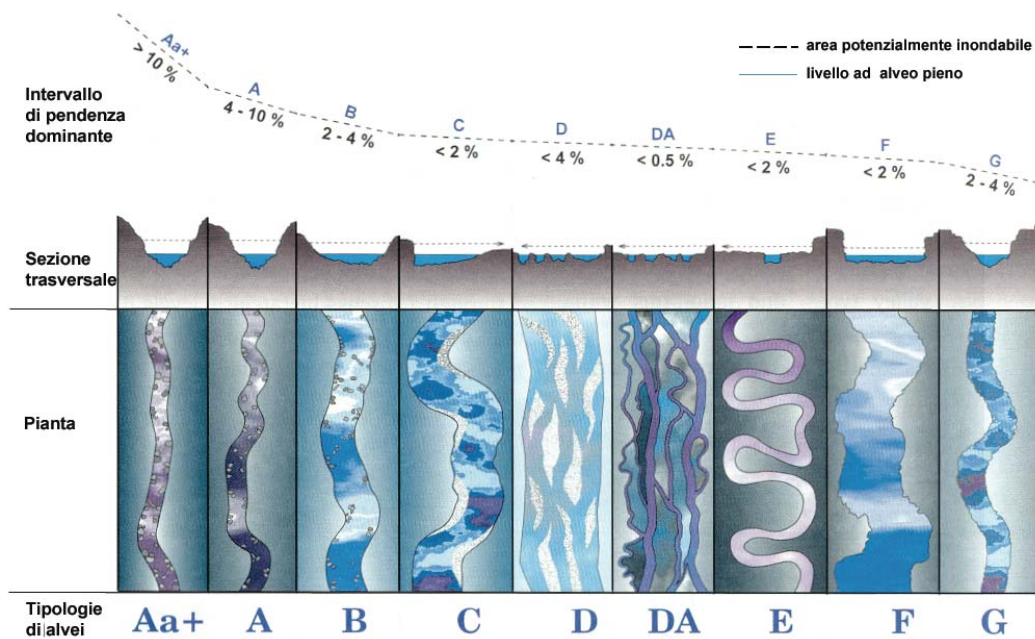
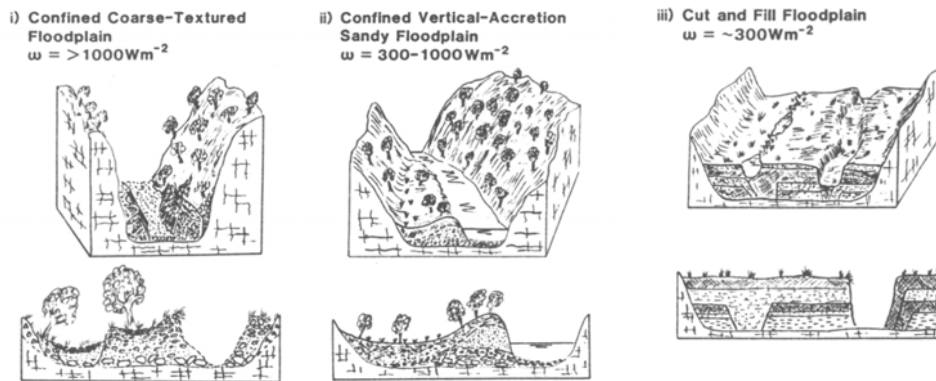


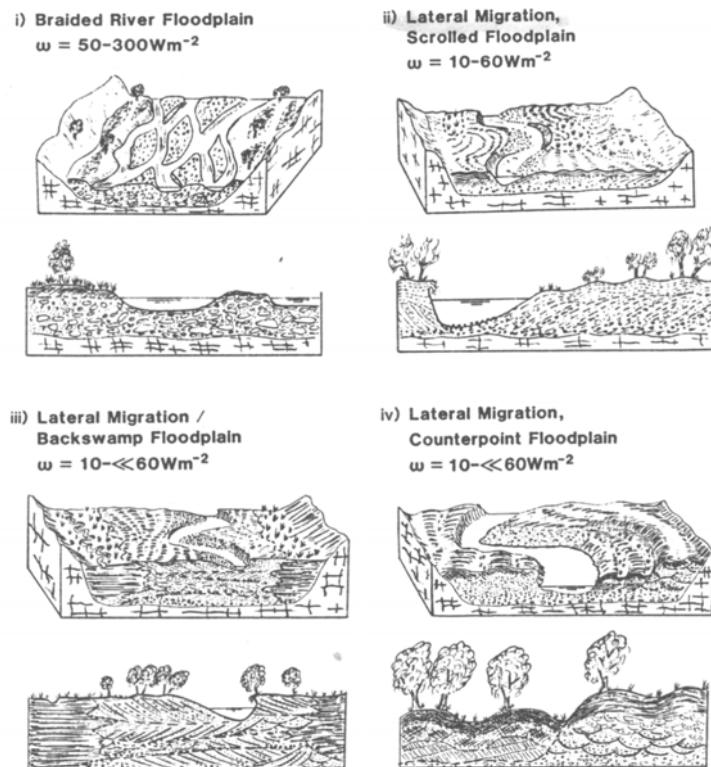
Figura 2.12 – Classificazione delle morfologie fluviali secondo ROSGEN (1994).

Minore attenzione rispetto alle morfologie degli alvei fluviali hanno ricevuto le pianure inondabili, le cui caratteristiche morfologiche e tessiturali sono in genere strettamente associate alla tipologia di corso d'acqua. La più importante descrizione delle tipologie di piana inondabile è dovuta a NANSON & CROKE (1992), i quali hanno proposto una classificazione genetica basata sulle condizioni di energia (potenza) del corso d'acqua. Secondo tale classificazione, si possono distinguere tre principali classi di piane inondabili (Figura 2.13): (1) Classe A: *Piane inondabili non coesive di alta energia (high-energy non-cohesive floodplains)*. Esse comprendono a loro volta: A1) piane inondabili confinate in tessitura grossolana; A2) piane inondabili confinate ad accrezione verticale sabbiosa; A3) piane inondabili non confinate ad accrezione verticale sabbiosa; A4) piane inondabili con tagli e riempimenti. (2) Classe B: *Piane inondabili non coesive di media energia (medium-energy non-cohesive floodplains)*. Esse comprendono: B1) piane inondabili di fiumi a canali intrecciati; B2) piane inondabili di fiumi ghiaiosi wandering; B3) piane inondabili da migrazione laterale di fiumi meandriiformi. (3) Classe C: *Piane inondabili coesive di bassa energia (low-energy cohesive floodplains)*. Esse comprendono: C1) Piane inondabili di fiumi a canale singolo lateralmente stabili; C2) piane inondabili di fiumi anastomizzati.

A



B



C

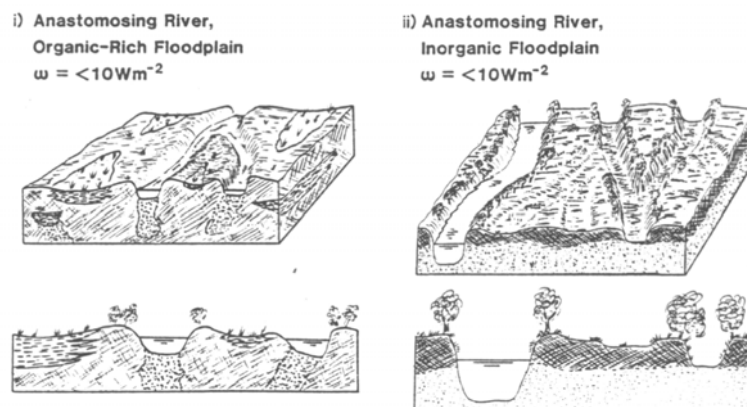


Figura 2.13 - Classificazione delle pianie inondabili secondo NANSON & CROKE (1992).

2.5 Trasporto solido e sedimenti del fondo

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

- *Trasporto solido al fondo*: è costituito dai sedimenti che si muovono sul fondo o a bassa distanza da questo, come elementi singoli o come movimento generalizzato di tutti i granuli di ogni dimensione. Seppure quasi sempre quantitativamente inferiore rispetto a quello in sospensione, rappresenta una frazione molto importante del trasporto totale perché direttamente connessa alle modificazioni morfologiche dell'alveo.

- *Trasporto solido in sospensione*: le particelle vengono sollevate dal fondo e vengono tenute in sospensione dalla turbolenza della corrente, percorrendo tratti più o meno lunghi prima di ritornare al fondo. Per la maggior parte dei fiumi costituisce la frazione più importante del trasporto solido totale. Questo tipo di trasporto solido è a sua volta suddivisibile in due classi (Figura 2.14): il *wash load* (trasporto per dilavamento) ed il trasporto in sospensione in senso stretto. Il primo rappresenta la porzione più fine del trasporto in sospensione (diametro inferiore a 0.064 mm, cioè a partire dal limo), che ha origine dai versanti durante un periodo piovoso e si muove direttamente fino alle zone di sedimentazione (quali laghi, zone palustri o mare), senza entrare a far parte del materiale del letto. Il *trasporto in sospensione s.s.* al contrario può essere sedimentato nell'alveo stesso in zone o in periodi di minore capacità di trasporto della corrente.

- *Trasporto solido in soluzione*: si tratta del trasporto di sostanze disciolte nell'acqua del fiume derivanti da processi di dissoluzione delle rocce affioranti nel bacino. Può avere qualche importanza in corsi d'acqua che drenano rocce solubili ma difficilmente rappresenta una frazione significativa del trasporto solido totale.

- *Trasporto solido per flottazione (o fluitazione)*: è costituito prevalentemente da materiali legnosi (tronchi, rami) galleggianti. In particolari regioni, può comprendere anche blocchi e frammenti di ghiaccio.

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

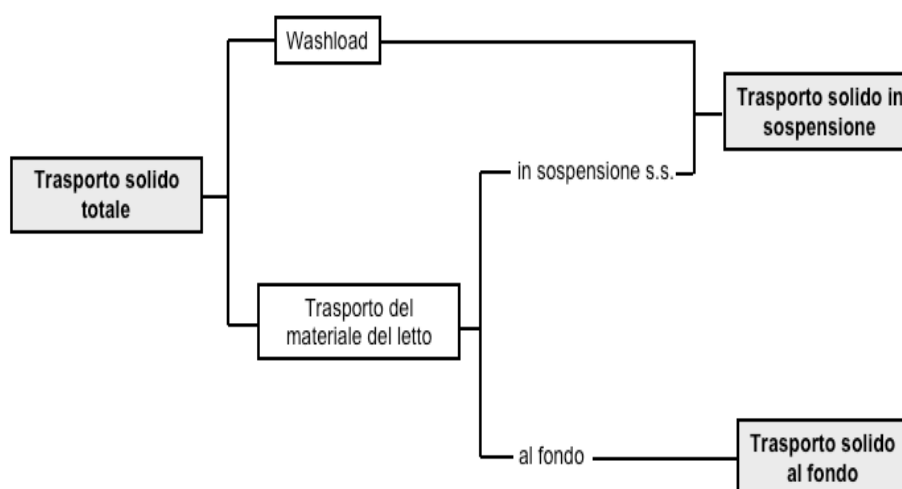


Figura 2.14 – Tipologie di trasporto solido.

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

Il corazzamento è stato attribuito, almeno originariamente, ad un tipico processo di azione selettiva della corrente (*sorting*), nel senso che le particelle più fini nello strato superficiale a diretto contatto con l'azione della corrente sono rimosse più facilmente rispetto a quelle del sottostrato, lasciando un deposito residuale di materiale più grossolano (*lag deposit*). Tale situazione è quella che si verifica tipicamente nel caso in cui non 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 ad occupare gli spazi compresi tra i più grandi e vengono da questi protetti (ANDREWS & PARKER, 1987). Sulla base di questa spiegazione del corazzamento, sono stati introdotti altri termini quale quello di *corazzamento mobile* o *debole* (*mobile armour* o *weak armour*), per indicare un livello corazzato che si mette in movimento anche per piene frequenti e che è il risultato stesso della mobilità del fondo.

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

2.6 Le portate formative

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

L'identificazione sul terreno del livello ad alveo pieno non è sempre semplice. Tra i casi più problematici è quello in cui l'alveo si è recentemente inciso o è tuttora in incisione, in quanto in tal caso può esserci una mancanza di forme deposizionali (in particolare di una nuova piana inondabile) e perché la dimensione stessa dell'alveo varia nel tempo. In assenza di una nuova piana inondabile costruitasi dopo la fase di incisione, la portata ad alveo pieno va ad identificarsi con la massima portata contenuta in alveo, a partire dalla quale la corrente inizia ad inondare un terrazzo. In questi casi, la portata ad alveo pieno può essere associata a tempi di ritorno anche ben superiori di 3 anni e non ha alcuna corrispondenza con la portata formativa (o dominante) del corso d'acqua (SHIELDS *et al.*, 2003; SIMON & CASTRO, 2003; SIMON *et al.*, 2004).

Associato al concetto di portata ad alveo pieno è quello di *portata formativa* (*channel-forming discharge*) o *portata dominante* (*dominant discharge*). La definizione di tali portate risale alle prime applicazioni della teoria del regime ad alvei naturali, quando si è posta la questione di definire un singolo valore di portata liquida che, se fosse idealmente sostituito all'intero regime delle portate per uno stesso periodo di tempo, produrrebbe la stessa forma e le stesse caratteristiche geometriche dell'alveo (INGLIS, 1949). Una definizione più robusta e fisicamente basata è quella fornita da WOLMAN & MILLER (1960), i quali impostarono il problema in termini di prodotto tra magnitudo e frequenza delle portate liquide (Figura 2.15). Secondo tale schema, le portate più efficaci nel modellare l'alveo non sono né quelle relativamente basse (le quali, anche se molto frequenti, sono in grado di trasportare solo modeste quantità di sedimenti), né quelle estreme (le quali, seppure associate ad elevato trasporto solido, sono troppo infrequenti), bensì una portata associata a condizioni

intermedie, alla quale corrisponde il massimo valore del prodotto tra la curva di frequenza delle portate liquide e le corrispondenti portate solide. ANDREWS (1980) ha fornito una conferma sperimentale a quanto originariamente proposto da WOLMAN & MILLER (1960). E' stato così introdotto anche il termine di *portata efficace* (*effective discharge*) per indicare appunto la portata che trasporta più sedimenti in un certo intervallo temporale. Dato che la frequenza associata alla portata efficace (tempi di ritorno tra 1 e 3 anni) è la stessa di quella che caratterizza la *portata ad alveo pieno*, le due portate spesso possono essere identificate, almeno in alvei in equilibrio dinamico.

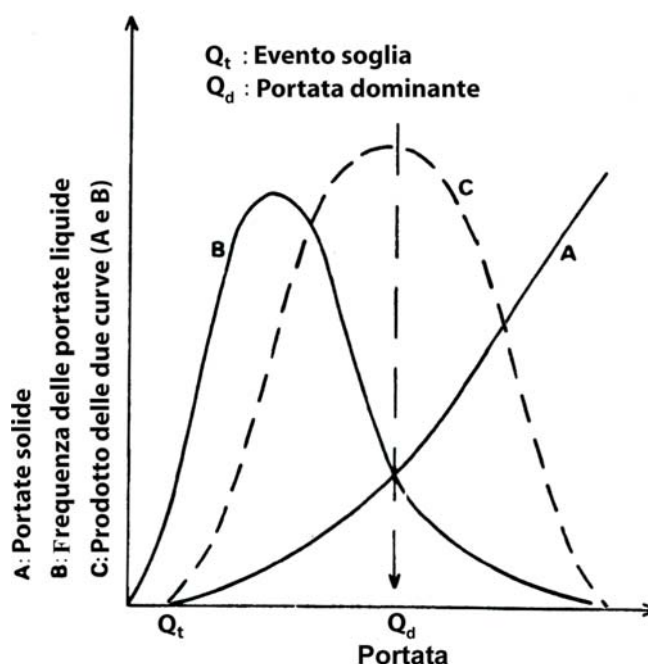


Figura 2.15 – Concetto di *portata dominante* o *efficace* secondo WOLMAN & MILLER (1960).

Riepilogando, la *portata formativa* (*channel forming discharge*) e la *portata dominante* (*dominant discharge*) possono essere considerati equivalenti, e sono da intendere come quel valore teorico di portata che ha maggiori effetti sulla forma e sulle dimensioni dell'alveo, mentre esistono tre possibili approcci per determinare tale portata "teorica" (BIEDENHARN *et al.*, 2001): (1) *Portata ad alveo pieno* (*bankfull discharge*); (2) *Portata con tempo di ritorno compreso tra 1 e 3 anni* (il valore della portata biennale $Q_{1.5}$ è quello più comunemente usato); (3) *Portata efficace* (*effective discharge*), intesa come portata che trasporta più sedimenti in un intervallo temporale sufficientemente ampio.

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

Si ricorda che, nel caso di alvei instabili, la portata dominante calcolata come portata efficace può differire notevolmente dalla portata ad alveo pieno e dalla portata

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

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

2.7 Mobilità laterale ed erosione delle sponde

I processi di erosione delle sponde fluviali sono quelli che determinano la mobilità planimetrica (laterale) del corso d'acqua e sono processi chiave per l'evoluzione morfologica dell'alveo, della piana inondabile e degli habitat ripariali ad essi associati. L'arretramento di una singola sponda può avvenire attraverso la combinazione di una larga varietà di processi, tra i quali è possibile distinguere le seguenti tre categorie (THORNE, 1982; RINALDI & DAPPORTO, 2005): (1) *processi di degradazione meteorica e di indebolimento*; (2) *processi di erosione*; (3) *movimenti di massa*. I primi sono processi prevalentemente subaerei (disseccamento, gelo/disgelo, dilavamento, calpestio, danni meccanici, distruzione della vegetazione, pressioni interstiziali positive), che agiscono sulla superficie o all'interno della sponda e ne comportano un progressivo indebolimento piuttosto che un effettivo arretramento. I processi di erosione determinano rimozione e trasporto di particelle o aggregati dalla superficie esterna della sponda (erosione fluviale per corrente parallela o incidente, erosione per rigagnoli e fossi, sifonamento, onde generate dal vento o da imbarcazioni). Infine i movimenti di massa comprendono vari meccanismi attraverso i quali si verifica una rottura ed un movimento del materiale di sponda ad opera della gravità (scivolamenti, ribaltamenti, crolli, colate). L'interazione tra i vari processi determina l'evoluzione su una più lunga scala temporale della sponda e dipende principalmente dal bilancio tra processi di alimentazione e di rimozione dei sedimenti, secondo il meccanismo noto come *controllo del punto basale* (*basal endpoint control*: THORNE, 1982). Secondo tale concetto, si possono schematicamente distinguere tre situazioni: a) *condizioni di accumulo*, quando i movimenti di massa apportano materiale alla base della sponda con un tasso superiore rispetto al tasso di rimozione; b) *condizione di equilibrio*, quando i processi di apporto e rimozione si bilanciano tra di loro; c) *condizioni di erosione*, quando l'erosione è tale da comportare una

rimozione completa del detrito alla base della sponda ed è inoltre in grado di produrre un abbassamento del fondo.

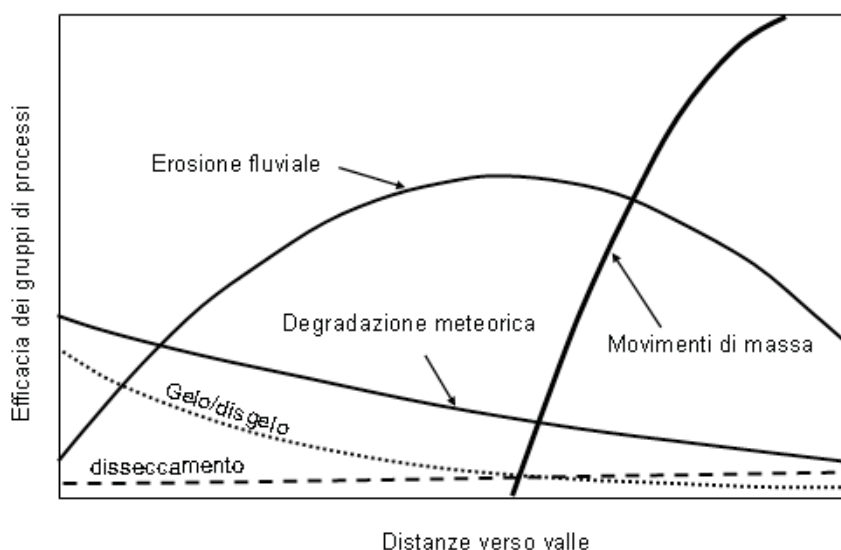


Figura 2.16 – Modello concettuale dei processi dominanti di arretramento di sponde fluviali in un sistema fluviale (modificato da LAWLER, 1992 e da RINALDI & DARBY, 2008).

Per quanto riguarda l'importanza relativa dei vari processi nel determinare l'arretramento delle sponde, LAWLER (1992) ha proposto un modello concettuale che ipotizza una zonazione spaziale all'interno di uno stesso sistema fluviale dei tre gruppi di processi (Figura 2.16): (1) nella porzione alta del bacino, i processi subaerei (degradazione meteorica) sono i più importanti; (2) lungo la parte intermedia del corso d'acqua, la potenza della corrente presenta i suoi valori massimi e l'erosione fluviale può diventare il processo dominante; (3) nella parte bassa, la potenza della corrente diminuisce (a causa del ridursi delle pendenze) mentre le sponde diventano sensibilmente più alte, pertanto i movimenti di massa diventano la categoria di processi dominanti.

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

tensione tangenziale lungo sponda, le pressioni interstiziali, le proprietà dei materiali che costituiscono la sponda (parametri di erodibilità e di resistenza al taglio), la stessa forma dell'idrogramma di piena (RINALDI & DARBY, 2008; RINALDI *et al.*, 2004, 2008; LUPPI *et al.*, 2009).

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

2.8 La vegetazione ed i processi fluviali

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

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

Interagendo con i vari processi fluviali, la vegetazione svolge quindi un ruolo importante anche nei riguardi dei processi di aggiustamento morfologico (si veda paragrafo successivo) ai quali può essere soggetto un alveo fluviale in una media scala temporale, a seguito di qualche tipo di disturbo rispetto alle sue condizioni di equilibrio dinamico. Vari studi condotti prevalentemente negli Stati Uniti sudorientali hanno messo in evidenza come sia possibile riconoscere particolari pattern vegetazionali associati ai diversi stadi di evoluzione, proprio perché ogni specie è in grado di tollerare o meno particolari processi ed aggiustamenti morfologici. Sono state individuate specie caratteristiche per ogni stadio di evoluzione in funzione della loro capacità di adattarsi alle condizioni imposte dai processi di aggiustamento (HUPP, 1999), riconoscendo notevoli differenze di pattern vegetazionali a seconda che si tratti di (a) fiumi in equilibrio; (b) durante il periodo di aggiustamenti morfologici (es. incisione) in sistemi fluviali instabili; (c) durante il periodo di riequilibrio.

<i>Vegetazione viva riparia e in alveo</i>	
Processi in alveo: - Resistenza al moto - Parziale ostruzione sezione - Erosione per contrazione sezione - Effetti su trasporto solido - Sedimentazione - Creazione isole, avulsioni, ecc.	Processi sponde: - Effetti idrologici - Effetti meccanici
<i>Materiale legnoso morto in alveo</i>	
Processi in alveo: - Resistenza al moto - Parziale ostruzione sezione - Erosione per contrazione sezione o diversione flusso - Trasporto solido (per flottazione) - Sedimentazione - Creazione isole, avulsioni, ecc.	Processi sponde: - Erosioni localizzate - Sedimentazioni localizzate

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

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

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

Una prima classificazione delle tipologie di accumulo è quella proposta da WALLERSTEIN *et al.* (1997) che distingue quattro principali tipologie di accumulo (*underflow jam*, *dam jam*, *deflector jam*, *parallel/bar head jam*). Più ampia diffusione ha ottenuto la classificazione proposta successivamente da ABBE & MONTGOMERY (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*).

2.9 Variazioni morfologiche degli alvei fluviali

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

La scala temporale che preferibilmente viene utilizzata nel campo della moderna Geomorfologia Fluviale è la media scala temporale, cioè quella dell'ordine dei 100 anni (confrontabile con la scala della vita umana), seppure lo studio dell'evoluzione nel lungo termine del reticolo idrografico (catture, subsidenza ed altri fenomeni di neotettonica) può 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 muovendosi 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 una 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 2.17):

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

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

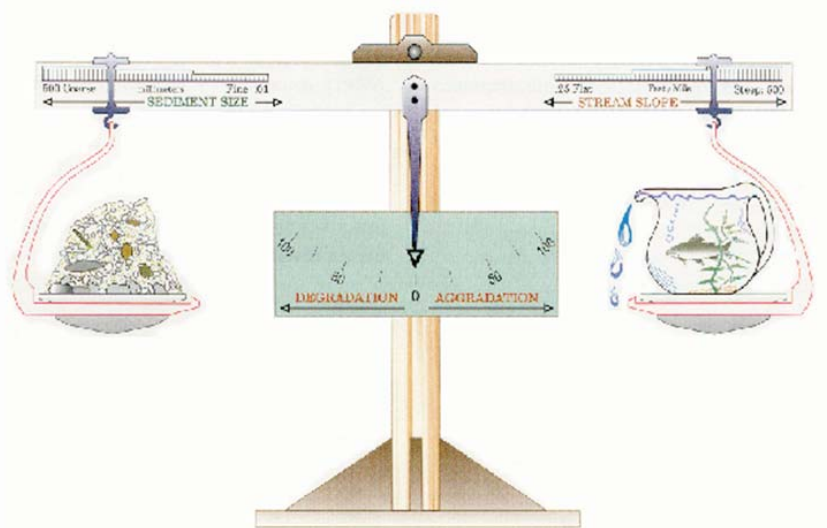


Figura 2.17 – Modello concettuale delle risposte di un alveo fluviale ad alterazioni dell'equilibrio dinamico (da LANE, 1955).

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

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

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

Per quanto riguarda le *variazioni altimetriche del fondo*, si può inquadrare il problema attraverso la cosiddetta bilancia di Lane. Alterazioni dell'equilibrio generate da un incremento dell'energia della corrente (o potenza), una riduzione della portata solida o delle dimensioni dei sedimenti, possono causare un abbassamento generalizzato della quota del fondo, definito *incisione* (*incision* o *degradation*). Viceversa, nel caso di una riduzione di energia della corrente o di un incremento della

quantità o dimensioni dei sedimenti trasportati, si verifica normalmente un innalzamento generalizzato della quota del fondo, indicato con il termine di *sedimentazione (aggradation)*. Tali processi possono interessare tratti molto lunghi, fino ad un intero sistema fluviale, e possono alternarsi sistematicamente in tratti diversi del bacino. L'incisione tende infatti a migrare verso monte attraverso il meccanismo di erosione regressiva (*nickpoint migration*), mentre a valle si possono avere fasi successive di sedimentazione indotte dal materiale prodotto dall'incisione ed eventualmente dall'allargamento indotto dall'instabilità delle sponde nei tratti a monte (SCHUMM *et alii*, 1984; SIMON, 1989). Questi fenomeni differiscono dai processi di erosione o di sedimentazione localizzata (*local scour o fill*), i quali sono invece legati a variazioni locali e sono limitati a brevi tratti (ad esempio a monte e a valle di una briglia).

Esiste un'ampia letteratura internazionale relativa alle risposte di un sistema fluviale a disturbi ed interventi antropici. Tagli di meandro, restringimenti e canalizzazioni hanno l'effetto prevalente di incrementare l'energia (o la capacità di trasporto) del fiume come conseguenza dell'incremento di pendenza e/o della riduzione di larghezza. Ciò induce un'incisione, la quale può essere seguita da una fase di sedimentazione nei tratti a valle del sistema, favorita dall'alimentazione di sedimenti mobilizzati nei tratti a monte dall'incisione stessa (DANIELS, 1960; KELLERHALS, 1982; WINKLEY, 1982; GREGORY, 1984; SCHUMM *et alii*, 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. E' ampiamente documentato in letteratura (ad es: GREGORY & PARK, 1974; PETTS, 1984; WILLIAMS & WOLMAN, 1984) come il primo fattore prevalga sul secondo causando quindi una fase di incisione a valle della diga.

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

Gli interventi a scala di bacino, se protratti per lunghi periodi di tempo e su vaste aree, possono avere rilevanti effetti sul bilancio sedimentario del corso d'acqua. I disboscamenti hanno l'effetto di accelerare l'erosione del suolo sui versanti, determinando un incremento della quantità di materiale che va ad alimentare il trasporto solido nella rete idrografica e favorendo condizioni di sedimentazione negli alvei fluviali (COSTA, 1975; KNOX, 1977). Al contrario i rimboschimenti e le sistemazioni idraulico-forestali possono determinare una consistente riduzione dell'apporto solido nella rete idrografica e favorire incisione negli alvei.

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

variabili guida (portate liquide e solide) con una serie di variabili relative alla forma dell'alveo:

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

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 meno 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, e viceversa un restringimento (w^-).

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

Vari studi condotti a partire dagli inizi degli anni '80, relativi a sistemi fluviali impostati prevalentemente in depositi loessici negli Stati Uniti sudorientali e caratterizzati da sponde coesive, hanno messo in evidenza una successione di diversi tipi di variazioni morfologiche (incisione, allargamento, sedimentazione), che si susseguono sistematicamente nello spazio e nel tempo. Gli schemi evolutivi ricavati, i quali riportano una precisa sequenza temporale dei processi dominanti di aggiustamento, sono indicati con il termine di modelli geomorfologici concettuali di evoluzione (*CEMs: Channel Evolution Models*) (SCHUMM *et alii*, 1984; WATSON *et alii*, 1986; SIMON & HUPP, 1986; SIMON, 1989). Il modello a sei stadi di evoluzione (SIMON & HUPP, 1986; SIMON, 1989) (Figura 2.18) è stato sviluppato per descrivere l'evoluzione di fiumi del West Tennessee (USA) soggetti ad estesi interventi di canalizzazione e tagli di meandro durante il secolo scorso. Tale modello è basato sulla migrazione verso monte dell'abbassamento del fondo (*nickpoint migration*) e sulla conseguente sostituzione spazio-temporale dei processi di aggiustamento (*space for time substitution*). Nel modello viene considerato come stadio iniziale (*stadio I*) l'alveo fluviale nelle sue condizioni indisturbate. Lo *stadio II* è idealmente rappresentativo della fase di disturbo (in questo caso la canalizzazione), in seguito alla quale si instaura una fase di incisione (*stadio III*), seguita da una fase di instabilità delle sponde ed un conseguente allargamento dell'alveo attraverso movimenti di massa (*stadio IV*). Mentre l'incisione migra verso monte, a tale processo subentra una fase di sedimentazione secondaria nei tratti di valle (*stadio V*), determinata dall'alimentazione di sedimenti provenienti dall'incisione stessa e dall'arretramento delle sponde, fino alla completa ristabilizzazione del livello del fondo ed alla tendenza verso il raggiungimento di un nuovo equilibrio dinamico (*stadio VI*).

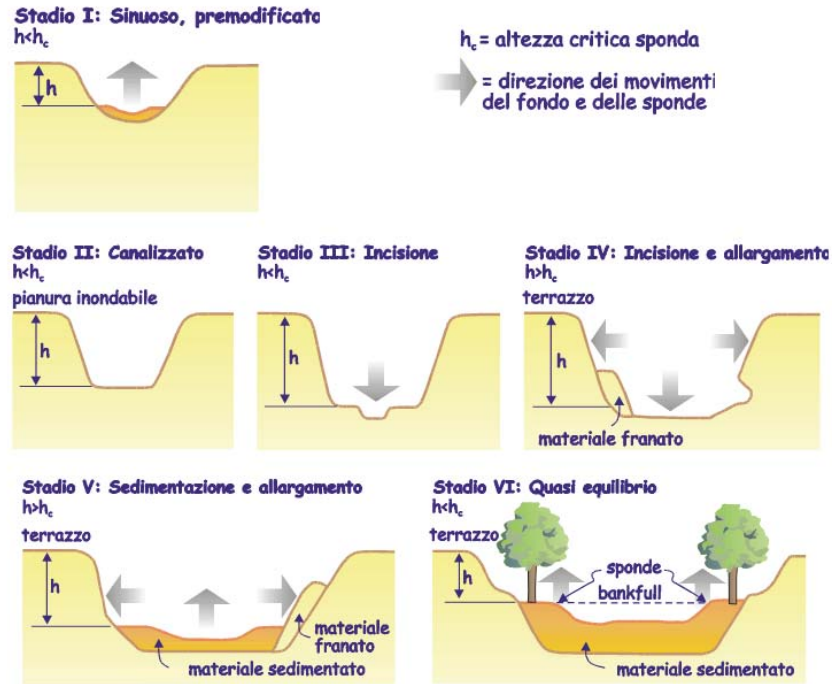


Figura 2.18 –Modello concettuale di evoluzione di alvei fluviali (CEM: *Channel Evolution Model*) (modificato da SIMON, 1989 e da RINALDI & SURIAN, 2005).

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

2.10 Attuali conoscenze sui corsi d'acqua italiani

Nel corso degli ultimi secoli, ed in particolar modo negli ultimi 50-60 anni, la morfologia e la dinamica della maggior parte dei fiumi italiani hanno subito delle profonde trasformazioni, soprattutto a causa di vari interventi antropici (ad esempio costruzione di dighe, prelievo di sedimenti dagli alvei, interventi di canalizzazione, variazioni di uso del suolo). Tali interventi hanno infatti modificato il regime delle portate liquide e di quelle solide, oltre ad aver condizionato altri aspetti, quali la mobilità laterale, fondamentali nella dinamica di un alveo fluviale. L'entità delle variazioni subite dagli alvei è stata considerevole, in quanto in molti casi ha comportato una vera e propria trasformazione morfologica, ossia una modificazione della configurazione planimetrica (ad esempio da un alveo a canali intrecciati ad un alveo di tipo *wandering* o, addirittura, a canale singolo) (Figura 2.19). I processi più diffusi sono stati il restringimento e l'incisione dell'alveo. La larghezza dell'alveo ha subito generalmente una riduzione superiore al 50 %, fino a valori dell' 85-90 %, mentre l'abbassamento del fondo è stato dell'ordine di alcuni metri ma, localmente, anche di 10-12 m (SURIAN & RINALDI, 2003; SURIAN *et al.*, 2009a). Tali processi si

sono manifestati in alcuni corsi d'acqua a partire dal XIX secolo, ma sono stati molto intensi per un periodo relativamente breve, ossia tra gli anni '50 e gli anni '80-'90 del secolo scorso. Le cause di variazioni così intense nella morfologia degli alvei sono state individuate nel prelievo di sedimenti dagli alvei, generalmente il fattore più rilevante, nella costruzione di dighe, in vari interventi di canalizzazione, in variazioni di uso del suolo a scala di bacino (in particolare l'aumento della copertura boschiva) e nelle sistemazioni idraulico-forestali (Figura 2.20).

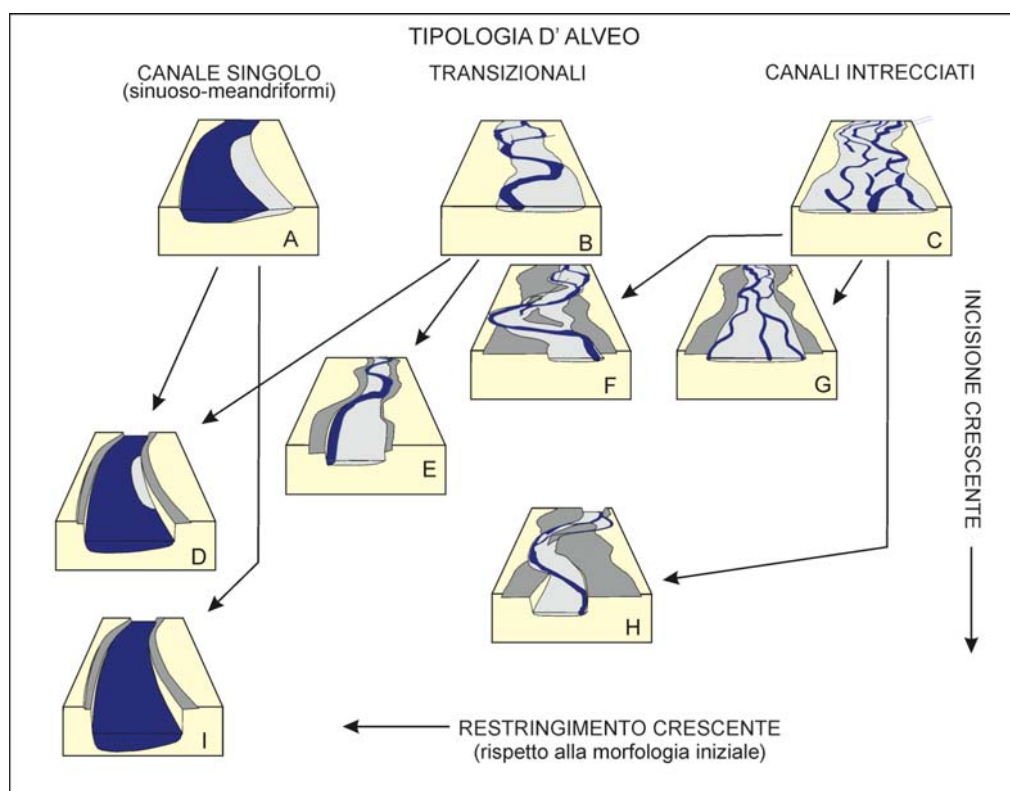


Figura 2.19 - Schema di classificazione delle variazioni morfologiche di fiumi italiani (da SURIAN & RINALDI, 2003, modificato).

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

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

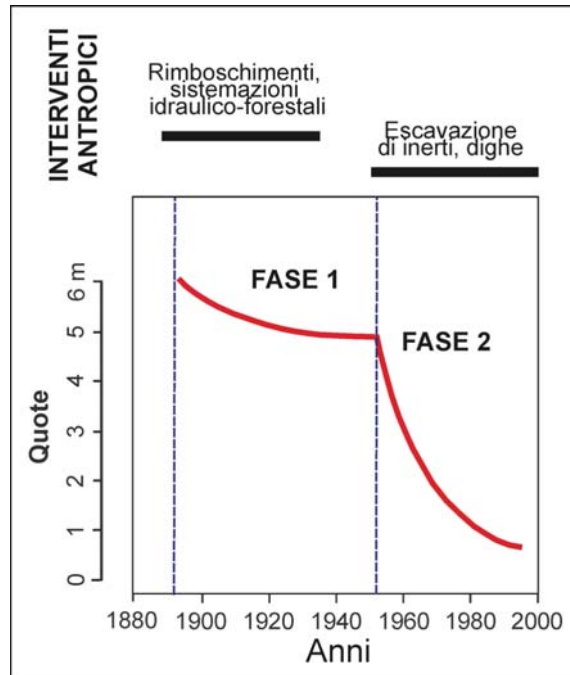


Figura 2.20 – Tipico andamento temporale della quota del fondo in risposta a disturbi antropici durante gli ultimi 100 anni circa osservato per vari fiumi italiani (da SURIAN & RINALDI, 2003 e da RINALDI & SURIAN, 2005, modificato).

Questi studi hanno permesso di definire, almeno per alcuni corsi d’acqua, un modello concettuale di evoluzione, con particolare riferimento ad alvei inizialmente a canali intrecciati o transizionali, che comprende quindi due fasi precedenti di incisione – restringimento e una fase (non sempre evidente) di parziale recupero morfologico. La Figura 2.21 rappresenta tale tipo di evoluzione per alcuni alvei fluviali appenninici (Magra, Vara, Cecina, Panaro: RINALDI *et al.*, 2008).

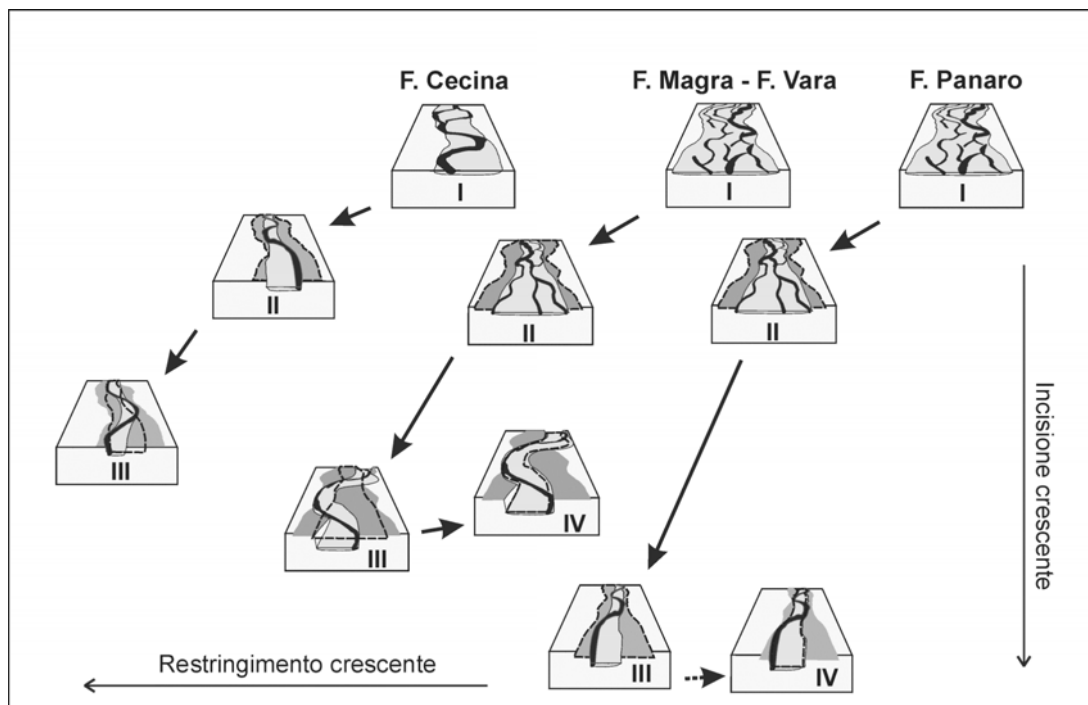


Figura 2.21 - Modello evolutivo relativo ad alcuni casi di studio appenninici (da RINALDI *et al.*, 2008, modificato).

CAPITOLO 3 – STRUTTURA METODOLOGICA

3.1 Concetto di stato di riferimento

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

Fatte queste premesse, alternativamente all'identificazione dello stato di riferimento con una situazione 'primitiva', in maniera più pragmatica alcuni autori concordano nel ritenere che lo **stato di riferimento** di un corso d'acqua sia **identificabile in prima approssimazione con quelle condizioni idromorfologiche che esisterebbero, nelle attuali condizioni del bacino, in assenza di influenza antropica in alveo, nelle zone riparie e nella pianura adiacente.**

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

meno rilevante, sia perché essi sono meno suscettibili di modificazioni morfologiche apprezzabili (a causa dei controlli della posizione del fondo e delle sponde esercitati dal contatto diretto con substrato roccioso e versanti) che per la difficoltà oggettiva di carattere metodologico di rilevare variazioni rispetto ad una situazione del passato. Si ritiene che un intervallo di tempo significativo possa essere quello degli ultimi 50 – 100 anni, in particolar modo a partire dagli anni '50 del secolo scorso, soprattutto in virtù del fatto che gli aggiustamenti morfologici più intensi nei corsi d'acqua di pianura in Italia sono avvenuti proprio in questo intervallo di tempo. Gli anni '50 sono quindi presi come situazione significativa per l'analisi delle variazioni morfologiche planimetriche dell'alveo, ma ciò non significa che rappresenti la condizione di riferimento rispetto alla quale misurare lo scostamento (in quanto non è detto che tutti gli aspetti siano peggiorati rispetto a tale epoca). La scelta degli anni '50 come situazione di confronto della morfologia planimetrica è motivata da due ragioni: (1) dal punto di vista metodologico, in quanto è disponibile una copertura a scala nazionale di foto aeree (volo IGM GAI 1954-55); (2) dal punto di vista concettuale, la situazione degli anni '50 può essere considerata generalmente con un'influenza antropica ancora contenuta, e più rappresentativa, rispetto a situazioni precedenti quali la fine del XIX sec., del possibile massimo recupero morfologico che è lecito attendersi nei prossimi decenni qualora venissero rimosse le cause di alterazione morfologica in alveo, fermo restando le condizioni dei versanti a scala di bacino (RINALDI *et al.*, 2009a; SURIAN *et al.*, 2009c) (Figura 3.1).

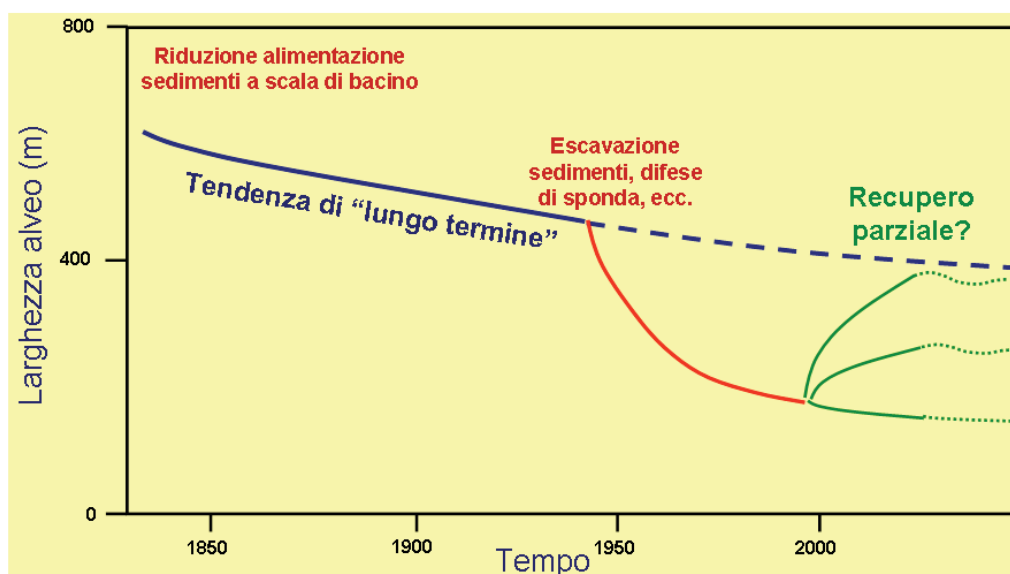


Figura 3.1 - Schema evolutivo delle larghezze osservate in alcuni tratti del F. Magra (modificato da RINALDI *et al.*, 2008): sovrapposizione del trend di lungo termine, legato a variazioni di produzione di sedimenti a scala di bacino, con il trend determinato dalla fase di maggiore disturbo legata all'escavazione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

Articolando la valutazione dello stato attuale in **tre componenti** (come esplicitato più avanti), vale a dire **funzionalità geomorfologica, artificialità e variazioni morfologiche**, la precedente definizione di **stato di riferimento** viene ad identificarsi con le seguenti condizioni: (1) **piena funzionalità dei processi geomorfologici** tipici che caratterizzano una determinata morfologia fluviale (condizione di equilibrio dinamico); (2) **assenza di artificialità**; (3) **assenza di variazioni significative** di forma, dimensioni e quota del fondo in un arco temporale degli ultimi 50 - 100 anni che sarebbero sintomo di avvenute alterazioni.

3.2 Metodologie di analisi

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

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

(2) **Analisi e misure sul terreno.** Queste prevedono osservazioni di vario tipo e misure condotte con vari strumenti (analisi granulometriche, misure topografiche, analisi geomorfologiche, ecc.).

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

(1) **Campi di applicazione di analisi GIS da telerilevamento.** Per quanto riguarda le dimensioni dei corsi d'acqua, si fa riferimento alla terminologia proposta da CHURCH (1992), in base alla quale si definiscono: (1) **corsi d'acqua piccoli (P)** quelli con larghezze inferiori a 20 m circa; (2) **corsi d'acqua medi (M)** quelli con larghezze dell'ordine dei 20-30 m; (3) **corsi d'acqua grandi (G)** quelli con larghezze superiori a 30 m. Tale terminologia è adatta per definire le **dimensioni minime** per le quali vengono analizzati alcuni aspetti di **funzionalità morfologica** e, soprattutto, le **variazioni morfologiche**. Per tali aspetti, infatti, le analisi delle caratteristiche dell'alveo da immagini telerilevate (foto aeree o satellitari) possono essere condotte solo per corsi d'acqua grandi, vale a dire per larghezze dell'alveo superiori a 30 m. Per alvei di dimensioni inferiori, gli errori connessi alle misure possono essere dello stesso ordine di grandezza delle variazioni stesse, pertanto le misure non sono in genere attendibili.

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

(2) **Campi di applicazione di analisi e misure sul terreno.** Per le attività condotte sul terreno, non esistono limiti in termini di dimensioni degli alvei investigati. I corsi d'acqua piccoli e medi (larghezza dell'alveo inferiore a 30 m) richiedono ovviamente più osservazioni sul terreno non essendo utilizzabili le immagini telerilevate. Nel caso di corsi d'acqua grandi, la fase sul terreno è importante anche per verificare o integrare quegli aspetti analizzati da immagini (ad esempio la corretta interpretazione di superfici adiacenti all'alveo).

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

3.3 Scale spaziali e temporali

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

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

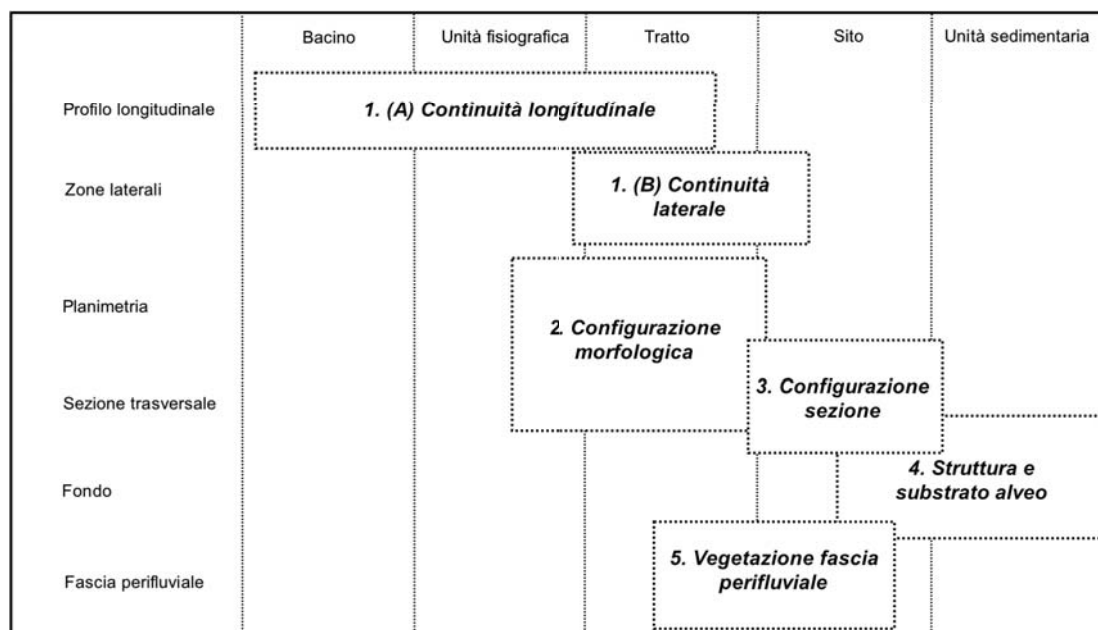


Figura 3.2 - Schema delle scale spaziali e degli aspetti considerati.

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

(2) **Unità fisiografica e segmento.** Le unità fisiografiche (similmente alle *landscape units* di BRIERLEY & FRYIRS) sono aree relativamente omogenee all'interno del bacino per caratteristiche morfologico – fisiografiche (area montuosa, collinare, pianura intermontana, bassa pianura, ecc.). I segmenti sono determinati dall'intersezione degli ambiti fisiografici con il reticolo idrografico. Per quanto riguarda i corsi d'acqua principali del bacino, i segmenti costituiscono dei

“macrotratti” relativamente omogenei che possono anche riflettere i maggiori controlli fisiografico - strutturali del fondovalle (grado di confinamento, andamento e tipologia di valle, ecc.). La loro definizione non è strettamente indispensabile ai fini della classificazione e della valutazione dello stato attuale, ma ha piuttosto un carattere descrittivo.

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

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

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

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

- **Scala geologica** ($10^4 - 10^6$ anni): è la scala che è opportuno considerare per inquadrare le caratteristiche geologiche e fisiografiche del bacino e l'evoluzione del reticolo idrografico nel lungo termine (ad es. catture fluviali, fenomeni di sovrapposizione, ecc.).

- **Scala storica** ($10^2 - 10^3$ anni): utile per comprendere la morfologia naturale dei corsi d'acqua ed i tipi di sistemazioni ed altri tipi di controlli antropici a cui sono stati soggetti.

- **Media scala temporale** (ultimi 100 – 150 anni): è la scala più importante per identificare e comprendere l'attuale forma a seguito di variazioni morfologiche planimetriche (alveo ristretto o allargato) o altimetriche (alveo inciso o aggradato) dei corsi d'acqua. E' la scala di maggiore interesse per studi di carattere applicativo (denominata talora anche *scala gestionale*). Al suo interno si possono ulteriormente distinguere:

- **Scala degli ultimi 10 – 15 anni**: è la scala più adatta per definire le tendenze attuali (alveo in incisione, in sedimentazione o in equilibrio dinamico) (SHIELDS *et al.*, 2003).

- **Scala annuale**: è una scala poco significativa per l'interpretazione delle forme e dei processi evolutivi, mentre può avere qualche effetto temporaneo sulle caratteristiche granulometriche o vegetazionali locali, in funzione degli eventi verificatisi durante l'ultimo ciclo stagionale.

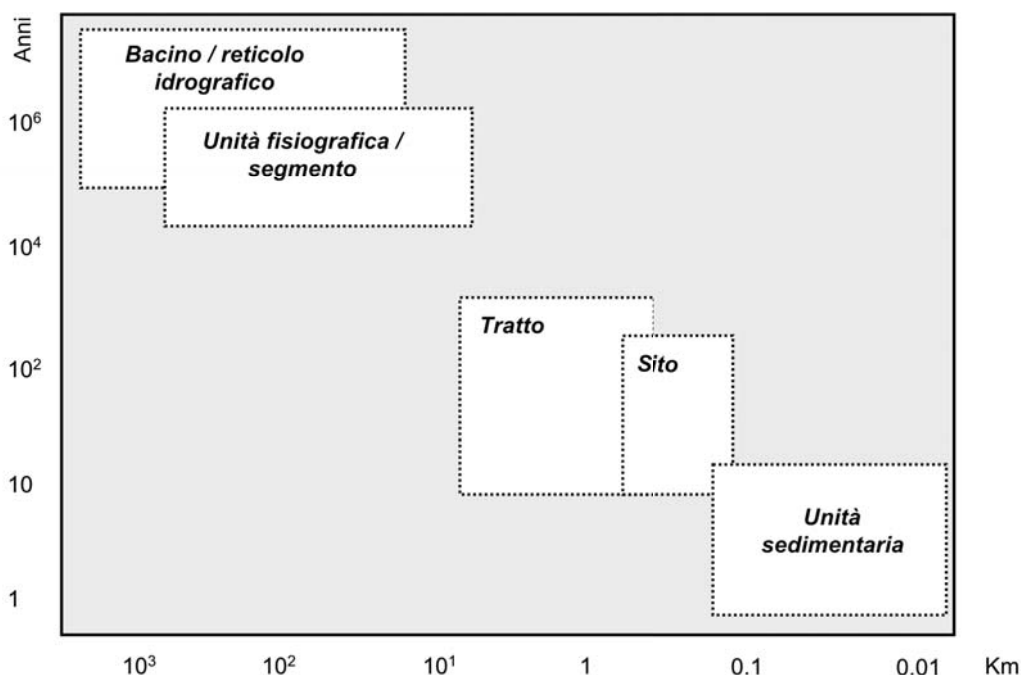


Figura 3.3 – Schema dei rapporti tra scale temporali e scale delle unità spaziali di indagine.

Esistono ovviamente dei legami tra scale temporali più adatte ad inquadrare o interpretare le forme ed i processi e le varie unità spaziali all'interno delle quali si effettuano queste interpretazioni. Uno schema di massima che evidenzia tali interazioni è quello riportato in Figura 3.3, dalla quale si osserva in particolare: (1) il bacino e le unità fisiografiche sono meglio inquadrati alla scala geologica; (2) il tratto ed il sito sono riferibili alle stesse scale temporali (essendo il sito una sotto-unità presa a campione del tratto), vale a dire la media scala temporale, per l'interpretazione delle variazioni morfologiche, e la scala degli ultimi 10 – 15 anni per l'interpretazione delle tendenze attuali, seppure è utile inquadrare l'evoluzione morfologica anche nella scala storica; (3) le unità sedimentarie sono principalmente condizionate dai processi evolutivi degli ultimi 10 – 15 anni, ma possono risentire in una certa misura anche degli eventi di piena più recenti (scala annuale).

Un altro aspetto rilevante legato alle scale spazio-temporali di indagine è quello dell'**ampiezza della regione fluviale**, intesa in senso trasversale al corso d'acqua, entro la quale effettuare le indagini geomorfologiche. L'individuazione di tale fascia, che non può prescindere da valutazioni di carattere ecologico e funzionale oltre che idromorfologico, deve basarsi sul riconoscimento dello spazio che è sede dei processi associati con il funzionamento del sistema fluviale (o che si vuole che rimanga tale in ragione delle misure che Piani specifici o lo stesso Piano di gestione dovranno prevedere). Con riferimento ai processi più propriamente geomorfologico - idraulici, come descritto di seguito, l'ampiezza di tale fascia può risultare variabile a seconda dei diversi processi e dei relativi parametri che si intendono misurare, nonché a seconda della scala temporale a cui si fa riferimento (in teoria, il limite esterno di tale fascia si può identificare con l'intera pianura alluvionale).

(1) Per quanto riguarda gli aspetti legati alla **continuità idraulica laterale** (ad esempio l'identificazione di forme fluviali nella pianura parzialmente disconnesse ma periodicamente riattivabili), può ritenersi significativo fare riferimento almeno alle *aree inondabili con $T=200$ anni*. Tuttavia in molti casi le aree in grado di contenere piene con tale tempo di ritorno sono ristrette a causa della presenza di argini a poca

distanza dal corso d'acqua e/o a causa della forte incisione dell'alveo. In tali situazioni è pertanto opportuno fare riferimento all'intera **pianura alluvionale**, identificabile con quanto riportato sulle Carte Geologiche come "Alluvioni attuali" o le Alluvioni più recenti non terrazzate.

(2) Per quanto riguarda gli aspetti più strettamente legati alla **mobilità laterale** dell'alveo, è più opportuno fare riferimento al concetto di *fascia di mobilità funzionale* o di *fascia erodibile*, definibile come lo spazio disponibile per le migrazioni laterali dell'alveo che il corso d'acqua può potenzialmente rioccupare, riconosciuto sulla base della dinamica passata e futura (potenziale) (MALAVOI *et al.*, 1998; PIÉGAY *et al.*, 2005). L'ampiezza di tale fascia dipende dalla scala temporale a cui si fa riferimento nella ricostruzione delle variazioni passate (più aumenta tale scala temporale e maggiore è l'ampiezza). Per applicazioni pratiche, si fa in genere riferimento ad un intervallo temporale degli ultimi 100 anni o, più spesso, soprattutto in un contesto fortemente antropizzato come quello italiano, si ritiene sufficientemente significativo l'intervallo degli ultimi 50 anni (BARUFFI *et al.*, 2005; RINALDI, 2006; RINALDI & SIMONCINI, 2006; RINALDI *et al.*, 2009a).

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

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

3.4 Aspetti trattati e suddivisione in fasi

Al fine di differenziare le tipologie fluviali suddividendo il reticolo in tratti relativamente omogenei, la prima fase della valutazione è quella di **inquadramento e classificazione iniziale**. Tale classificazione viene effettuata in funzione soprattutto del contesto fisiografico, del grado di confinamento e della morfologia dei corsi d'acqua. Successivamente hanno inizio le fasi di **valutazione delle condizioni attuali**. A tal fine si fa riferimento a vari aspetti tra quelli riportati nelle norme CEN (2002) e precedentemente richiamati, ma secondo una riorganizzazione sequenziale che comprende nell'ordine (Tabella 3.1): (1) continuità longitudinale e laterale; (2) configurazione morfologica (o pattern); (3) configurazione della sezione; (4) struttura e substrato dell'alveo; (5) caratteristiche della vegetazione nella fascia perifluviale.

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

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

- (1) **Continuità** (longitudinale e laterale);
- (2) **Morfologia**, comprendente la configurazione morfologica, la configurazione della sezione e la struttura e substrato dell'alveo;
- (3) **Vegetazione** nella fascia perifluviale.

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

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

Gli aspetti che vengono considerati per la valutazione dello stato attuale e per il monitoraggio futuro comprendono sia elementi artificiali che caratteristiche morfologiche naturali. Gli elementi artificiali possono avere un impatto diretto sugli aspetti morfologici di un corso d'acqua, andandone a modificare direttamente le sue caratteristiche naturali (ad es. modificando la forma o interrompendo la continuità del flusso solido). Tuttavia, anche laddove non ci sono impatti diretti in alveo, si possono innescare processi che favoriscono una degradazione fisica del corso d'acqua (ad esempio attraverso un abbassamento del fondo). Infatti gli impatti antropici possono avere effetti anche ad una certa distanza e gli aggiustamenti morfologici possono migrare (verso valle o verso monte) all'interno del sistema fluviale. Tali processi dinamici riguardano soprattutto gli alvei fluviali alluvionali a fondo mobile (cioè quelli che sono classificati come non confinati e, in parte, i semiconfinati). In tale ottica, per alcuni aspetti (in particolare variazioni del fondo e di morfologia planimetrica) è opportuno estendere per tali corsi d'acqua l'analisi in maniera retrospettiva ad un intervallo sufficientemente lungo per poter interpretare le variazioni che possono essere in atto al momento attuale nel contesto di disturbi passati. Si ritiene che un intervallo di tempo significativo possa essere quello degli ultimi decenni, a partire dagli anni '50 circa, soprattutto in virtù del fatto che gli aggiustamenti morfologici più intensi nei corsi d'acqua di pianura in Italia sono avvenuti proprio in questo intervallo di tempo.

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

- 1) **Inquadramento e classificazione iniziale**: vengono delineati i caratteri principali che condizionano i corsi d'acqua all'interno di un bacino e viene effettuata una prima suddivisione degli stessi in segmenti e tratti, funzionale alle fasi successive.
- 2) **Valutazione dello stato attuale**: ogni tratto dei corsi d'acqua in esame viene valutato sulla base delle sue condizioni attuali (funzionalità, artificialità) e delle sue variazioni recenti.
- 3) **Monitoraggio**: per alcuni tratti, scelti come rappresentativi, vengono misurati i parametri ritenuti significativi per capire se il corso d'acqua mantiene le sue condizioni attuali o tende verso un miglioramento o peggioramento.

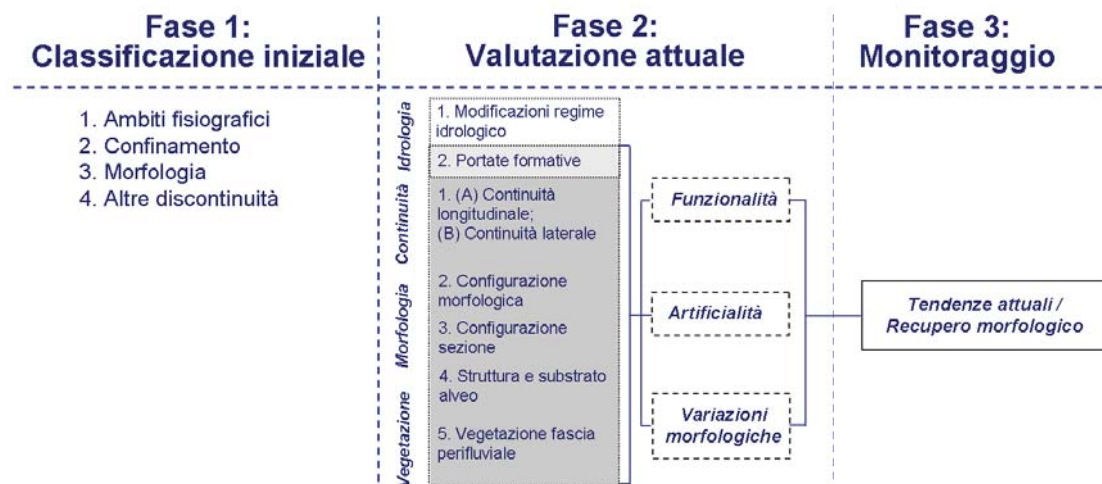


Figura 3.4 - Schematizzazione a blocchi della struttura metodologica.

La struttura complessiva del sistema di valutazione comprende quindi sia aspetti strettamente morfologici che aspetti idrologici e vegetazionali della fascia riparia (Figura 3.4). Per quanto riguarda gli aspetti idrologici, in questa metodologia vengono inclusi solo gli aspetti connessi a quelli morfologici, vale a dire le portate formative, mentre le modificazioni del regime idrologico devono essere trattate separatamente. Le variazioni complessive del regime idrologico (con particolare riferimento alle portate di magra) sono analizzate separatamente e descritte in ISPRA (2009): l'integrazione dei due aspetti permette una completa caratterizzazione e classificazione idromorfologica di un corso d'acqua.

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

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

ultimi 50-60 anni) in modo da verificare se il corso d'acqua abbia subito alterazioni fisiche (ad es. incisione, restringimento) e stia ancora modificandosi a causa di perturbazioni antropiche non necessariamente attuali.

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

- *funzionalità dei processi* (che si identifica con la condizione di equilibrio dinamico);
- *assenza di artificialità*;
- *assenza di variazioni* significative di forma, dimensioni e quota del fondo in un arco temporale degli ultimi decenni. Quest'ultima condizione è ristretta agli alvei alluvionali mobili e che siano stati liberi di modificarsi (non si applica a corsi d'acqua già artificializzati precedentemente in quanto in tali casi l'assenza di variazioni non è sintomo di stabilità morfologica).

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

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

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

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

(1) **Valutazione di primo livello**: classificazione dello stato morfologico attuale. Si basa sulle condizioni attuali di funzionalità ed artificialità e tiene conto delle variazioni morfologiche subite dal corso d'acqua in tempi relativamente recenti (ultimi 50 anni) come risultato di alterazioni antropiche passate. Tale valutazione può essere effettuata su singoli tratti del reticolo idrografico con limitate informazioni delle condizioni a scala di bacino e consente quindi una prima classificazione dello stato idromorfologico tale da permettere di individuare i tratti con maggiori criticità o pregi.

(2) **Valutazione di secondo livello**: analisi degli impatti e delle cause. Esaurita la prima fase su tutti i tratti di un sistema idrografico, è possibile approfondire, anche con l'integrazione di altre informazioni a scala di bacino, la comprensione degli

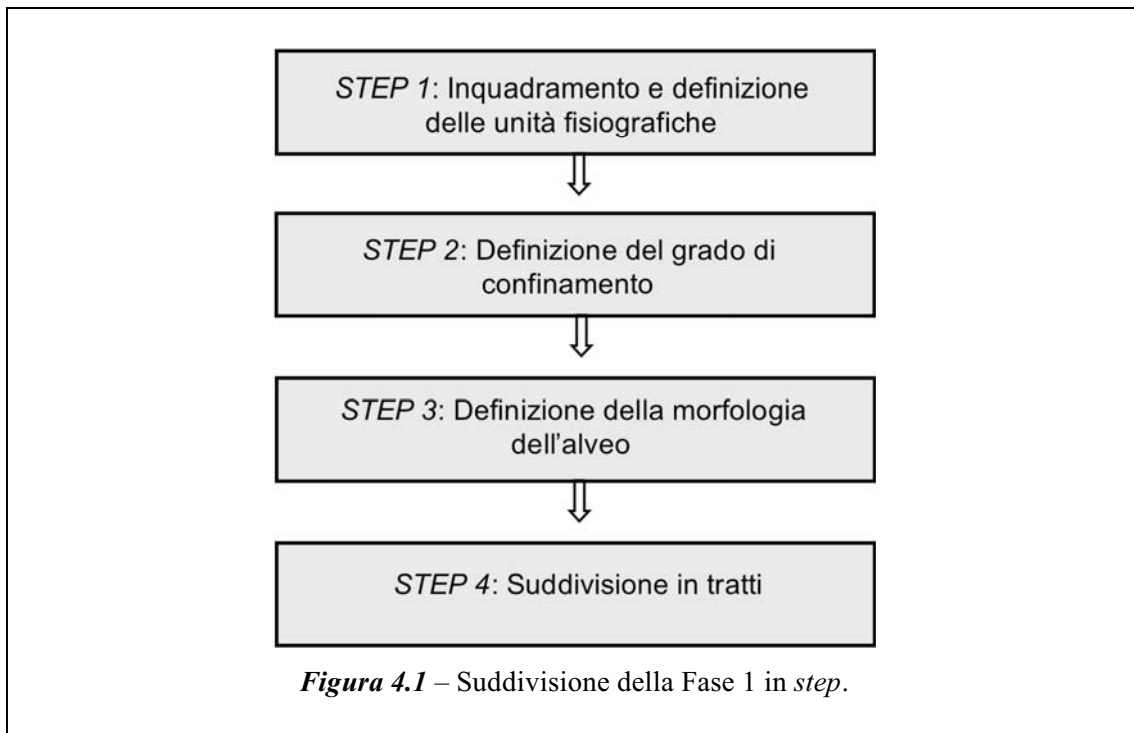
impatti, delle cause e dei rapporti tra tratti o porzioni diverse del bacino. Tale analisi è quindi funzionale alla definizione di azioni e misure per il miglioramento o la preservazione dell'attuale stato idromorfologico nei vari tratti.

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

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

CAPITOLO 4 – INQUADRAMENTO E CLASSIFICAZIONE INIZIALE DEI CORSI D'ACQUA

La prima fase della procedura di valutazione morfologica ha lo scopo di fornire un inquadramento delle condizioni fisiche dei corsi d'acqua e soprattutto di effettuare una prima suddivisione e classificazione in tratti relativamente omogenei, funzionale alle analisi successive. Questa fase è a sua volta suddivisa in vari *step*, come rappresentato in Figura 4.1 e come descritto dettagliatamente in seguito.



E' 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 di suddivisione di tratti precedentemente individuati, richiedendo una rideterminazione di alcuni parametri misurati negli step precedenti il cui valore dipende dalla lunghezza del tratto (ad es. parametri di confinamento, indice di sinuosità, ecc.). Si suggerisce pertanto di partire con una **suddivisione iniziale di tentativo**, avendo già dall'inizio presenti i criteri relativi ad ognuno dei 4 step, per poi perfezionarla progressivamente.

4.1 Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche (step 1)

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

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

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

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

Descrizione

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

Denominazione	Note
<i>Settore Alpino e Pianura Padana</i>	
1. Aree montuose alpine	Aree a quote elevate, con valli frequentemente ereditate da forme glaciali.
2. Aree montuose e collinari prealpine	Comprendono la fascia montuosa e collinare prealpina, inclusi i rilievi collinari corrispondenti agli apparati morenici (anfiteatri morenici).
3. Alta pianura	Comprende la fascia pedemontana a partire dagli apici dei conoidi. E' caratterizzata da pendenze superiori a 0.15 % (CASTIGLIONI & PELLEGRINI, 2001) e tessiture dei sedimenti in genere grossolane (ghiaia grossolana). Include le alte pianure sublacuali. Può essere indicata come Alta pianura "antica" quando è costituita da terrazzi antichi (in tal caso l'alveo può essere confinato).
4. Bassa pianura	Comprende le porzioni di pianura padana e veneto – friulana con pendenza inferiore a 0.15 % (CASTIGLIONI & PELLEGRINI, 2001), con sedimenti in prevalenza fini (ghiaia fine, sabbie e limi).
<i>Settore Appenninico ed Isole</i>	
1. 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.
2. 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.
3. Pianure intermontane appenniniche	Pianure (conche) intermontane di origine tettonica, frequenti sul versante appenninico tirrenico.
4. Rilievi interni	Rilievi interni del versante tirrenico collinari o montuosi (compresa fascia di vulcanismo vulsino – campano) e rilievi della Sardegna.
5. Alta pianura (o pianura prossimale)	Pianura con maggiore pendenza, generalmente a partire dagli apici dei conoidi fino alla loro base.
6. Bassa pianura (o pianura distale)	Pianura a minore pendenza. Comprende la pianura costiera.

Tabella 4.1 - Principali unità fisiografiche.

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

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

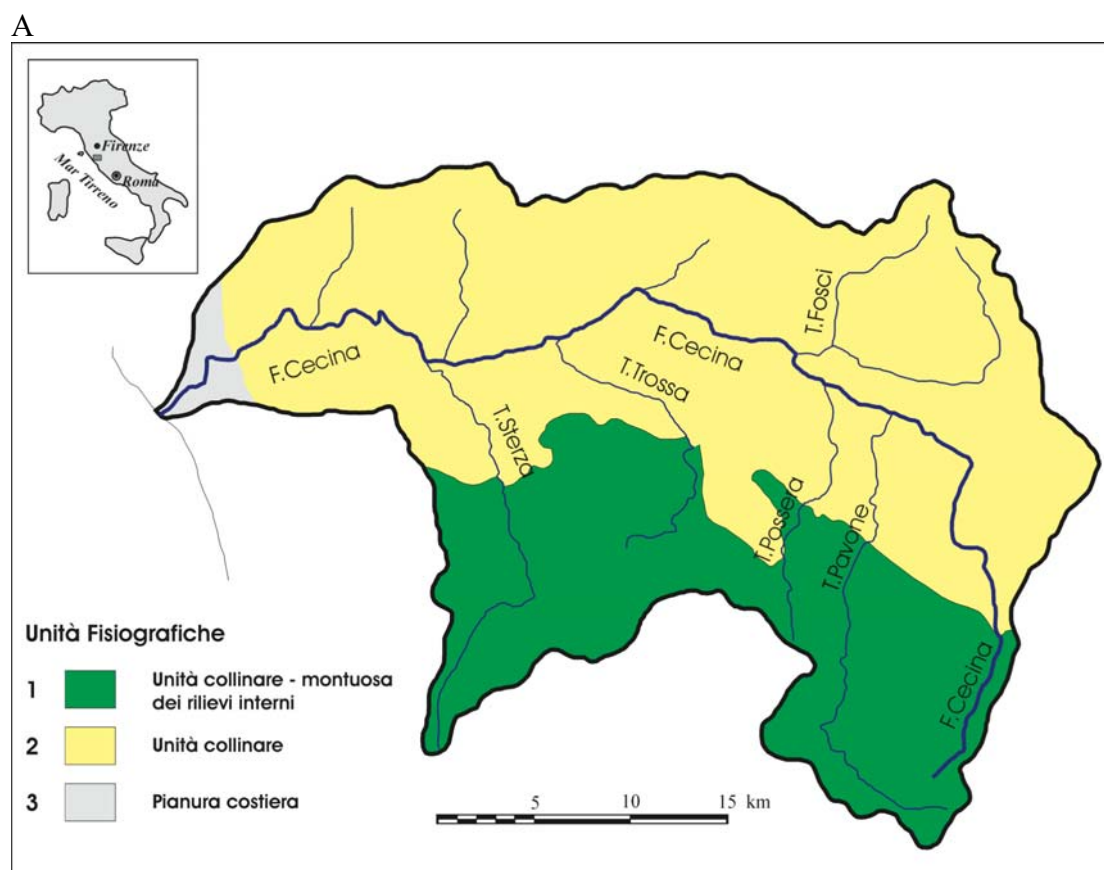


Figura 4.2 – Esempio di suddivisione del bacino del Fiume Cecina (Toscana meridionale) in unità fisiografiche. A) Definizione delle unità fisiografiche; B) Foto panoramica relativa all'unità collinare-montuosa; C) Foto relativa all'unità collinare.

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

- Le pianure, per essere considerate come unità fisiografiche a sé stanti, devono avere una larghezza significativa (qualche km). I corsi d'acqua all'interno di pianure sono di norma non confinati.

- Nel caso di fasce di pianure di larghezza limitata (ad esempio 1 – 2 km) presenti all'interno di bacini prevalentemente collinari o montuosi, esse possono essere incluse in un'unità fisiografica collinare e/o montuosa, seppure si può tener conto della loro presenza o meno nella definizione dei segmenti (in base al confinamento) (si veda a tal proposito la Figura 4.3).

- Le tipologie di pianura riportate in Tabella 4.1 sono da considerarsi indicative, soprattutto per il settore appenninico ed isole dove esiste una maggiore variabilità di situazioni ed è difficile effettuare generalizzazioni (per il settore alpino e padano la distinzione tra alta e bassa pianura è consolidata). Nel caso di più tratti di pianura in uno stesso bacino, un'eventuale suddivisione in alta e bassa pianura può avvenire sulla base di un profilo longitudinale della stessa, individuando significative discontinuità di pendenza (non necessariamente coincidenti con il limite utilizzato per il settore alpino – padano). In alcuni casi, quando ad esempio si hanno più porzioni di pianura con pendenze marcatamente differenti, è possibile definire anche unità di media pianura laddove ritenuto significativo.

- Le pianure intermontane sono pianure di dimensioni sufficientemente grandi che sono interrotte a valle da una soglia (chiusura della valle) (per piccole pianure intermontane esse vengono inglobate nell'unità collinare – montana entro la quale si inseriscono).

- Le pianure costiere del settore appenninico ed isole possono essere considerate come bassa pianura quando presentano una sufficiente estensione laterale e continuità con i bacini limitrofi (ovvero si abbandona completamente l'ambito collinare – montuoso) e sono in genere accompagnate anche da una variazione tessiturale dei sedimenti (presenza di sabbie costiere). Le pendenze sono generalmente basse, ma non necessariamente paragonabili alla bassa pianura del settore alpino – padano.

I tratti dei corsi d'acqua compresi all'interno di ogni unità fisiografica sono denominati **segmenti**. Essi derivano dall'intersezione dei corsi d'acqua con i limiti di unità fisiografica e rappresentano una prima suddivisione in macro-tratti omogenei, funzionale alla successiva definizione dei tratti. All'interno di una stessa unità fisiografica, è possibile distinguere più segmenti in funzione prevalentemente del confinamento (valutato in prima approssimazione, mentre una misura più precisa viene effettuata nello step successivo) (Figura 4.3), delle caratteristiche morfologiche della valle e del profilo longitudinale del corso d'acqua (significative variazioni della pendenza del fondo). In alcuni casi, si può tener conto anche delle principali variazioni di direzione della valle dovute ai principali controlli tettonici dell'area. Si tenga tuttavia presente di evitare una eccessiva frammentazione dei corsi d'acqua in segmenti.

Suddivisione in unità fisiografiche e segmenti

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

1. Si delimitano arealmente le diverse unità fisiografiche (Figura 4.2).
2. Dall'intersezione dei limiti delle unità fisiografiche con i corsi d'acqua si determina una prima suddivisione in segmenti (Figura 4.3). Un segmento, se non suddiviso ulteriormente, è un'unità lineare corrispondente ad un'unità fisiografica.

3. In ambito collinare – montuoso, ogni corso d’acqua deve corrispondere ad (almeno) un segmento. Non esiste pertanto un limite inferiore di lunghezza dei segmenti.

4. Per quanto riguarda il corso d’acqua o i corsi d’acqua principali del bacino, nei loro tratti di pianura, il segmento ha di norma lunghezze maggiori, generalmente dell’ordine di diversi km (ma anche in questo caso non esiste un limite inferiore rigido).

5. Il grado di confinamento valutato in prima approssimazione (tratti prevalentemente confinati, semiconfinati o non confinati) (Figura 4.3), la direzione della valle, quando ritenuta significativa (soprattutto nelle porzioni collinari montane dei principali corsi d’acqua si può tenere conto di marcate variazioni di direzione legate a controlli tettonico – strutturali), e le variazioni più significative della pendenza del fondo possono essere elementi da considerare per un’ulteriore suddivisione in segmenti.

Altre informazioni / dati: una volta individuati i segmenti, è utile definire per ognuno di essi i seguenti parametri:

- **Area di drenaggio** sottesa (valutata al limite di valle del segmento);
- **Pendenza media della valle.**

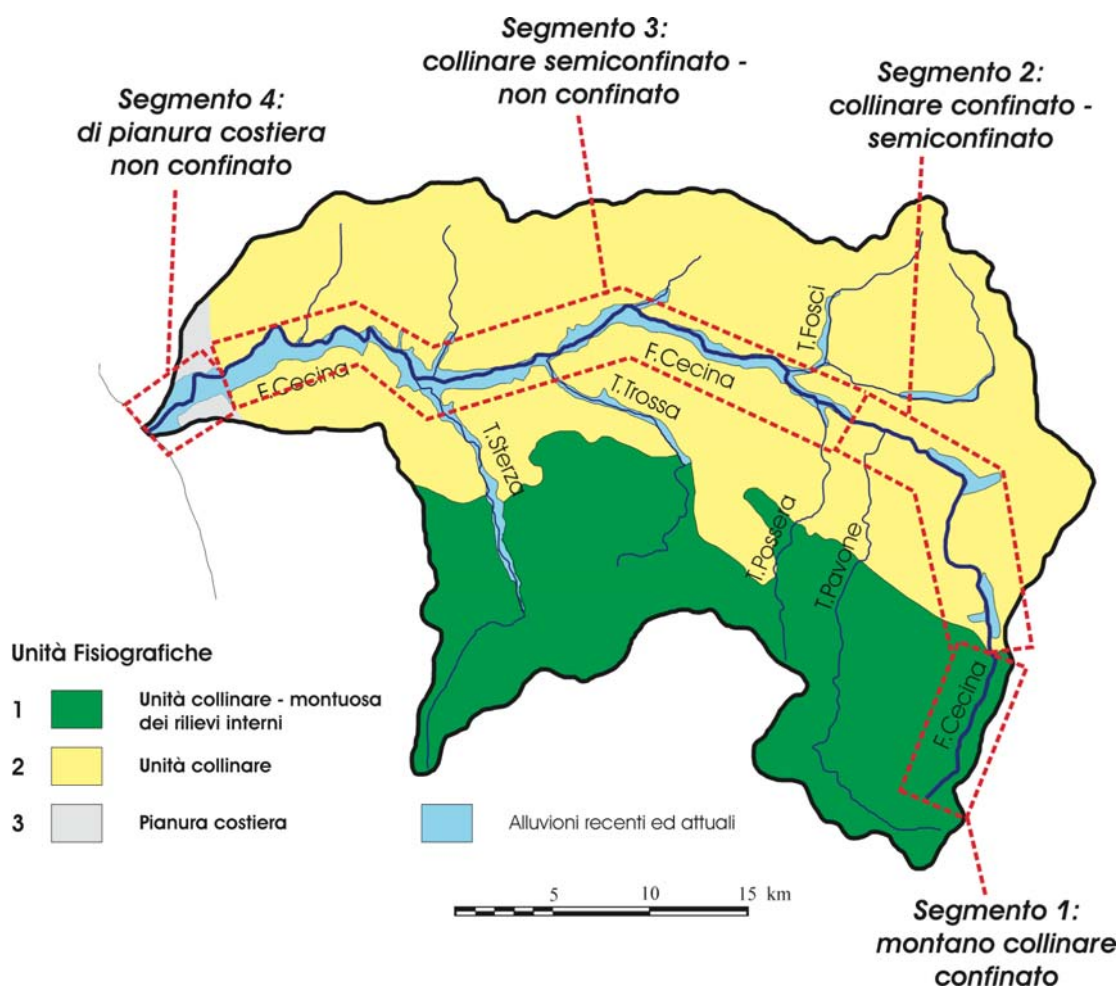


Figura 4.3 – Esempio di suddivisione in segmenti del Fiume Cecina. Si noti che i segmenti 1 e 4 corrispondono ad unità fisiografiche (si veda Figura 4.2), mentre i segmenti 2 e 3 derivano da un’ulteriore suddivisione in base ai caratteri di confinamento nell’attraversamento dell’unità collinare.

4.2 Definizione del grado di confinamento (step 2)

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

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

Metodi: telerilevamento / GIS, carte topografiche e geologiche.

Risultati: i segmenti vengono suddivisi in base al confinamento.

Descrizione

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

- **Grado di confinamento) (Gc)**. Si tratta del grado di confinamento laterale considerato in senso longitudinale, alla scala del segmento o del tratto, cioè a prescindere dall'ampiezza della pianura, e corrisponde alla percentuale di lunghezza del corso d'acqua con sponde non a contatto con la pianura, bensì con versanti o terrazzi antichi. In altri termini esprime la percentuale di lunghezza di un tratto in cui si verifica o meno (presenza/assenza) la condizione di confinamento (contatto diretto con elementi che impediscono la mobilità laterale).

La pianura è qui intesa come la *pianura alluvionale* (ossia la massima ampiezza della regione fluviale di indagine: si veda Cap.3), identificabile generalmente sulla Carta Geologica con le "Alluvioni attuali", o comunque con le Alluvioni non terrazzate più recenti presenti nell'area (i terrazzi, nell'analisi del confinamento, sono intesi solo come terrazzi antichi, e non eventuali terrazzi recenti formati per incisione dell'alveo durante l'ultimo secolo). In prossimità della foce la pianura può includere i depositi costieri moderni (dune attuali e recenti, sabbie di spiaggia attuale, sabbie eoliche recenti, ecc.) che siano in continuità morfologica e che presentino caratteristiche di cementazione o addensamento simili a quelle dei depositi fluviali.

Come si misura:

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

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

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

- *Alveo confinato*: pianura assente. Oltre il 90% delle sponde è direttamente in contatto con versanti o terrazzi antichi. Eventualmente la pianura è ristretta a punti isolati (meno del 10% della lunghezza del tratto). Tipico di ambiti montani e collinari, oppure può essere presente lungo fiumi di pianura limitatamente a tratti di separazione (soglie rocciose) tra bacini diversi.

- *Alveo semiconfinato (o parzialmente confinato)*: pianura discontinua. Le sponde sono a contatto con pianura alluvionale per una lunghezza compresa tra il 10 ed il

90% della lunghezza del tratto. Tipico delle principali valli alpine, di zone pedemontane (all'uscita dall'ambito montuoso – collinare e all'ingresso nel fondovalle alluvionale), oppure può essere presente in tratti di separazione (soglie rocciose) tra bacini diversi.

- *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. E' esclusivo delle aree di pianura, ove l'alveo scorre in depositi alluvionali distante dai versanti (vale a dire in ambiente montuoso o collinare un alveo molto raramente, nel caso ad esempio di un fondovalle molto largo, può essere non confinato).

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

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

In base all'indice di confinamento si definiscono le seguenti classi:

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

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

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

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 $\leq n$
Non confinati	Grado di confinamento <10% e indice di confinamento > n

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

Il valore più elevato per alvei a canale singolo è legato al fatto che corsi d'acqua di questo tipo, per poter sviluppare meandri liberi (confinamento basso), necessitano

di una pianura di una certa ampiezza, pari a circa 4.5 volte la larghezza dell'alveo (LEOPOLD & WOLMAN, 1957).

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

Come si misura:

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

4.3 Definizione della morfologia dell'alveo (step 3)

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

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

Metodi: telerilevamento / GIS

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

Descrizione

La classificazione morfologica dell'alveo si basa su vari fattori quali il grado di confinamento, il numero di canali, la forma planimetrica e la configurazione del fondo (per gli alvei confinati). Una prima schematizzazione del sistema di classificazione morfologica si può ricondurre in prima analisi all'ambito fisiografico nel quale il corso d'acqua è inserito (definito nel precedente step), dal quale dipendono le possibili condizioni di confinamento, secondo lo schema riportato in Figura 4.4 e di seguito descritto.

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

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

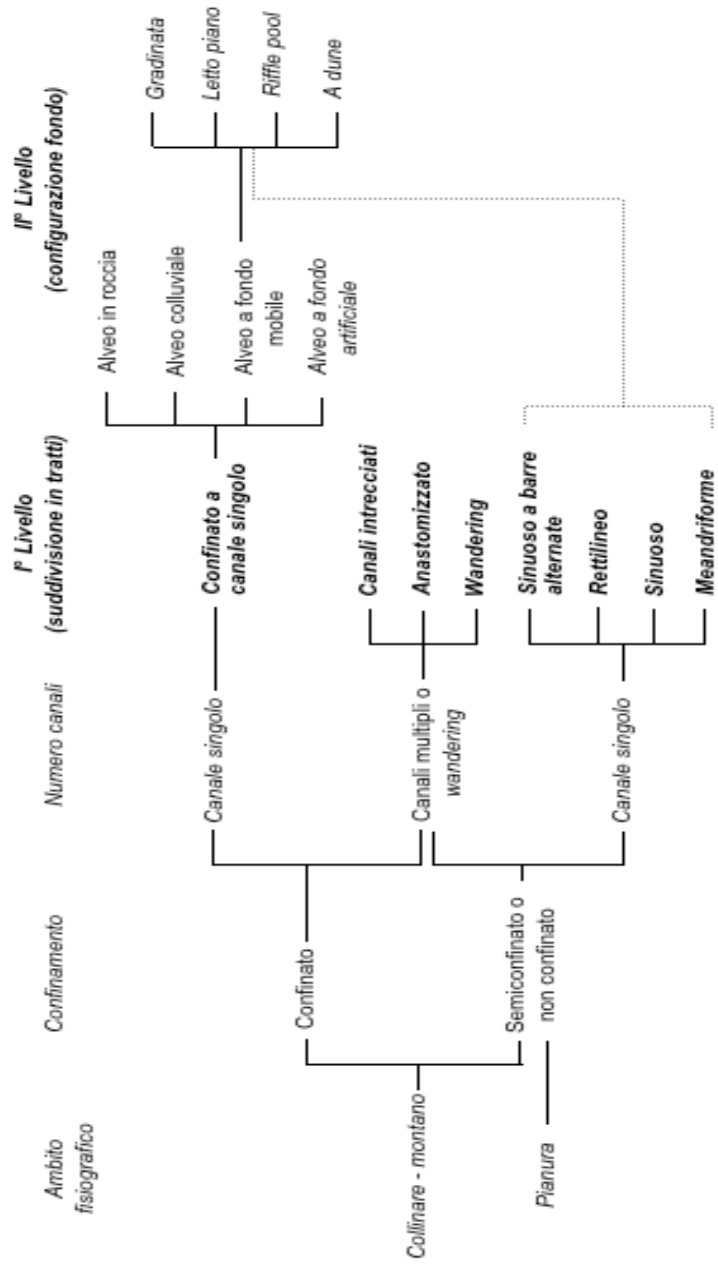


Figura 4.4 - Criteri di classificazione morfologica basata sul tipo di ambito fisiografico, sul confinamento, sulla forma planimetrica e sulla configurazione del fondo. La classificazione di I° livello, funzionale alla suddivisione in tratti, si limita al numero di canali e forma planimetrica (escluso che per i confinati a canale singolo), mentre la configurazione del fondo viene presa in esame nella classificazione di II° livello. Si noti che, nella classificazione di II° livello, per i corsi d'acqua a canale singolo semiconfinati o non confinati si aggiunge a fini descrittivi la configurazione del fondo (quando riconoscibile) (linea tratteggiata).

Classificazione dei corsi d'acqua non confinati o semiconfinati

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

- **Indice di sinuosità (*Is*)**. Si definisce come il rapporto tra lunghezza misurata lungo il corso d'acqua (*l*) e lunghezza misurata lungo la valle (*lv*).

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: tale operazione è necessaria per la definizione della larghezza, alla quale si rimanda (Capitolo 6).
2. Tracciamento dell'asse dell'alveo: si definisce la linea mediana dell'alveo (equidistante ai due limiti esterni).
3. Tracciamento dell'asse della valle (Figura 4.5): rappresenta la direzione della valle. La definizione dell'asse della valle deve tener conto di tutte le variazioni significative di direzione della valle e del tracciato complessivo del corso d'acqua (per lunghezze del corso d'acqua non inferiori a circa 20 volte la larghezza dell'alveo), ed è quindi indipendente dalla definizione dei segmenti ed anche dalla successiva suddivisione in tratti. Quando si verifica un cambiamento di asse della valle, si identifica una sezione singolare sul corso d'acqua e se ne identifica il punto di intersezione con l'asse dell'alveo. Gli estremi dei due segmenti di asse della valle saranno associati univocamente a tale punto tracciando la perpendicolare ai due segmenti passante per quel punto. Nel caso di alvei confinati privi di pianura alluvionale, l'asse della valle si identifica con l'asse dell'alveo (in questi casi l'indice di sinuosità risulterà quindi pari ad 1).
4. Si misurano la lunghezza del corso d'acqua tra i due estremi del tratto lungo l'asse dell'alveo, la corrispondente lunghezza lungo l'asse della valle e se ne fa il rapporto (Figura 4.6).

Nei casi di alvei di piccole dimensioni, per i quali non fosse agevole la determinazione dell'indice da foto aeree, la misura può essere effettuata in alternativa sul terreno tramite rilievo planimetrico (con GPS o stazione totale) dell'asse dell'alveo.

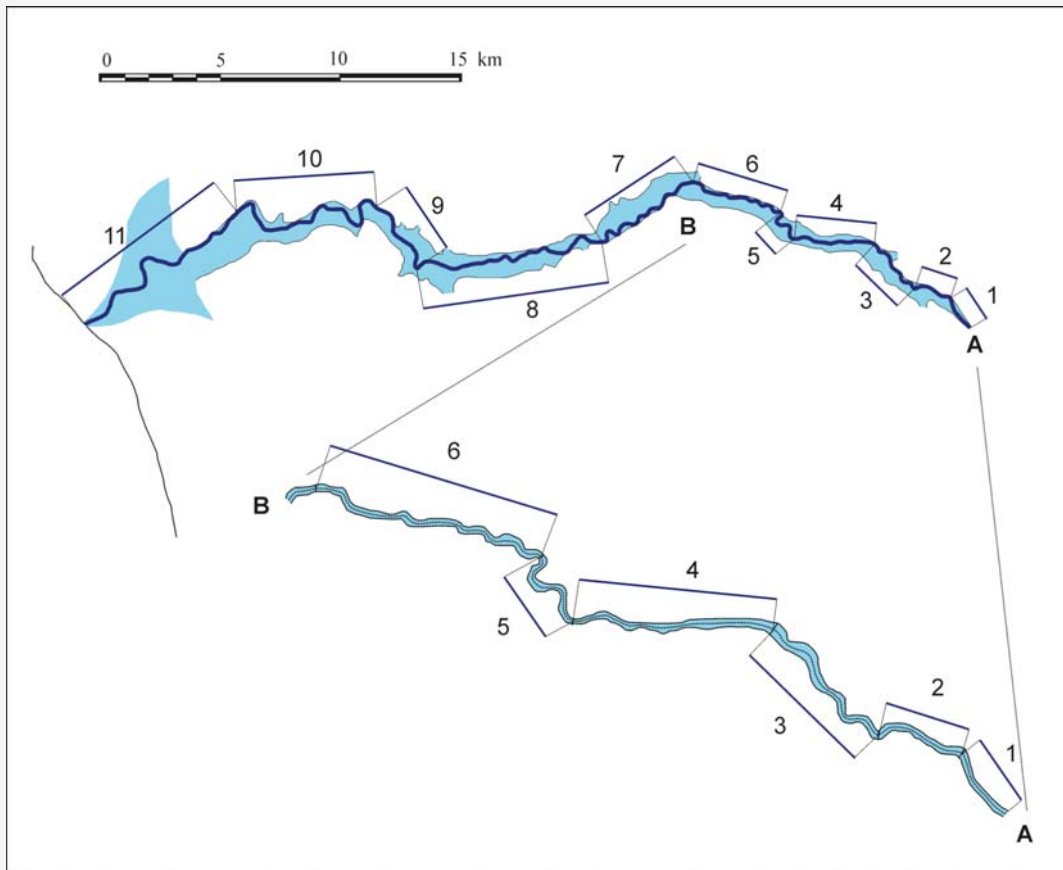


Figura 4.5 – Esempio di definizione dell’asse della valle per tutta la porzione di fiume dove è necessario misurare l’indice di sinuosità. In basso si riporta più in dettaglio il tratto AB per mettere in evidenza le sezioni di variazione dell’asse della valle (la linea tratteggiata rappresenta l’asse dell’alveo).

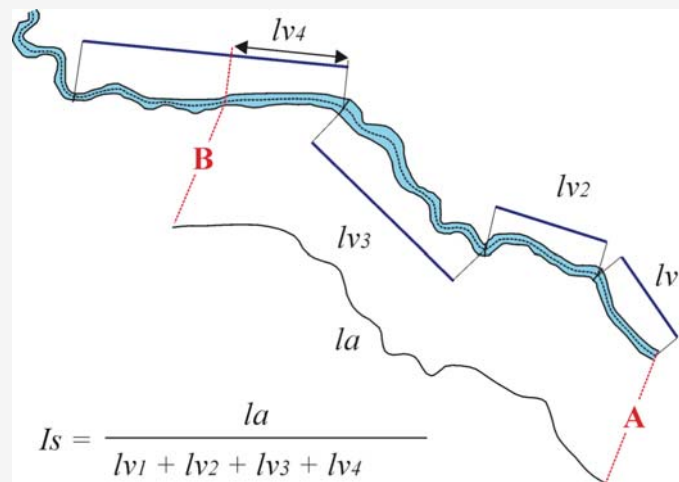


Figura 4.6 – Misura dell’indice di sinuosità in un tratto compreso tra i punti A e B con variazioni dell’asse della valle. l : lunghezza misurata lungo l’asse dell’alveo; lv : lunghezza misurata lungo l’asse della valle.

- **Indice di intrecciamento (Ii)**. Si definisce come il numero di canali attivi separati da barre.

Come si misura:

La misura dell'indice di intrecciamento si effettua, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate (generalmente foto aeree). Le operazioni da effettuare sono le seguenti (Figura 4.7):

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 (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.

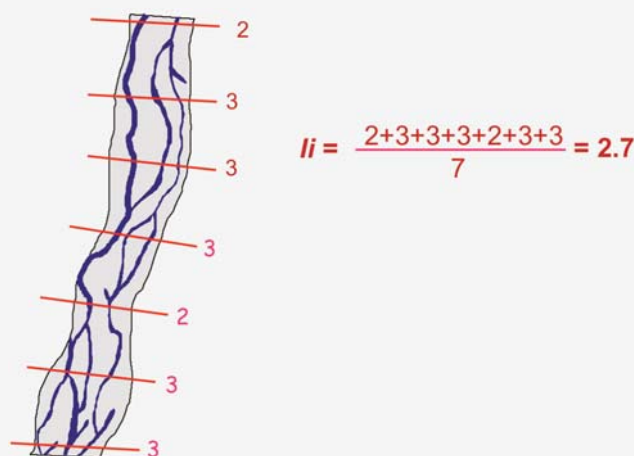


Figura 4.7 – Misura dell'indice di intrecciamento.

- **Indice di anastomizzazione (Ia)**. Si definisce come il numero di canali attivi separati da isole fluviali.

Come si misura:

La misura dell'indice di anastomizzazione si effettua, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate. Le operazioni da effettuare sono analoghe a quelle per la misura dell'indice di intrecciamento, vale a dire (Figura 4.8):

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

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

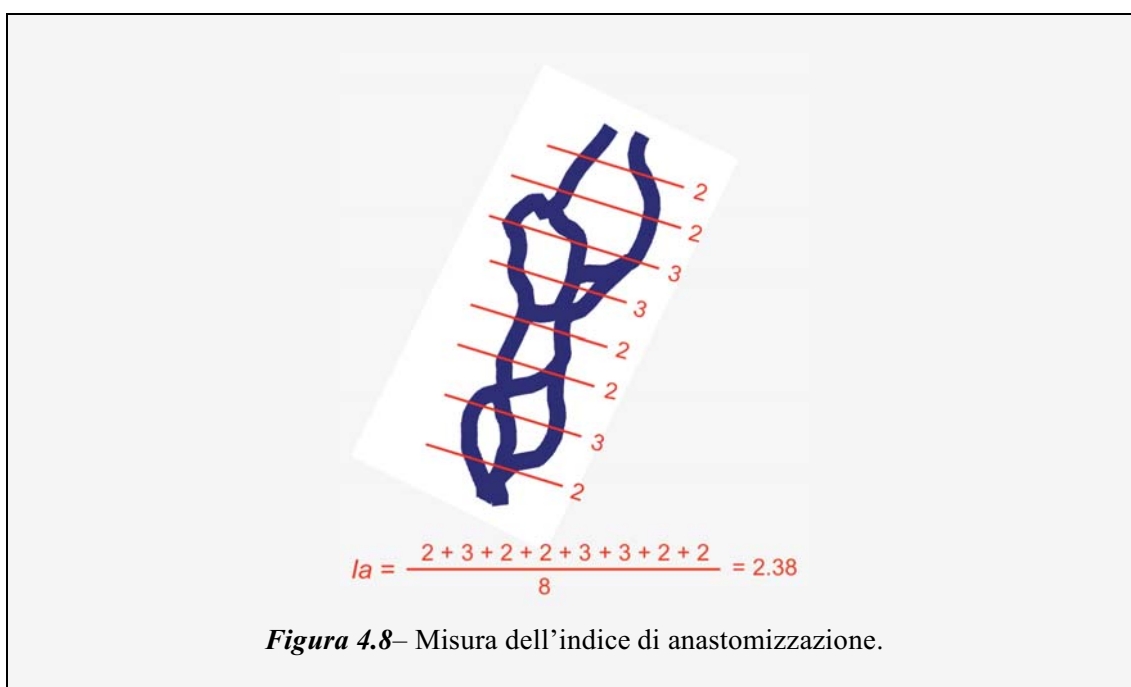


Figura 4.8– Misura dell'indice di anastomizzazione.

Sulla base principalmente dei tre precedenti indici, ai quali si aggiungono per alcune tipologie altre osservazioni (si veda in seguito), viene definita la configurazione morfologica complessiva (o pattern morfologico). A tal fine, si fa riferimento a varie definizioni e classificazioni proposte in letteratura, senza tuttavia adottarne una specifica nella sua totalità, in quanto si ritiene che non esistano classificazioni che siano completamente soddisfacenti per gli scopi di questa metodologia. Pertanto le tipologie qui utilizzate, ed in alcuni casi le soglie dei parametri che le individuano, sono definite appositamente e tengono conto del contesto di applicazione (territorio italiano) e delle esperienze maturate nell'ambito di ricerche condotte a scala nazionale.

Tipologie basate sulla forma planimetrica

- **Rettilineo**. Si tratta di corsi d'acqua a canale singolo, quindi con indice di intrecciamento generalmente pari o prossimo ad 1, e con un indice di sinuosità inferiore ad 1.1, secondo la prima classificazione di LEOPOLD & WOLMAN (1957). In genere sono indicativi di situazioni artificiali (Figura 4.9), in quanto si tratta di una morfologia rara in natura e, quando presente, generalmente non si riscontra per tratti più lunghi di 10 volte la larghezza dell'alveo.



Figura 4.9 – Alveo rettilineo (F.Chiese).

- **Sinuoso.** A differenza dei rettilinei, gli alvei di tipo sinuoso hanno un indice di sinuosità superiore ad 1.1 (Figura 4.10). BRICE (1983) indica alvei a bassa sinuosità quando l'indice è inferiore ad 1.3, e sinuoso – meandriformi quando è superiore, ma il valore superiore comunemente più accettato, che separa i sinuosi dai meandriformi, è quello di 1.5 (LEOPOLD & WOLMAN, 1957). Sia negli alvei sinuosi che anche nei rettilinei possono essere presenti barre, prevalentemente di tipo laterale che spesso si alternano sui due lati. Tuttavia, a differenza dei transizionali, tali barre non sono mai presenti in maniera continua ai lati del canale, cioè la lunghezza delle barre laterali è inferiore al 90% del tratto (per tale parametro si veda il punto 2.4 del Capitolo 6). E' possibile la presenza locale di isole fluviali, ma l'indice di anastomizzazione si mantiene sempre basso (e comunque inferiore ad 1.5).



Figura 4.10 – Alveo di tipo sinuoso.

- **Meandriforme.** Si tratta di un alveo a canale singolo (indice di intrecciamento generalmente pari o prossimo ad 1), caratterizzato da un andamento sinuoso con la formazione di una successione più o meno regolare di meandri (Figura 4.11). Il principale parametro caratterizzante tale morfologia è l'indice di sinuosità: LEOPOLD & WOLMAN (1957) classificarono meandriformi gli alvei con indice superiore ad 1.5.

Seppure tale valore limite (come altri) presenta una certa arbitrarietà, esso è comunemente accettato in letteratura ed è adottato in questa metodologia. Sono possibili varie sotto-categorie di alvei meandriformi, quali ad esempio: (a) meandriformi canaliformi privi di barre di meandro, generalmente caratteristici di tratti di pianura a bassa pendenza e con trasporto solido al fondo limitato; (b) meandriformi con barre di meandro e canali di taglio (*chute cut-off*), nei quali l'indice di intrecciamento può essere localmente più elevato (proprio per la presenza di canali di taglio), e la lunghezza di barre laterali può assumere valori relativamente elevati. E' possibile la presenza locale di isole fluviali, ma l'indice di anastomizzazione si mantiene sempre basso (e comunque inferiore ad 1.5).



Figura 4.11 – Alveo di tipo meandriforme (F.Adda).

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

(a) **Wandering** (Figura 4.12A), sono quegli alvei che presentano un alveo relativamente più largo, con situazioni locali di intrecciamento piuttosto diffuse (quindi un indice superiore ad 1, ma inferiore ad 1.5), oltre che situazioni locali di anastomizzazione, cioè presenza locale di isole (quindi anche l'indice di anastomizzazione può essere superiore ad 1). CHURCH (1983) introdusse il termine *wandering* proprio per indicare una situazione di transizione tra anastomizzato e

meandriforme, ma successivamente il termine è stato esteso ed adoperato più comunemente a situazioni di transizione tra meandriforme e canali intrecciati.

(b) **Sinuoso a barre alternate** (Figura 4.12B): hanno caratteristiche simili ai precedenti, ma l'alveo in genere è relativamente meno largo e presenta minori situazioni di intrecciamento. Esistono numerosi canali di taglio o secondari ma con flussi discontinui o effimeri in condizioni di flusso medio che si attivano solo durante le piene, pertanto l'indice di intrecciamento può risultare anche pari o prossimo ad 1. Analogamente ai *wandering*, essi sono caratterizzati da una sostanziale differenza in dimensioni e pattern planimetrico tra canale di magra ed alveo di piena, con un canale stretto e fortemente sinuoso che scorre all'interno di un alveo in condizioni formative (*bankfull*) con una sinuosità medio – bassa (indice tra 1.1 ed 1.45) (RINALDI, 2003). Per quest'ultima caratteristica alcuni autori hanno a volte adottato anche il termine di 'pseudomeandriformi' (*pseudomeandering*) (TERUGGI & BILLI, 1998; BARTHOLDY & BILLI, 2001) o anche con lo stesso termine *wandering* (BILLI, 1988).

Si noti che, seppure entrambe queste tipologie sono 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.

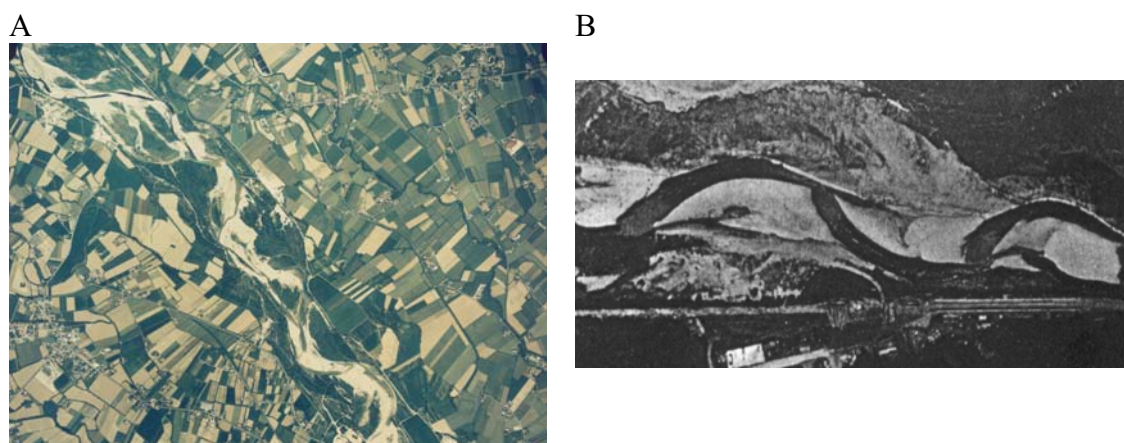


Figura 4.12 – Alvei con morfologie transizionali: A) *wandering*; B) sinuoso a barre alternate.

- **Canali intrecciati**. Si tratta di alvei caratterizzati dalla presenza di più canali separati da barre (Figura 4.13). Il parametro caratterizzante in questo caso è l'indice di intrecciamento: anche per questo indice, in letteratura i valori di soglia proposti non sono sempre omogenei. In questo caso si ritiene che corsi d'acqua con valori superiori ad 1.5 possono essere definiti come a canali intrecciati. Anche in questo caso si possono distinguere varie sotto-tipologie, principalmente: (a) alvei a *braid bars*: i canali sono separati per la quasi totalità da barre, tipici dei tratti pedemontani a più elevata energia; (b) alvei a *braid islands*: sono presenti in numero significativo anche isole fluviali, le quali denotano un passaggio a condizioni di energia leggermente inferiore e/o una tendenza dell'alveo ad allargarsi. Per gli alvei a canali intrecciati l'indice di sinuosità (misurato considerando l'alveo complessivo, in condizioni formative o di *bankfull*) non è molto significativo, e comunque è di norma prossimo ad 1. L'indice di anastomizzazione è prossimo ad 1 negli alvei a *braid bars*, mentre è più elevato (comunque inferiore ad 1.5) negli alvei a *braid islands*.



Figura 4.13 – Alveo a canali intrecciati (Fiume Tagliamento).

- **Anastomizzato**. Si tratta di alvei caratterizzati dalla presenza di più canali separati da isole vegetate, cioè superfici all'incirca alla stessa quota della pianura inondabile (Figura 4.14). A differenza degli alvei a canali intrecciati, nei quali in condizioni formative le barre sono completamente sommerse ed il corso d'acqua perde i caratteri di pluricursale (eccetto laddove siano presenti isole), nel caso degli alvei anastomizzati il pattern rimane pluricursale anche in condizioni di portata ad alveo pieno. Il parametro caratterizzante è l'indice di anastomizzazione: analogamente al caso degli alvei a canali intrecciati, si pone pari ad 1.5 il valore di soglia, al di sopra del quale un corso d'acqua si considera anastomizzato. L'indice di intrecciamento di norma è prossimo ad 1, mentre l'indice di sinuosità (calcolato come media dei singoli canali) può essere relativamente elevato, in quanto i singoli canali possono presentare una sinuosità elevata da renderli assimilabili a fiumi meandriformi, e comunque tale parametro non è caratterizzante.



Figura 4.14 – Alveo anastomizzato.








$1 \leq I_s < 1.1$ e $I_a < 1.5$  Rettilineo		
$1.1 \leq I_s < 1.5$ e $I_a < 1.5$  Sinuoso	 Transizionale wandering	
$I_s \geq 1.5$ e $I_a < 1.5$  Meandriforme		 Transizionale sinuoso a barre alternate
$I_a \geq 1.5$  Anastomizzato		 Canali intrecciati
$1 \leq I_i < 1.5$	$1 \leq I_i < 1.5$ $Lbl > 90\%$	$I_i \geq 1.5$

Figura 4.15 - Schema delle morfologie fluviali e dei relativi campi di variabilità degli indici morfologici planimetrici. I_s , I_i , I_a : indici di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione rispettivamente; Lbl : lunghezza barre laterali.

Tipologia	Indice di sinuosità	Indice di intrecciamento	Indice di anastomizzazione
Rettilinei	$1 \leq I_s < 1.1$	1 – 1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)	1 – 1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)
Sinuosi	$1.1 \leq I_s < 1.5$	1 – 1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)	1 – 1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)
Meandriformi	≥ 1.5	1 – 1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)	1 – 1.5 (di norma pari o prossimo ad 1)
Transizionali	Qualunque	1 – 1.5	1 – 1.5
Canali intrecciati	qualunque (di norma basso)	≥ 1.5	< 1.5
Anastomizzati	qualunque (anche > 1.5)	1 – 1.1	≥ 1.5

Tabella 4.3 - Campi di variabilità degli indici di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione per le varie morfologie fluviali (in grassetto i valori soglia dei parametri caratterizzanti).

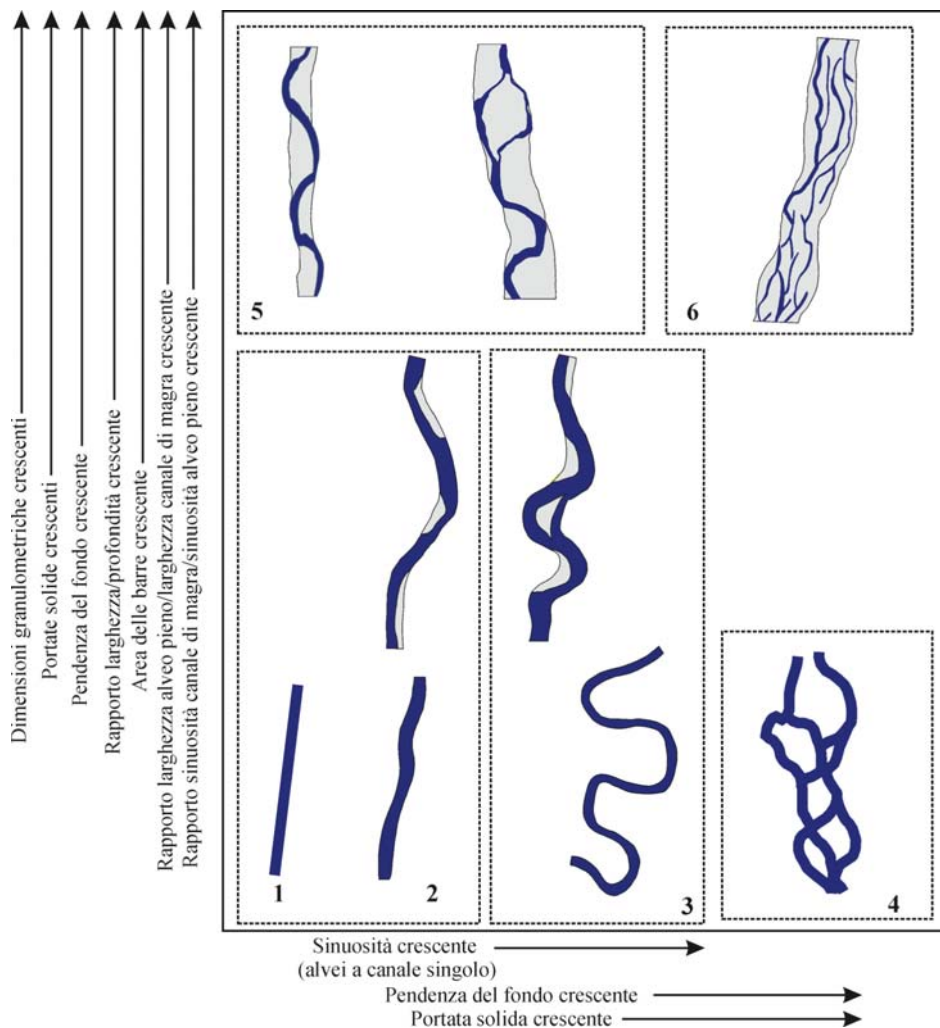


Figura 4.16 - Morfologie fluviali e relazioni con i principali parametri di controllo (da RINALDI, 2003, modificato). 1. Rettilinei; 2. Sinuosi; 3. Meandriiformi; 4. Anastomizzati; 5. Transizionali; 6. Canali intrecciati.

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

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

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

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

- **Alvei a canale singolo: sinuosi a barre alternate, rettilinei, sinuosi o meandriformi.** In ambito collinare montano, i corsi d'acqua a fondo mobile (si escludono quindi gli alvei in roccia) semiconfinati o non confinati a canale singolo vengono classificati come sinuosi a barre alternate, rettilinei, sinuosi o meandriformi a seconda principalmente del valore dell'indice di sinuosità. I tratti meandriformi di ambito montano (indice di sinuosità > 1.5) (Figura 4.17) spesso presentano una morfologia del fondo a dune quando il sedimento è prevalentemente sabbioso, ma si possono avere casi di andamento planimetrico meandriforme su fondo in ghiaia e quindi in assenza di morfologia a dune e increspature, bensì in presenza di *riffle* e *pool*. La sinuosità dei meandriformi montani è generalmente minore (compresa tra 1.5 e 2.0) rispetto a quelli di pianura (LENZI *et al.*, 2000).



Figura 4.17 – 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 transizionali *wandering* oppure a canale singolo.

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

- *Alvei wandering, a canali intrecciati o anastomizzati*. Rientrano in queste tipologie quegli alvei a canali multipli o di transizione, che presentano le stesse caratteristiche morfologiche planimetriche degli stessi tipi inclusi tra gli alvei di pianura. In genere gli alvei a canali intrecciati (Figura 4.18 A) 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. E' possibile talora la formazione di alvei di tipo anastomizzato anche in ambiente collinare - montano (Figura 4.18 B).

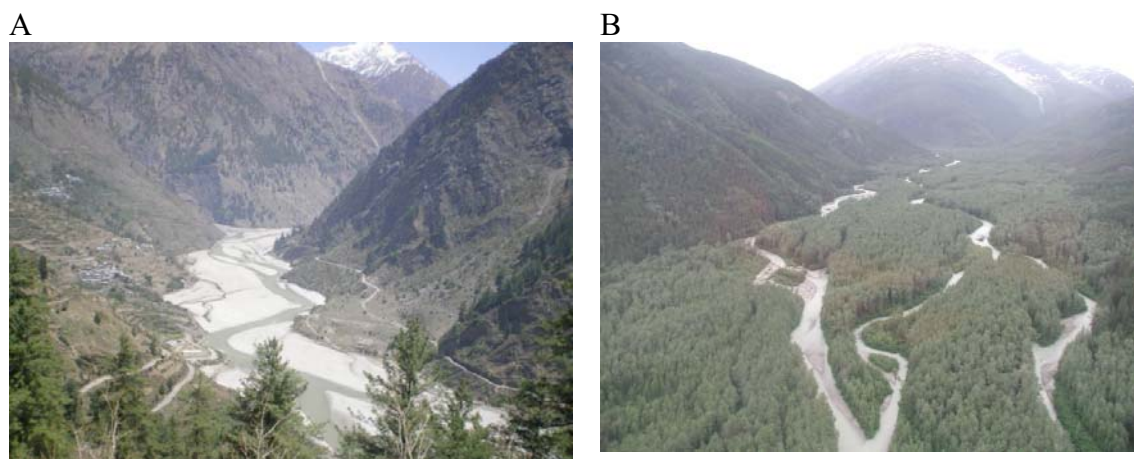


Figura 4.18 – Alvei a canali multipli di ambiente collinare-montano. A) Alveo a canali intrecciati confinato (F. Bhagirati, India); B) alveo anastomizzato confinato (F. Tayia, Alaska).

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

Classificazione di II° livello

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

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

- *Alveo in roccia*. I tratti in roccia sono contraddistinti dall'assenza, in modo continuo, di un letto alluvionale (WOHL, 2000) (Figura 4.19). Tuttavia, anche negli alvei in roccia del sedimento può essere momentaneamente accumulato nelle pozze o a valle di ostruzioni. La mancanza di depositi alluvionali in alveo è da attribuire all'elevata capacità di trasporto associata ad una forte pendenza del canale e/o ad un elevato tirante idrico. La pendenza può essere sia molto elevata (>20%) che relativamente bassa (<1%) (LENZI *et al.*, 2000). La dinamica evolutiva dei tratti in

roccia è molto più lenta rispetto ai tratti alluvionali (ma con differenze legate alla litologia interessata, più o meno erodibile) e legata a particolari processi idraulici (cavitazione e abrasione) e chimici (dissoluzione delle rocce per litologie carbonatiche) (si veda ad es. WOHL & TINKLER, 1998).



Figura 4.19 - Alveo in roccia su substrato di arenaria (Arizona, USA). Nella pozza in primo piano è presente comunque del sedimento.

- **Alveo colluviale.** I cosiddetti tratti colluviali (*colluvial*) si distinguono dalle altre tipologie per essere incisi all'interno di materiale colluviale (depositi colluviali e di versante) (Figura 4.20). Possono trovarsi in corrispondenza dei tratti di testata del reticolo idrografico, cioè delle aste di ordine gerarchicamente inferiore (primo ordine), presentano quindi dimensioni ridotte e la loro attività di trasporto solido è tipicamente intermittente ed impulsiva (fenomeni di trasporto di massa, ovvero colate detritiche o *debris flow*). Essi possono talora essere assimilati anche a forme di *gullies* (D'AGOSTINO, 2009).

A



B



Figura 4.20 – Esempi di tratti colluviali. A) Collettore colluviale in Val d'Oten (Dolomiti Bellunesi); B) particolare di un tratto colluviale (da LENZI et al., 2000).

- **Alveo a fondo mobile.** I tratti a fondo mobile presentano un letto con uno strato di sedimento continuo, anche se grossolano. Nel caso di alveo a canale singolo, si distinguono varie sotto-tipologie utilizzando come criterio la configurazione del fondo, riprendendo quasi del tutto la classificazione di MONTGOMERY & BUFFINGTON (1997). L'instaurarsi di queste morfologie è strettamente associato al rapporto tra la capacità di trasporto della corrente e l'alimentazione solida, il quale è intimamente connesso alla pendenza del letto. Le sotto-tipologie utilizzate nella presente classificazione sono le seguenti:

- **A gradinata.** In questa tipologia vengono incluse sia le morfologie a gradinata vere e proprie (a *step pool*, con i gradini e le pozze che occupano l'intera sezione dell'alveo, vedi MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997) che quelle configurazioni più caotiche dove ciò non accade (*cascade* sensu MONTGOMERY AND BUFFINGTON, 1997; rapide a gradino secondo LENZI *et al.*, 2000) (Figura 4.21). La caratteristica unificante di tali tratti è la presenza di un flusso con alternanza di getti in caduta e risalti idraulici (*tumbling flow*) stimabile fino a deflussi di piena ordinaria. Ciò si verifica approssimativamente quando l'altezza dei gradini è maggiore o pari al tirante di piene rive della sezione. Infatti, a deflussi minori anche gradini molto bassi (tipici di morfologie a letto piano/rapida) possono generare risalti idraulici, ma questi vengono poi sommersi durante eventi ordinari. I gradini sono costituiti da massi e/o tronchi incastrati fra loro e posti trasversalmente rispetto alla corrente, lungo una linea retta o curva. Lo spazio fra uno *step* ed il successivo è occupato da pozze (*pool*) ed eventualmente da una breve lunghezza di raccordo dove il pelo libero tende a disporsi parallelo al fondo (*run* o "correntino"). Se i gradini sono costituiti da roccia in posto in maniera continua, allora il tratto, pur presentando un profilo a gradinata, viene classificato come "in roccia", anche se nelle pozze potrà essere presente del sedimento. In genere la morfologia a gradinata è associata ad alvei con un forte confinamento che porta ad un basso rapporto larghezza/profondità. Le pendenze sono > 3-5%, fino al 20-30%. All'aumentare della pendenza generalmente si assiste ad una maggiore caoticità nella disposizione dei gradini.



Figura 4.21 – Alvei a gradinata. A) Alveo a gradinata riconducibile alla tipologia *cascade*, T. Maso di Spinelle, Trento. B) Alveo a gradinata riconducibile alla categoria *step-pool*, Rivo di Caserine, Trento.

- **Letto piano.** Il termine letto piano è utilizzato per indicare dei tratti d'alveo con un profilo longitudinale regolare privo di rilevanti variazioni altimetriche (MONTGOMERY & BUFFINGTON, 1997; LENZI *et al.*, 2000) (Figura 4.22). 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). Come detto per la precedente tipologia, il livello idrico di riferimento deve essere quello di piene rive (piena ordinaria) e su questo valutare 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, derivante da un ridotto rapporto larghezza/profondità. La presenza di ostruzioni al flusso (massi, tronchi) può però causare la formazione di pozze e barre laterali, le quali divengono unità morfologiche imposte da condizionamenti esterni. Negli alvei montani, la morfologia a letto piano rappresenta una condizione di passaggio fra una condizione relativa di alta (tratti a gradinata) e bassa (*riffle-pool*, canali intrecciati e transizionali) capacità di trasporto rispetto all'alimentazione solida. I tratti a letto piano che possiedono una corazzatura del fondo indicano una capacità di trasporto ancora superiore alla fornitura di sedimento da monte, mentre quelli non corazzati mostrano un bilancio tendenzialmente in pareggio tra il trasporto di sedimento e la disponibilità di sedimento (LENZI *et al.*, 2000).

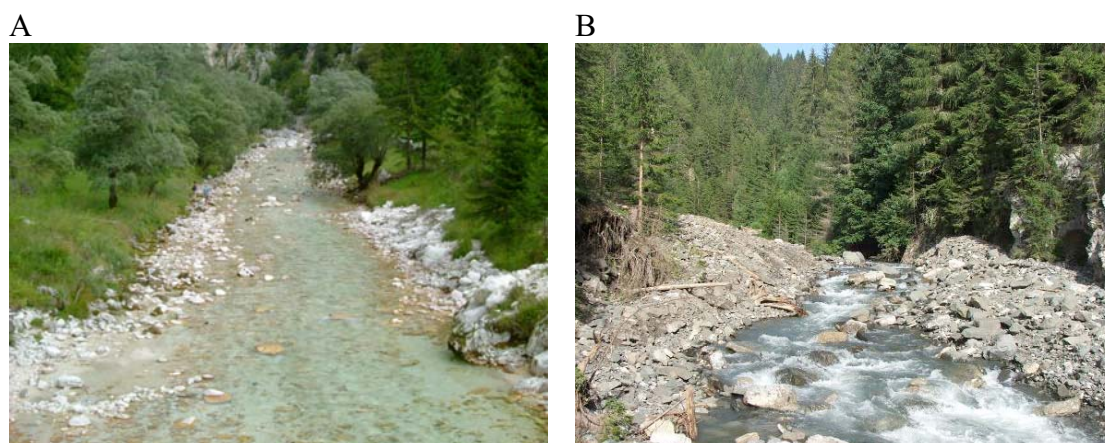


Figura 4.22 – Alvei a letto piano. A) Morfologia a letto piano tipo *plane-bed* (F. Isonzo, Slovenia). B) Morfologia a letto piano con unità a “*rapids*” (T. Cordevole, Belluno). Per livelli di piena ordinaria i piccoli *step* presenti vengono sommersi.

- **Riffle – pool.** Negli alvei a canale singolo, vengono così definiti i tratti caratterizzati dalla successione di unità a pendenza più sostenuta e tiranti ridotti (*riffle*, talvolta chiamati raschi) e unità aventi tiranti maggiori (*pool*) e pendenze molto basse (fino a negative, pozze o *pool*) (Figura 4.23). Generalmente vi sono poi unità di transizione tra pozze e *riffle* caratterizzate da una pendenza positiva ridotta e flusso quasi parallelo al fondo (*run*).

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

A



B

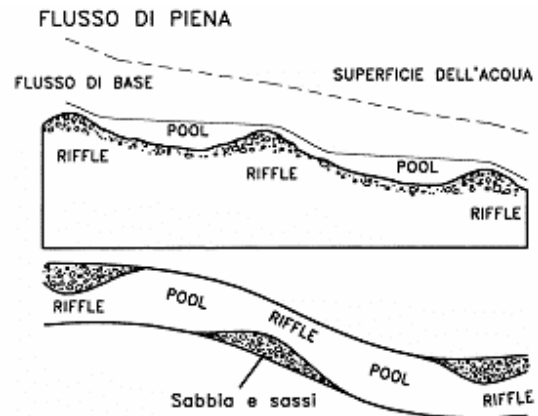


Figura 4.23 – Alvei a *riffle-pool*. A) Alveo a *riffle-pool* (F. Marsyandi, Nepal). In primo piano si vede un *riffle* (increspature del pelo libero, clasti emergenti), con a monte un *pool* (pelo libero regolare, tirante maggiore). B) Schema della morfologia a *riffle pool* (da LENZI *et al.*, 2000).

- **A dune.** I tratti aventi una pendenza modesta ($<0.5\%$) e con materiale d'alveo costituito prevalentemente da sabbia possono sviluppare una morfologia a dune e increspature (*dune-ripple* secondo MONTGOMERY E BUFFINGTON, 1997; per brevità qui indicate solo come “dune”), ossia manifestare le forme di fondo tipiche dei fiumi a fondo sabbioso (LENZI *et al.*, 2000) (Figura 4.24). Tali morfologie non sono molto comuni ma si possono presentare quando l'evoluzione del rilievo ha portato alla creazione di tratti vallivi a pendenza molto ridotta, ad esempio in conche di origine tettonica, a monte di morene frontali o in corrispondenza a gradini d'erosione glaciale (tratto a monte del gradino). Il trasporto solido nei tratti a *dune-ripple* è limitato dalla bassa capacità di trasporto derivante dalla pendenza molto ridotta.



Figura 4.24 - Alveo a dune su substrato sabbioso (Rivo di Caserine). Sulle dune sono sovrимposte delle increspature più piccole (*ripples*). Il canale presenta una certa sinuosità, e per questo le increspature sono curvilinee.

- **Alveo a fondo artificiale.** Rientrano in questa categoria tutti i casi in cui il fondo è completamente artificiale (cunettoni) o comunque dove l'interdistanza tra le opere trasversali è talmente ravvicinata da non permettere l'instaurarsi di unità

morfologiche non dipendenti dall'opera stessa (esclude quindi le pozze di scavo a valle delle opere stesse) (Figura 4.25). In questi casi non si riconosce la configurazione in condizioni naturali e quindi non è possibile adottare i precedenti criteri.



Figura 4.25 – Alveo a fondo artificiale sistemato con briglie ad interdistanza ridotta (T. Pramper, Belluno).

Riepilogo dei criteri di classificazione della morfologia dell'alveo

Un modo alternativo (rispetto alla precedente Figura 4.4), ma del tutto equivalente, di inquadrare le morfologie d'alveo è riportato in Figura 4.26, dove si parte dal numero di canali (piuttosto che dal contesto fisiografico) come criterio di partenza.

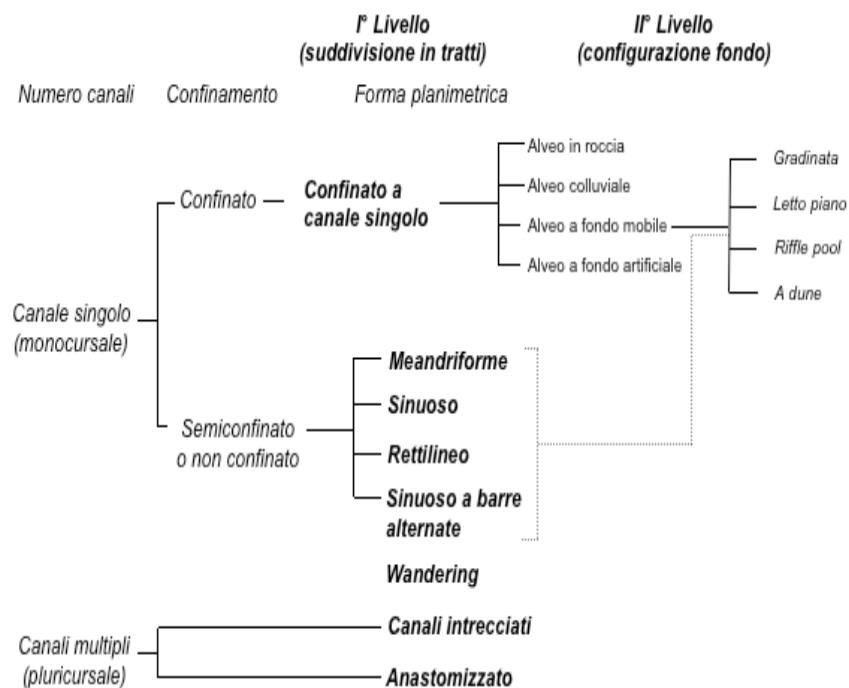


Figura 4.26 - Schema di classificazione complessiva delle morfologie fluviali. Per i corsi d'acqua a canale singolo semiconfinati o non confinati si aggiunge a fini descrittivi, quando riconoscibile, la configurazione del fondo (linea tratteggiata).

4.4 Suddivisione in tratti (step 4)

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

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

Metodi: telerilevamento / GIS e ricostruzione profilo longitudinale.

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

Descrizione

I tre criteri precedenti (ambito fisiografico, confinamento e morfologia) sono quelli alla base della suddivisione in tratti omogenei dal punto di vista morfologico. Tuttavia, per procedere alla suddivisione definitiva, occorre prendere in considerazione anche i seguenti aspetti:

- ***Pendenza del fondo***. La presenza di discontinuità significative della pendenza del fondo, nel caso degli alvei confinati, è il primo criterio di ulteriore suddivisione dei tratti definiti nel precedente *step* sulla base del numero dei canali. In questo *step* viene completato il profilo longitudinale anche per i tratti non confinati o semiconfinati, al fine di verificare l'esistenza di eventuali variazioni di pendenza, le quali in genere trovano corrispondenza in altri elementi definiti successivamente (ad esempio variazione della morfologia dell'alveo), ma possono servire di ausilio per la delimitazione di un tratto.

- ***Discontinuità idrologiche naturali o artificiali***. Si possono considerare come discontinuità idrologiche gli affluenti che determinano significativi incrementi localizzati di portate liquide e/o solide. Le discontinuità artificiali sono invece costituite dalle ***dighe***, le quali in genere determinano la presenza di un vaso più o meno esteso a monte e di un tratto immediatamente a valle con una significativa riduzione delle portate di piena e di quelle solide. Similmente, anche ***briglie di trattenuta*** di notevole altezza (indicativamente maggiori di 5-6 m) e traverse di una certa dimensione rappresentano delle discontinuità di cui tener conto, soprattutto nel caso di totale intercettazione del trasporto solido al fondo che le rende sostanzialmente assimilabili a dighe.

- ***Artificializzazione***. Nel caso di alvei montani, l'artificializzazione, quando molto spinta (cunettoni o briglie molto ravvicinate), rappresenta un criterio per la stessa classificazione morfologica (alveo a fondo artificiale), e pertanto ne viene già tenuto conto nella suddivisione in tratti nello step 3. In casi di minore "irrigidimento" del corso d'acqua montano e nel caso di alvei di pianura, l'artificializzazione non impedisce l'attribuzione di un alveo ad una categoria morfologica in quanto i parametri planimetrici possono essere ancora misurati (ad esempio, nella maggioranza dei casi alvei artificializzati sono a canale singolo e bassa sinuosità per cui rientrano nella categoria dei rettilinei o sinuosi). E' 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).

- ***Dimensioni della pianura e/o variazioni 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.

- **Larghezza dell'alveo.** In alcuni casi, l'alveo può mantenere la sua tipologia morfologica ma variare significativamente le sue dimensioni, seppure ciò in genere è associato a variazioni idrologiche (es. apporti di un affluente) oppure effetti antropici (es. diga o altre opere) che sono già state tenute in conto precedentemente. Tale aspetto può essere un criterio aggiuntivo, ad esempio nei casi di dubbio proprio per stabilire se è opportuno considerare o meno una certa discontinuità idrologica.
- **Granulometria dei sedimenti:** può essere in alcuni casi un altro fattore di suddivisione, laddove ad esempio esista un passaggio a sedimenti con dimensioni significativamente differenti (ad es. passaggio da fondo ghiaioso a sabbioso).

Suddivisione in tratti

La suddivisione in tratti relativamente omogenei per caratteri morfologici (Figura 4.27) viene effettuata in primo luogo in base alle caratteristiche di confinamento ed alla morfologia (ovvero sia configurazione planimetrica che altimetrica), in secondo luogo in base agli altri criteri evidenziati in questo *step*. Operativamente, si suggerisce la seguente procedura:

- Una prima suddivisione di massima può essere effettuata osservando le foto aeree più recenti disponibili o immagini satellitari ad alta risoluzione. Per la porzione più alta del bacino, si delimitano in prima approssimazione i tratti confinati e si individuano eventuali tratti non a canale singolo.
- In una seconda fase si procede a verificare che i tratti semiconfinati e non confinati preliminarmente individuati soddisfino ai requisiti di omogeneità di morfologia (attraverso ad esempio la misura degli indici caratterizzanti tale morfologia) e di confinamento.
- Si considerano più attentamente le eventuali discontinuità e variazioni di altre caratteristiche (*step 4*), soprattutto per quei tratti che in prima approssimazione presentano lunghezze rilevanti (es. sopra i 5 km).
- In particolar modo, per gli alvei confinati a canale singolo, si procede ad un'ulteriore suddivisione in tratti soprattutto in base a discontinuità della pendenza de fondo (*step 4*) misurata da carte topografiche (la classificazione di II° livello basata sulla configurazione del fondo e da condurre sul terreno viene effettuata invece durante le fasi successive).

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

- Occorre evitare un'eccessiva frammentazione dei tratti. Essi di norma dovrebbero avere una lunghezza di almeno 1 km (comunque non inferiore ad almeno due volte la lunghezza del sito): in caso di non perfetta omogeneità di qualche parametro all'interno di tale lunghezza, vale un criterio di predominanza.
- Occorre evitare tratti troppo lunghi: di norma un tratto può raggiungere una lunghezza dell'ordine di 5 km, in quanto lunghezze maggiori risulterebbero poco funzionali alle analisi successive. E' 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 opportuno individuare un sub-tratto (di lunghezza inferiore ai 5 km) che presenti caratteristiche di sufficiente rappresentatività rispetto a tutti i parametri da misurare.

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

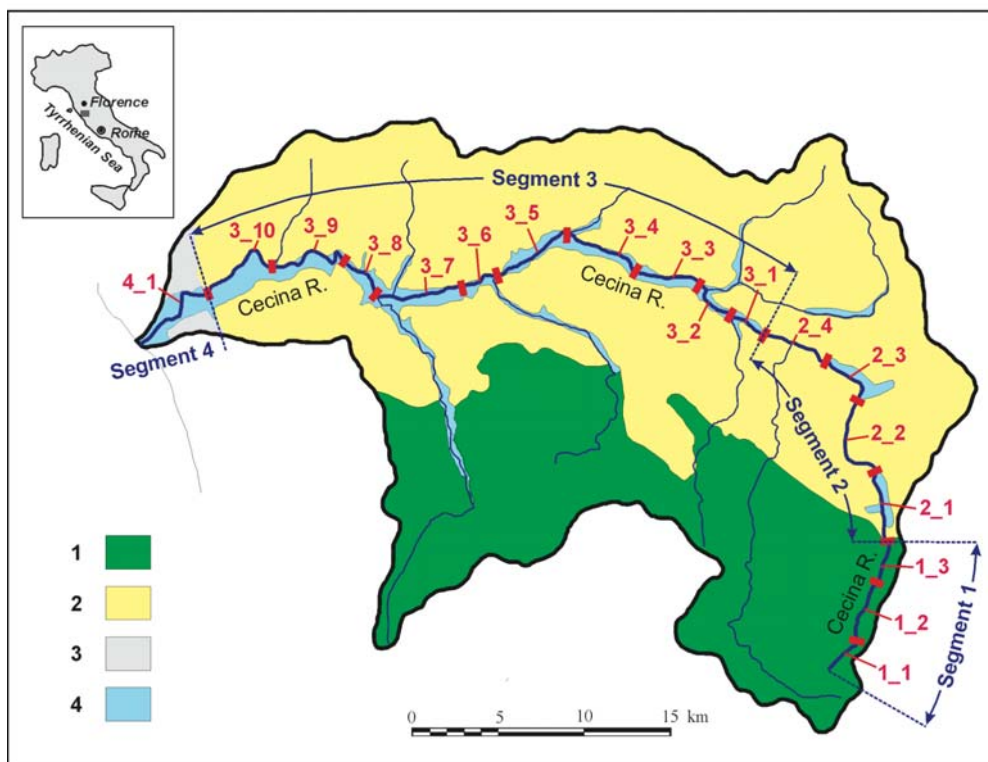


Figura 4.27 – Fase di classificazione iniziale: esempio relativo al Fiume Cecina. 1: unità collinare-montuosa dei Rilievi Interni appenninici; 2: unità collinare; 3: unità di pianura costiera; 4: depositi alluvionali recenti ed attuali.

Altre informazioni / dati: una volta individuati i tratti, è utile definire per ognuno di essi i seguenti parametri:

- **Area di drenaggio** sottesa alla chiusura del tratto, almeno per i tratti successivamente individuati per il monitoraggio.
- **Pendenza media del fondo:** 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).
- **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. E' noto in letteratura come le portate più significative per i processi morfologici sono considerate quelle portate con tempi di ritorno relativamente bassi, compresi tra 1 e 3 anni circa. I valori più comunemente usati sono quelli con tempi di ritorno di 1.5 e 2 anni. Tali portate sono generalmente identificate con la *portata dominante* o *formativa* e con la *portata ad alveo pieno* del corso d'acqua (si veda il Cap. 2 per maggiori dettagli). Oltre a tali portate con frequenza intermedia, ai fini di una più completa caratterizzazione dei campi di variabilità, è importante conoscere le portate più frequenti, identificabili con la portata (giornaliera) media annua, e l'occorrenza di eventi estremi durante il periodo di registrazione. Tali portate possono essere utili per

meglio definire il regime del corso d'acqua, ad esempio in base al rapporto tra portata massima e portata media. Inoltre, la conoscenza degli eventi più significativi durante il periodo di registrazione può essere utile nell'interpretazione delle tendenze evolutive. Riepilogando, le informazioni richieste per una caratterizzazione di base delle portate significative per gli aspetti morfologici sono le seguenti:

- **portata media annua (q_{med})**: ricavata sulla base delle portate giornaliere nell'intervallo di tempo disponibile;

- **portata $Q_{1.5}$** : portata con tempo di ritorno pari a 1.5 anni, ricavata da analisi statistica delle portate al colmo massime annuali;

- **portate massime** verificatesi durante l'intervallo di tempo di registrazione: è utile conoscere il valore della portata di picco e la data (o almeno l'anno) in cui si è verificata. Si possono considerare in questa analisi le portate con tempi di ritorno superiori a 10 anni.

- **Portate solide**. Il trasporto solido ha un ruolo determinante per la morfologia dei corsi d'acqua e per le variazioni morfologiche degli alvei. Entrambe le componenti principali del trasporto solido, quello in sospensione e quello al fondo, sono importanti. Tuttavia, ai fini delle modificazioni morfologiche dell'alveo, quello al fondo (seppure rappresenta la frazione minore) è il più significativo. La determinazione del trasporto solido, come noto, è molto complessa. E' 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. E' 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, 1999; McLEAN & CHURCH, 2000). Tali metodi stanno acquisendo infatti sempre maggiore diffusione durante gli ultimi anni e sono sempre più accreditati nel fornire stime attendibili delle portate solide responsabili delle variazioni morfologiche dell'alveo nel medio termine (decine di anni). Un esempio particolarmente significativo di applicazione di tale metodo è quello relativo al fiume Fraser (Canada) (CHURCH *et al.*, 2001), mentre in campo nazionale si citano alcuni casi di applicazione per finalità scientifiche (ad es. SURIAN & CISOTTO, 2007) oppure, per quanto riguarda il F. Po, ai fini della definizione del piano di gestione dei sedimenti (PAOLETTI *et al.*, 2007; COLOMBO & FILIPPI, 2009).

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

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

Scopo originale del percorso di tipizzazione e individuazione dei corpi idrici è la segmentazione del reticolo idrografico in unità fisiografiche omogenee per caratteristiche abiotiche (i Tipi) e per pressioni di tipo antropico (i Corpi idrici). In

relazione ai Corpi idrici, unità di riferimento minima di pianificazione, il Piano di Gestione dovrà individuare misure atte a garantire il raggiungimento di un buono stato entro il 2015.

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

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

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

Tali Step possono essere quindi percorsi come prima descritti (in sequenza stretta) o all'interno del percorso previsto dal DM 131/2008, qualora si ritenga necessario attribuire un elevato significato idromorfologico ai tipi e corpi idrici, utile nelle fasi di gestione dei corpi idrici stessi.

In questo senso si può definire la seguente corrispondenza tra i passaggi definiti dal DM 131/2008 e gli Step descritti in questo capitolo:

A.1.3 – Regionalizzazione	Step 1 – Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche
A1.4.5 – Definizione della Tipologia	Step 2 – Confinamento Step 3 – Morfologia dell'alveo
B.3 – Processo per l'identificazione dei corpi idrici	Step 4 – Definizione dei tratti

CAPITOLO 5 –VALUTAZIONE DELLO STATO ATTUALE DEI CORSI D’ACQUA

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

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

(2) **Valutazione di secondo livello: Analisi degli impatti e delle cause.** Esaurita la prima fase su tutti i tratti di un sistema idrografico, o su una serie di tratti rappresentativi, è possibile approfondire, anche con l’integrazione di altre informazioni a scala di bacino, la comprensione degli impatti, delle cause e dei rapporti tra tratti o porzioni diverse del bacino. Tale analisi è quindi funzionale alla definizione di azioni e misure per il miglioramento e/o la preservazione dell’attuale stato idromorfologico nei vari tratti.

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

5.1 Classificazione dello stato morfologico attuale

La fase di classificazione dello stato attuale viene suddivisa nei seguenti *step* (Figura 5.1):

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

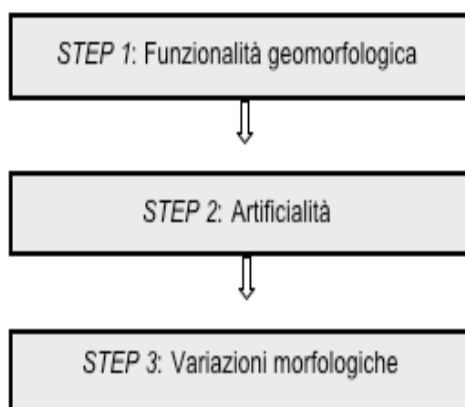


Figura 5.1 – Suddivisione in step della fase di classificazione dello stato morfologico attuale.

Le fasi di analisi della funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche vengono effettuate attraverso l’ausilio di apposite **schede di valutazione**, che consentono un’analisi guidata dei vari aspetti, attraverso l’impiego integrato di analisi GIS da immagini telerilevate e rilevamenti sul terreno. A tal fine vengono usati un certo numero di **indicatori**, intesi di seguito in senso lato, per indicare attributi o descrittori qualitativi dei vari aspetti considerati. Ogni indicatore è poi valutato attraverso una o

più variabili quantitative o qualitative (per alcuni indicatori, soprattutto per la funzionalità, si fa ricorso a valutazioni interpretative piuttosto che a parametri). Le schede si differenziano in alcune componenti a seconda della tipologia fluviale e delle dimensioni del corso d'acqua, in modo da consentire una valutazione relativa alle caratteristiche morfologiche della tipologia d'alveo alla quale il tratto analizzato appartiene.

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

(1) *Alvei confinati*

(2) *Alvei semiconfinati/non confinati*

Le **variazioni morfologiche** vengono analizzate per i corsi d'acqua di grandi dimensioni (**G**) (larghezza > 30 m), sia per quelli semiconfinati/non confinati che per quelli confinati. Si noti che l'analisi delle variazioni è applicabile anche nel caso in cui la larghezza attuale è < 30 m, ma la larghezza degli anni '50 era > 30 m, laddove si ritiene che le differenze di larghezza tra le due situazioni siano superiori al margine di errore nelle misure e laddove, pur non essendo possibile misurare con esattezza la larghezza attuale, è possibile l'attribuzione ad una data classe di variazione.

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

SIGLA	INDICATORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
Funzionalità		
Continuità		
F1	<i>Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso</i>	Tutti
F2	<i>Presenza di piana inondabile</i>	Solo NC
F3	<i>Connessione tra versanti e corso d'acqua</i>	Solo C
F4	<i>Processi di arretramento delle sponde</i>	Solo NC
F5	<i>Presenza di una fascia potenzialmente erodibile</i>	Solo NC
Morfologia		
<i>Configurazione morfologica</i>		
F6	<i>Morfologia del fondo e pendenza della valle</i>	Solo C
F7	<i>Forme e processi tipici della configurazione morfologica</i>	NC : tutti; C : solo CI/W
F8	<i>Presenza di forme tipiche di pianura</i>	Solo NC meandriiformi in ambito fisiografico di pianura
<i>Configurazione sezione</i>		
F9	<i>Variabilità della sezione</i>	Tutti
<i>Struttura e substrato alveo</i>		
F10	<i>Struttura del substrato</i>	Tutti
F11	<i>Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni</i>	Tutti
Vegetazione fascia perfluviale		
F12	<i>Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perfluviale</i>	Tutti
F13	<i>Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde</i>	Tutti

Tabella 5.1 – Lista degli indicatori e relativi campi di applicazione (alcuni indicatori non si valutano per qualche sottocaso specificato nelle schede) (*continua*). **C**: confinati; **NC**: semiconfinati e non confinati; **CI/W**: canali intrecciati e *wandering*; **G**: grandi (L>30 m).

SIGLA	INDICATORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
Artificialità		
Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte		
<i>A1</i>	<i>Opere di alterazione delle portate liquide formative</i>	Tutti
<i>A2</i>	<i>Opere di alterazione delle portate solide</i>	Tutti
Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto		
<i>A3</i>	<i>Opere di alterazione delle portate liquide formative</i>	Tutti
<i>A4</i>	<i>Opere di alterazione delle portate solide</i>	Tutti
<i>A5</i>	<i>Opere di attraversamento</i>	Tutti
Opere di alterazione della continuità laterale		
<i>A6</i>	<i>Difese di sponda</i>	Tutti
<i>A7</i>	<i>Arginature</i>	Solo <i>NC</i>
Opere di alterazione della morfologia dell'alveo e/o del substrato		
<i>A8</i>	<i>Variazioni artificiali di tracciato</i>	Solo <i>NC</i>
<i>A9</i>	<i>Altre opere di consolidamento e/o di alterazione del substrato</i>	Tutti
Interventi di manutenzione e prelievo		
<i>A10</i>	<i>Rimozione di sedimenti</i>	Tutti
<i>A11</i>	<i>Rimozione di materiale legnoso</i>	Tutti
<i>A12</i>	<i>Taglio della vegetazione in fascia perifluviale</i>	Tutti
Variazioni morfologiche		
<i>V1</i>	<i>Variazione della configurazione morfologica</i>	Solo G
<i>V2</i>	<i>Variazioni di larghezza</i>	Solo G
<i>V3</i>	<i>Variazioni altimetriche</i>	Solo G

Tabella 5.1 – Lista degli indicatori e relativi campi di applicazione (alcuni indicatori non si valutano per qualche sottocaso specificato nelle schede) (*continuazione*). *C*: confinati; *NC*: semiconfinati e non confinati; *CI/W*: canali intrecciati e *wandering*; *G*: grandi ($L > 30$ m).

5.2 Compilazione delle schede

Si riportano di seguito alcune informazioni relative alla fase di preparazione ed alla compilazione delle schede di valutazione. A seguire vengono riportate le **Schede** e la **Guida alle risposte**, strumento utile per una più facile e corretta applicazione delle schede stesse.

Competenze

Per l'applicazione della metodologia di valutazione morfologica è necessaria una buona conoscenza della geomorfologia fluviale. La figura professionale più indicata è pertanto quella dei Geologi, ma è possibile l'applicazione anche da parte di altre figure professionali in campo ambientale con conoscenze in geomorfologia fluviale. E' possibile acquisire nel tempo le conoscenze necessarie anche da parte di operatori con altre competenze affini.

Fonti di informazione e successione delle fasi

Si possono idealmente distinguere le seguenti fasi di lavoro:

1. *Raccolta di materiale esistente e ricognizione iniziale.* E' 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.* Tale fase può essere condotta partendo da un'osservazione delle caratteristiche del corso d'acqua da immagini satellitari ad alta 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.
3. *Acquisizione di informazioni relative alle opere ed interventi* presenti e passati da parte degli enti responsabili della gestione dei corsi d'acqua (comunità montane, consorzi di bonifica, genio civile, ecc.).
4. *Osservazione ed analisi delle immagini telerilevate.* Si analizzano le foto aeree (volo IGM GAI e volo recente) necessarie per gli indicatori relativi alle variazioni morfologiche planimetriche, nonché si acquisiscono eventuali dati ed informazioni esistenti relativi alle variazioni altimetriche. Inoltre si effettuano preliminarmente alcune analisi GIS relativamente alla misura di alcuni parametri (es. ampiezza e continuità piana inondabile o fascia erodibile, ecc.).
5. *Rilievi sul terreno.* La fase sul terreno deve essere ben organizzata ed è importante portare con sé la completa copertura delle foto aeree più recenti (o immagini satellitari) e tutto il materiale che può essere utile (suddivisione dei tratti, profilo longitudinale, documentazione delle opere, risultati delle analisi GIS relative al confronto con foto aeree del 1954/55, ecc.).
6. *Perfezionamento e conclusione delle analisi da immagini telerilevate.* Attraverso i rilievi sul terreno sarà stato possibile chiarire alcuni aspetti (ad esempio identificazione della piana inondabile, vegetazione, ecc.), pertanto sarà possibile successivamente perfezionare alcune misure in GIS di alcuni parametri e concludere quindi la valutazione.

SCHEDA DI VALUTAZIONE PER ALVEI CONFINATI**GENERALITA'**

Data _____ Operatori _____
 Bacino _____ Corso d'acqua _____
 Località _____ Codice Segmento _____
 Codice Tratto _____ Lunghezza tratto (m) _____

CLASSIFICAZIONE INIZIALE**1. Inquadramento fisiografico**

Unità fisiografica _____

2. Confinamento

Grado confinamento (%) _____ >90, 10-90 Indice confinamento _____ (1-1.5)

3. Morfologia alveo

Numero canali _____ CS=canale singolo, CM=canali multipli o *wandering*

Confinato a canale singolo (CS):

Configurazione fondo _____ R=Roccia, C=Colluviale, G=Gradinata, LP=Letto piano, RP=Riffle Pool, D=Dune
 A= Artificiale, NC= non classificabile (elevata profondità o forte alterazione)

Confinato a canali multipli o wandering (CM):

Indice intrecciamento _____ 1-1.5, >1.5 Indice anastomizzazione _____ 1-1.5, >1.5

Tipologia _____ W= Transizionale *wandering*, Cl= Canali intrecciati, A= Anastomizzato

Pendenza media fondo _____ Larghezza media alveo (m) _____

Sedimenti (dominanti) alveo _____ A=Argilla, L=Limo, S=Sabbia, G=Ghiaia, C=Ciottoli, M=Massi

4. Altri elementi per delimitazione tratto

Monte _____ Valle _____

discontinuità pendenza, discontinuità idrologica (affluente, diga), artificializzazione, variazioni confinamento,
 variazioni larghezza alveo, granulometria sedimenti o configurazione fondo, altro (specificare), nessuno

Altri dati / informazioni eventualmente disponibili

Area drenaggio (sottesa alla chiusura del tratto) (km²) _____

Diametro sedimenti D₅₀ (mm) _____ Unità _____ F=Fondo, B=Barra (SU=superficiale, SO=sottostrato)

Portate liquide _____ M=misurate, S=stimate, ND=non disponibili

Stazione idrometrica (se M) _____ Portata media annua (m³/s) _____ Q_{1.5} (m³/s) _____

Portate massime (indicare anno e Q quando noti) _____

FUNZIONALITA' GEOMORFOLOGICA**Continuità**

		parz.	prog.	conf.
F1	Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso			
A	Assenza di alterazioni della continuità di sedimenti e materiale legnoso	0		
B	Lieve alterazione (ostacoli nel flusso ma non intercettazione)	3		
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 A=Alto, M=Medio, B=Basso

livello confidenza M o B tra A e B
 livello confidenza M o B tra B e C

Morfologia

Configurazione morfologica

F6 Morfologia del fondo e pendenza della valle (si applica a confinati a canale singolo con pendenza > 0.2%)			
A	Forme di fondo coerenti con la pendenza media della valle	0	<input type="checkbox"/>
B	Forme di fondo non coerenti con la pendenza media della valle	3	<input type="checkbox"/>
C	Completa alterazione delle forme di fondo	5	<input type="checkbox"/>

Non si applica nel caso di confinato con fondo in roccia, nonché nel caso di corso d'acqua profondo per il quale non è possibile osservare la configurazione del fondo

F7 Forme e processi tipici della configurazione morfologica (si applica a canali intrecciati o wandering)			
A	Assenza ($\leq 5\%$) di alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale	0	<input type="checkbox"/>
B	Alterazioni per porzione limitata del tratto ($\leq 33\%$)	3	<input type="checkbox"/>
C	Consistenti alterazioni per porzione significativa del tratto (>33%)	5	<input type="checkbox"/>

Configurazione sezione

F9 Variabilità della sezione			
A	Assenza o presenza localizzata ($\leq 5\%$ tratto) di alterazioni naturale eterogeneità della sezione	0	<input type="checkbox"/>
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione limitata del tratto ($\leq 33\%$)	3	<input type="checkbox"/>
C	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione significativa del tratto (>33%)	5	<input type="checkbox"/>

Struttura e substrato alveo

F10 Struttura del substrato			
A	Naturale eterogeneità sedimenti e clogging poco significativo	0	<input type="checkbox"/>
B	Evidente riduzione eterogeneità sedimenti e/o clogging frequente	5	<input type="checkbox"/>
C	Completa alterazione del substrato per rivestimento del fondo (>33% tratto)	6	<input type="checkbox"/>

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

F11 Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni			
A	Presenza significativa di materiale legnoso	0	<input type="checkbox"/>
C	Presenza molto limitata o assenza di materiale legnoso	3	<input type="checkbox"/>

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	<input type="checkbox"/>
B	Ampiezza di formazioni funzionali intermedia	2	<input type="checkbox"/>
C	Ampiezza di formazioni funzionali limitata	3	<input type="checkbox"/>

F13 Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti lungo le sponde			
A	Estensione lineare formazioni funzionali >90% lunghezza massima disponibile	0	<input type="checkbox"/>
B	Estensione lineare formazioni funzionali 33-90% lunghezza massima disponibile	3	<input type="checkbox"/>
C	Estensione lineare formazioni funzionali $\leq 33\%$ lunghezza massima disponibile	5	<input type="checkbox"/>

ARTIFICIALITA'

Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte

		parz.	prog.	conf.
A1	Opere di alterazione delle portate liquide formative			
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 ($TR < 10$ anni)	6		

A2 Opere di alterazione delle portate solide

A	Assenza o presenza trascurabile di opere di alterazione del flusso di sedimenti	0		
B	Presenza di dighe (area sottesa 5-33%) e/o presenza non trascurabile di briglie	3		
	Presenza di dighe (area sottesa 33-50%) e/o briglia di trattenuta all'estremità a monte del tratto	6		
C	Presenza di dighe con area sottesa $> 50\%$	9		
	Presenza di una diga all'estremità a monte del tratto	12		

Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto

A3	Opere di alterazione delle portate liquide (derivazioni, scolmatori, casse)			
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 ($TR < 10$ anni)	6		

A4 Opere di alterazione delle portate solide (briglie, casse in linea, diga a valle)

A	Assenza di qualsiasi tipo di opera di alterazione del flusso di sedimento/legname	0		
B	Presenza briglie di consolidamento ≤ 1 ogni 200 m e/o briglie aperte	4		
C	Presenza briglie di consolidamento > 1 ogni 200 m e/o briglie di trattenuta a corpo pieno oppure presenza di diga e/o vaso artificiale all'estremità a valle del tratto	6		
	<i>Nel caso la densità di opere trasversali, incluse soglie e rampe (vedi A9), è > 1 ogni 100 m, aggiungere</i>		12	

A5 Opere di attraversamento (ponti, guadi, tominature)

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 (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli)			
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		
<i>Nel caso di difese di sponda per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere</i>		12		

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

A9	Altre opere di consolidamento (soglie, rampe) e/o di alterazione del substrato (rivestimenti)			
A	Assenza soglie o rampe e rivestimenti assenti o localizzati ($\leq 5\%$ tratto)	0		
B	Presenza soglie o rampe (≤ 1 ogni 200 m) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ imperm.	3		
	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni 200 m) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ imperm.	6		
C	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili	8		
	<i>Nel caso la densità di opere trasversali, incluse briglie (vedi A4), è > 1 ogni 100 m, aggiungere</i>		12	
<i>Nel caso di rivestimenti del fondo (permeabili e/o impermeabili) per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere</i>		12		

Interventi di manutenzione e prelievo

A10 Rimozione di sedimenti			
A	Assenza di interventi di rimozione di sedimenti almeno negli ultimi 20 anni	0	<input type="text"/>
B	Rimozioni localizzate negli ultimi 20 anni	3	<input type="text"/>
C	Rimozioni diffuse negli ultimi 20 anni	6	<input type="text"/>

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	<input type="text"/>
B	Rimozione parziale negli ultimi 20 anni	2	<input type="text"/>
C	Rimozione totale negli ultimi 20 anni	5	<input type="text"/>

A12 Taglio della vegetazione in fascia perifluviale			
A	Vegetazione perifluviale sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0	<input type="text"/>
B	Taglio selettivo nel tratto e/o raso su $\leq 50\%$ del tratto negli ultimi 20 anni	2	<input type="text"/>
C	Taglio raso su $> 50\%$ del tratto negli ultimi 20 anni	5	<input type="text"/>

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

V1 Variazioni della configurazione morfologica <i>(si applica solo nel caso di CG)</i>			
		parz.	prog. conf.
A	Assenza di variazioni rispetto ad anni '50 (alveo libero di modificarsi)	0	<input type="text"/>
B	Variazioni configurazione morfologica rispetto ad anni '50 oppure assenza di variazioni nel caso di alveo già artificializzato planimetricamente negli anni '50	3	<input type="text"/>

V2 Variazioni di larghezza <i>(si applica solo nel caso di CG)</i>			
A	Variazioni nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto ad anni '50 (alveo libero di modificarsi)	0	<input type="text"/>
B	Variazioni di larghezza $> 15\%$ rispetto ad anni '50 oppure variazioni nulle o limitate nel caso di alveo già artificializzato planimetricamente negli anni '50	3	<input type="text"/>

V3 Variazioni altimetriche <i>(si applica solo nel caso di CG)</i>			
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (fino 0.5 m)	0	<input type="text"/>
B	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤ 3 m)	4	<input type="text"/>
C	Variazioni della quota del fondo intense (> 3 m)	8	<input type="text"/>

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; $0.3 \leq IQM < 0.5$: Scadente; $0.5 \leq IQM < 0.7$: Moderato; $0.7 \leq IQM < 0.85$: Buono; $0.85 \leq IQM < 1.0$: Elevato)

SCHEDA DI VALUTAZIONE PER ALVEI SEMI- NON CONFINATI

GENERALITA'

Data _____ Operatori _____
 Bacino _____ Corso d'acqua _____
 Località _____ Codice Segmento _____
 Codice Tratto _____ Lunghezza tratto (m) _____

CLASSIFICAZIONE INIZIALE

1. Inquadramento fisiografico

Ambito fisiografico _____ *CM=Collinare-montano, P=Pianura* Unità fisiografica _____

2. Confinamento

Grado confinamento (%) _____ >90, 10-90, ≤10
 Indice confinamento _____ 1-1.5, 1.5-n, >n (*n=5 alvei canale singolo; n=2 alvei a canali multipli e wandering*)
 Classe confinamento _____ *SC=Semiconfinato, NC=Non Confinato*

3. Morfologia alveo

Indice sinuosità _____ 1-1.1, 1.1-1.5, >1.5
 Indice intrecciamento _____ 1-1.5, >1.5 Indice anastomizzazione _____ 1-1.5, >1.5
 Lunghezza barre laterali (nel caso di alvei sinuosi) (%) _____ ≤90, >90
 Tipologia _____ *R=Rettilineo, S=Sinuoso, M=Meandriforme, SBA= Transizionale sinuoso barre alternate, W= Transizionale wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anastomizzato*
 Configurazione fondo _____ *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, discontinuità idrologica (affluente, diga), artificializzazione, dimensioni pianura e/o variazioni confinamento, variazioni larghezza alveo, granulometria sedimenti, altro (specificare)

Altri dati / informazioni eventualmente disponibili

Area drenaggio (sottesa alla chiusura del tratto) (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		parz.	prog.	conf.
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		parz.	prog.	conf.
A	Presenza di piana inondabile continua (>66% tratto) ed ampia	0		
B	Presenza di piana inondabile discontinua (10 - 66%) di qualunque ampiezza o >90% ma stretta	3		
C	Assenza o presenza trascurabile (≤10% di qualunque ampiezza)	5		

parz.: punteggi parziali (cerchiare) prog.: punteggi progressivi
 conf: livello di confidenza nella risposta, con A=Alto, M=Medio, B=Basso

livello confidenza M o B tra A e B
 livello confidenza M o B tra B e C

F4 Processi di arretramento delle sponde			
A	Presenza di frequenti sponde in arretramento soprattutto sul lato esterno delle curve	0	<input type="checkbox"/>
B	Sponde in arretramento poco frequenti in quanto impedito da opere e/o scarsa dinamica alveo	2	<input type="checkbox"/>
C	Completa assenza oppure presenza diffusa di sponde instabili per movimenti di massa	3	<input type="checkbox"/>

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

--

F5 Presenza di una fascia potenzialmente erodibile			
A	Presenza fascia potenzialmente erodibile ampia e per >66% tratto	0	<input type="checkbox"/>
B	Presenza fascia erodibile ristretta o ampia ma per 33-66% tratto	2	<input type="checkbox"/>
C	Presenza fascia potenzialmente erodibile di qualunque ampiezza per ≤33% tratto	3	<input type="checkbox"/>

--

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	<input type="checkbox"/>
B	Alterazioni per porzione limitata del tratto (≤33%)	3	<input type="checkbox"/>
C	Consistenti alterazioni per porzione significativa del tratto (>33%)	5	<input type="checkbox"/>

--

F8 Presenza di forme tipiche di pianura			
A	Presenti forme di pianura attuali o riattivabili (laghi meandro abbandonato, canali secondari, ecc.)	0	<input type="checkbox"/>
B	Presenti tracce forme pianura (abbandonate a partire da anni '50 circa) ma riattivabili	2	<input type="checkbox"/>
C	Completa assenza di forme di pianura attuali o riattivabili	3	<input type="checkbox"/>

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

--

Configurazione sezione

F9 Variabilità della sezione			
A	Assenza o presenza localizzata (≤5% tratto) di alterazioni naturale eterogeneità della sezione	0	<input type="checkbox"/>
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione limitata del tratto (≤33%)	3	<input type="checkbox"/>
C	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzione significativa del tratto (>33%)	5	<input type="checkbox"/>

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

--

Struttura e substrato alveo

F10 Struttura del substrato			
A	Naturale eterogeneità sedimenti e clogging poco significativo	0	<input type="checkbox"/>
B	Corazzamento accentuato o affioramento occasionale substrato o clogging frequente	5	<input type="checkbox"/>
C	Affioramento diffuso del substrato per incisione (>33% tratto)	6	<input type="checkbox"/>

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	<input type="checkbox"/>
C	Presenza molto limitata o assenza di materiale legnoso	3	<input type="checkbox"/>

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	

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	

ARTIFICIALITA'

Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte

parz. prog. conf.

A1 Opere di alterazione delle portate liquide formative			
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 (TR<10 anni)	6	

A2 Opere di alterazione delle portate solide			
A	Assenza o presenza trascurabile di opere di alterazione del flusso di sedimenti	0	
B	Presenza di dighe (area sottesa 5-33%) e/o presenza non trascurabile di briglie	3	
	Presenza di dighe (area sottesa 33-50%) e/o briglia di trattenuta all'estremità a monte del tratto	6	
C	Presenza di dighe con area sottesa>50%	9	
	Presenza di una diga all'estremità a monte del tratto	12	

Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto

A3 Opere di alterazione delle portate liquide (derivazioni, scolmatori, casse)			
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 (TR<10 anni)	6	

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

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

A5 Opere di attraversamento (ponti, guadi, tombinature)			
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 (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli)			
A	Assenza o solo difese localizzate ($\leq 5\%$ lunghezza totale delle sponde)	0	<input type="checkbox"/>
B	Presenza di difese per $\leq 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	3	<input type="checkbox"/>
C	Presenza di difese per $> 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	6	<input type="checkbox"/>
<i>Nel caso di difese di sponda per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere</i>			12 <input type="checkbox"/>

A7 Arginature			
A	Argini assenti o distanti oppure presenza argini vicini o a contatto $\leq 10\%$ lunghezza sponde	0	<input type="checkbox"/>
B	Presenza intermedia di argini vicini e/o a contatto (a contatto $\leq 50\%$ lunghezza sponde)	3	<input type="checkbox"/>
C	Presenza elevata di argini vicini e/o a contatto (a contatto $> 50\%$ lunghezza sponde)	6	<input type="checkbox"/>
<i>Nel caso di argini a contatto per quasi tutto il tratto ($> 80\%$), aggiungere</i>			12 <input type="checkbox"/>

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	<input type="checkbox"/>
B	Presenza di variazioni di tracciato per $\leq 10\%$ lunghezza tratto	2	<input type="checkbox"/>
C	Presenza di variazioni di tracciato per $> 10\%$ lunghezza tratto	3	<input type="checkbox"/>

A9 Altre opere di consolidamento (soglie, rampe) e/o di alterazione del substrato (rivestimenti)			
A	Assenza soglie o rampe e rivestimenti assenti o localizzati ($\leq 5\%$ tratto)	0	<input type="checkbox"/>
B	Presenza soglie o rampe (≤ 1 ogni m) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ imperm.	3	<input type="checkbox"/>
C	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni m) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ imperm.	6	<input type="checkbox"/>
	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili	8	<input type="checkbox"/>

$m=200\text{ m}$ in ambito montano; $m=1000\text{ m}$ in ambito di pianura/collina

Nel caso la densità di opere trasversali, incluse briglie (vedi A4), è > 1 ogni n , aggiungere 12

dove $n=100\text{ m}$ in ambito montano, oppure $n=500\text{ m}$ in ambito di pianura/collina

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

Interventi di manutenzione e prelievo

A10 Rimozione di sedimenti			
A	Assenza di significativa attività di rimozione recente (ultimi 20 anni) e in passato (da anni '50)	0	<input type="checkbox"/>
B	Moderata attività in passato ma assente di recente (ultimi 20 anni), oppure assente in passato ma presente di recente	3	<input type="checkbox"/>
C	Intensa attività in passato oppure moderata in passato e presente di recente	6	<input type="checkbox"/>

A11 Rimozione di materiale legnoso			
A	Assenza di interventi di rimozione di materiale legnoso almeno negli ultimi 20 anni	0	<input type="checkbox"/>
B	Rimozione parziale negli ultimi 20 anni	2	<input type="checkbox"/>
C	Rimozione totale negli ultimi 20 anni	5	<input type="checkbox"/>

A12 Taglio della vegetazione in fascia perifluviale			
A	Vegetazione perifluviale sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0	<input type="checkbox"/>
B	Taglio selettivo nel tratto e/o raso su $\leq 50\%$ del tratto negli ultimi 20 anni	2	<input type="checkbox"/>
C	Taglio raso su $> 50\%$ del tratto negli ultimi 20 anni	5	<input type="checkbox"/>

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

			parz.	prog.	conf.
V1	Variazioni della configurazione morfologica	(si applica solo nel caso di NCG)			
A	Assenza di variazioni rispetto ad anni '50 (alveo libero di modificarsi)		0		
B	Variazioni di morfologia tra tipologie contigue rispetto ad anni '50		3		
C	Variazioni tra tipologie non contigue rispetto ad anni '50 oppure assenza di variazioni nel caso di alveo già artificializzato planimetricamente negli anni '50		6		

--	--	--	--

V2	Variazioni di larghezza	(si applica solo nel caso di NCG)			
A	Variazioni nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto ad anni '50 (alveo libero di modificarsi)		0		
B	Variazioni moderate (15-35%) rispetto ad anni '50		3		
C	Variazioni intense ($> 35\%$) rispetto ad anni '50 oppure variazioni nulle o limitate nel caso di alveo già artificializzato planimetricamente negli anni '50		6		

--	--	--	--

V3	Variazioni altimetriche	(si applica solo nel caso di NCG)			
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		
	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; $0.3 \leq IQM < 0.5$: Scadente; $0.5 \leq IQM < 0.7$: Moderato; $0.7 \leq IQM < 0.85$: Buono; $0.85 \leq IQM < 1.0$: Elevato)

GUIDA ALLE RISPOSTE

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 periferuale) 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 CLASSIFICAZIONE INIZIALE

La prima parte della scheda è dedicata ad una serie di informazioni generali. Si indica dapprima la **data** del rilevamento sul terreno (seppure la compilazione dell'intera scheda richiede una fase preparatoria ed una fase successiva di perfezionamento e/o completamento delle misure) ed i nomi degli **operatori**. Si indica poi il **bacino** idrografico, di cui il corso d'acqua oggetto del rilievo fa parte, ed il nome del **corso d'acqua** stesso. Si richiede poi un'indicazione della **località** (con particolare riferimento a quella del sito di rilievi sul terreno). Seguono i codici utilizzati per definire il **segmento** di appartenenza ed il **tratto** e la **lunghezza** di quest'ultimo (definiti durante la fase di classificazione iniziale).

La parte successiva contiene tutte le informazioni e le misure effettuate nella fase precedente di inquadramento e classificazione iniziale, finalizzate alla definizione del tratto. Come è noto (si veda Manuale Cap.4), la definizione dei tratti si basa su 4 step. Il primo step è rappresentato dall'**inquadramento fisiografico**, attraverso il quale si definisce l'ambito fisiografico (solo per i semi-non confinati, in quanto nel caso dei confinati l'ambito è necessariamente collinare – montano) e l'unità fisiografica (es. area montuosa alpina, bassa pianura, ecc.). Il secondo step è rappresentato dalla definizione del **confinamento**. Si riportano quindi i valori del grado e dell'indice di confinamento che sono serviti per l'attribuzione alla classe di confinamento. Da notare che si lascia all'operatore la scelta di riportare solo la classe di appartenenza del grado e dell'indice di confinamento (es. >90%, 10-90% o <10% per il grado di confinamento) oppure (quando possibile) di specificare il valore dei due indici. Ciò vale anche per gli indici utilizzati successivamente per la definizione della morfologia (indici di sinuosità, intrecciamento, anastomizzazione, lunghezza barre laterali). 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**. In questo caso la procedura si diversifica a seconda che si tratti di un alveo confinato o semi- non confinato. In molti casi (escluso per alvei a canali multipli) è richiesta anche la configurazione del fondo, osservabile sul

terreno (sono possibili in uno stesso tratto più configurazioni del fondo). Successivamente sono richiesti due parametri aggiuntivi, la pendenza media del fondo e la larghezza, non strettamente richiesti per la classificazione morfologica ma importanti per una caratterizzazione di base del tratto e richiamati successivamente nella scheda. In particolare, la larghezza media nel tratto dell'alveo è importante per la distinzione tra piccoli e grandi, anche se per quest'ultima (come spiegato a proposito delle variazioni) è necessario esaminare anche le foto aeree degli anni '50. Inoltre vari indicatori sono espressi in funzione della larghezza per la definizione di valori di soglia tra varie classi (es. larghezza piana inondabile, ampiezza vegetazione perifluviale, distanza argini, ecc.). Infine si indica il tipo di sedimenti dominanti presenti nella porzione più attiva dell'alveo (canale e barre) ai fini di una più completa caratterizzazione della tipologia d'alveo. 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 (oltre a quello della variazione morfologica) utilizzati **per la delimitazione del tratto** (ad es. presenza di una diga o discontinuità di pendenza, ecc.). Si possono specificare anche diversi elementi per la delimitazione rispetto al tratto di monte ed a quello di valle. Infine, nell'ultima parte è possibile riportare alcuni **dati o informazioni eventualmente disponibili** che possono essere utili per la caratterizzazione del tratto e l'interpretazione dei risultati. Viene richiesto il diametro mediano dei sedimenti, nel caso in cui fossero state eseguite misure granulometriche nel tratto o qualora si ritenesse opportuno effettuarla nell'ambito di tale rilievo (si ricorda che tale misura, seppure utile, non è indispensabile per la valutazione, mentre è richiesta nella fase di monitoraggio strumentale, per la quale si rimanda al Cap.6). Se esiste una stazione idrometrica nel tratto si richiedono la portata media annua e la portata con tempo di ritorno di 1.5 anni. In caso non esista una stazione di misura si possono eventualmente riportare delle stime, qualora disponibili. E' possibile infine riportare (quando note) le portate massime più significative durante il periodo di registrazione. In particolar modo, è opportuno sapere se recentemente (ultimi 10 anni circa) si sia verificato lungo il corso d'acqua o tratto di studio un evento di piena di una certa intensità (significativamente al di sopra delle condizioni formative), in modo tale da tener presente che alcune evidenze potrebbero essere condizionate da tale evento.

FUNZIONALITÀ

Continuità

F1: Continuità longitudinale nel flusso di sedimenti e materiale legnoso

Descrizione

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

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Sito/Tratto	<i>Laterale:</i> 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 più possono avere 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 viene attribuita al tratto a monte**. Attraverso questo indicatore si valuta la continuità longitudinale nel tratto, escludendo quindi l'estremità a monte. 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 da **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 **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, ecc.).	
B	Lieve alterazione della continuità di flusso di sedimenti e materiale legnoso, ovvero esistono forme deposizionali associabili al rallentamento e 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, soglie, rampe, ecc.); il materiale legnoso di dimensioni maggiori viene trattenuto da pile di ponti e/o opere filtranti.	
C	Forte alterazione della continuità di flusso di sedimenti e materiale legnoso, ovvero esiste una forte discontinuità di forme (sedimenti) a monte ed a valle di una o più opere in quanto il trasporto di fondo e/o di materiale legnoso è fortemente intercettato (es. in presenza di briglie).	

F2: Presenza di piana inondabile

Descrizione

Un corso d'acqua alluvionale in equilibrio dinamico costruisce per sua natura un'area morfologicamente pianeggiante (la piana inondabile) soggetta ad inondazioni normalmente a partire da eventi di piena con un tempo di ritorno compreso tra 1 e 3 anni. La presenza di una piana inondabile caratterizzata da una tale frequenza di inondazione favorisce l'esplicitarsi di importanti funzioni morfologiche (laminazione delle portate di piena e conseguente parziale dissipazione dell'energia della corrente, sedimentazione laterale fine), 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	
<i>Longitudinale:</i> Sito/Tratto	<i>Laterale:</i> 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.

L'individuazione della piana inondabile avviene attraverso l'osservazione da **immagini telerilevate** ed il rilievo **sul terreno**. Si rimarca che si fa qui riferimento alla pianura inondabile in s.s. (o attiva o moderna: si veda cap.6), vale a dire, nel caso (molto frequente) di alvei incisi, solo alla porzione di pianura alluvionale eventualmente costruita dopo la fase più recente di incisione. Sulla base delle immagini disponibili, si individua preliminarmente la presenza ed estensione di una fascia adiacente al corso d'acqua con tipiche caratteristiche vegetazionali di piana inondabile (a tal fine tale analisi può essere condotta contestualmente agli indicatori vegetazionali F12 ed F13) e si accerta l'assenza di argini compresi tra alveo e tale superficie. Successivamente è fondamentale il riconoscimento sul terreno, per verificare se e quali porzioni di tale superficie preliminarmente individuata presentino le caratteristiche di una piana inondabile. Il riconoscimento si basa su varie evidenze (le quali sono le stesse utilizzate abitualmente per riconoscere il livello di alveo pieno: si veda Cap.6 per maggiori dettagli), vale a dire: (1) continuità morfologico – topografica con le superfici di deposizione (barre) in alveo; (2) copertura di materiale fine di esondazione; (3) copertura totale o quasi di vegetazione, con presenza significativa di vegetazione arborea; (4) evidenze di frequenti inondazioni (soprattutto materiale legnoso che marca il livello raggiunto da recenti piene). Si ricorda che non sempre tali evidenze sono tutte presenti. Per esempio, si possono avere casi di terreni coltivati a ridosso dell'alveo privi di vegetazione riparia che possono costituire piana inondabile qualora l'alveo non fosse inciso; viceversa si possono avere superfici vegetate che non costituiscono una piana inondabile formata nelle

attuali condizioni bensì costituenti dei terrazzi (soggetti ad inondazioni per tempi superiori a quelli tipici delle piane inondabili naturali). Successivamente al controllo sul terreno (possibilmente in più punti del tratto), che permette di verificare se quelle porzioni di superfici individuate preliminarmente da immagini abbiano o meno le caratteristiche di piana inondabile, le misure definitive dei parametri necessari per l'attribuzione ad una classe (continuità ed ampiezza) possono poi essere fatte con precisione in GIS.

Per la **continuità**, si valuta la percentuale di lunghezza del tratto in cui sia presente piana inondabile (è sufficiente la presenza anche da un solo lato). Per quanto riguarda l'**ampiezza**, essa va intesa come larghezza complessiva (somma sui due lati). Si noti che nel computo dell'ampiezza vanno incluse le **isole** eventualmente comprese in alveo. Per l'attribuzione alla classe *A*, la larghezza deve essere almeno pari ad nLa , dove La è la larghezza dell'alveo, mentre $n=2$ per alvei a canale singolo (compresi i sinuosi a barre alternate) ed $n=1$ per alvei a canali intrecciati o *wandering*. Il valore più basso di n nel caso di canali intrecciati o *wandering* tiene conto allo stesso tempo di una loro mobilità laterale ridotta in genere ad una fascia più ristretta e di larghezze dell'alveo relativamente maggiori rispetto ai fiumi 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 piana inondabile), il tratto si attribuisce alla classe *A* anche se la larghezza della pianura fosse inferiore ad nLa . Le **misure in GIS** per l'attribuzione alle classi possono essere effettuate in due modalità: (1) per sezioni rappresentative ortogonali all'asse della valle e ricavando un valore medio nel tratto; (2) riportando l'area di piana inondabile all'area della fascia di ampiezza nLa : tale area è determinata come $nLa \cdot Lv$, dove Lv = lunghezza del tratto misurata lungo l'asse della valle (in caso di più direzioni dell'asse della valle il tratto va scomposto in più parti).

Risposte estese

Tipologia	SEMI- NON CONFINATI
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 (La) per corsi d'acqua a canale singolo (inclusi sinuosi a barre alternate), o di almeno 1 La nel caso di corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i> .
B	Presenza di piana inondabile discontinua (10-66% della lunghezza del tratto) di qualunque ampiezza, oppure con buona continuità (>66% della lunghezza del tratto) ma non sufficientemente ampia, ovvero larghezza complessiva $\leq 2 La$ (corsi d'acqua a canale singolo o sinuosi a barre alternate) o $\leq 1 La$ (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

Viene valutato il grado di collegamento tra versanti e corridoio fluviale (alveo e piana inondabile), il quale riveste una grande importanza per i naturali processi di immissione di sedimento e materiale legnoso in alvei confinati, ad opera di erosione superficiale, fenomeni di dissesto, valanghe, schianti arborei. Interventi antropici di difesa (p.e., reti paramassi, valli di trattenuta) ed infrastrutture (strade, ferrovie) spesso interrompono tale continuità trasversale versante-fiume, e tale domanda si propone di valutare quanto (in senso longitudinale) i naturali processi di immissione da versante siano stati alterati.

Scala spaziale	
Longitudinale: Tratto	Laterale: Pianura/Versanti adiacenti
Tipo di misura: Immagini telerilevate e rilievo sul terreno	

Tale indicatore 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 **avente una larghezza di 50 m** in pianta, per ognuno dei due lati (a partire dalla base del versante destro e sinistro). Questa fascia può essere automaticamente delimitata in **ambiente GIS**, un 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 (alveo o piana inondabile) che si estende per quasi tutto il tratto (> 90%).
B	Il collegamento tra versanti e corridoio fluviale si estende per una parte significativa del tratto (33÷90%).
C	Il collegamento tra versanti e corridoio fluviale si estende ad una piccola porzione del tratto (≤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 siano in erosione). Tuttavia, in alcuni casi la presenza eccessiva di erosioni di sponda, soprattutto quando legate ad instabilità diffusa per movimenti di massa, può essere un sintomo di un tratto fluviale destabilizzato dall'incisione del fondo. Tale indicatore 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	
Longitudinale: Sito/Tratto	Laterale: 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 per i 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 (indicatore precedente). Inoltre, per i tratti di pianura costiera caratterizzati da bassa energia e trasporto solido al fondo molto limitato, l'assenza di erosione delle sponde non è da considerare un'alterazione. Non è possibile quantificare il numero o la lunghezza delle sponde in erosione attese, aspetti che dipendono da vari fattori ed in primo luogo dalla morfologia d'alveo, per questo l'indicatore richiede una certa interpretazione.

Si effettua un primo riconoscimento dei tratti di sponda in arretramento dall'analisi delle **immagini telerilevate** (in genere tali fenomeni sono ben riconoscibili). Successivamente la presenza e frequenza viene confermata o meno nel sito di controllo sul **terreno** attraverso osservazione diretta ed eventualmente su 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	<i>NON SI VALUTA IN CASO DI ALVEI RETTILINEI O SINUOSI A BASSA ENERGIA (BASSA PIANURA, BASSE PENDENZE E/O BASSO TRASPORTO AL FONDO)</i>
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	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Pianura alluvionale
Tipo di misura: Immagini telerilevate	

Essendo la mobilità laterale una caratteristica tipica dei corsi d'acqua **semi- e non confinati**, tale indicatore non viene applicato ai confinati.

La valutazione non richiede la delimitazione della 'fascia potenzialmente erodibile' (operazione che necessiterebbe di molti dati ed esula dagli scopi della valutazione) quanto piuttosto la **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).

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 (piana inondabile) (così come le procedure di misura in GIS sono del tutto analoghe): vale a dire la larghezza complessiva di fascia potenzialmente erodibile (può essere presente anche da un solo lato), per l'attribuzione alla classe *A*, deve essere almeno pari ad nLa , dove La è la larghezza dell'alveo, mentre $n=2$ per alvei a canale singolo (compresi i sinuosi a barre alternate) ed $n=1$ per alvei a canali intrecciati o *wandering*. Nel caso di alvei **semiconfinati** per i quali la fascia potenzialmente erodibile occupa tutto lo spazio disponibile (ovvero tutta la pianura corrisponde a fascia erodibile), il tratto si attribuisce alla classe *A* anche se la larghezza fosse 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 (La) per corsi d'acqua a canale singolo (inclusi sinuosi a barre alternate), o di almeno 1 La nel caso di corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i> .
B	Presenza di una fascia erodibile ampia ma con media continuità (33 ÷ 66 %), oppure continuità superiore ma ristretta, ovvero larghezza media complessiva $\leq 2 La$ (corsi d'acqua a canale singolo o sinuosi a barre alternate) o $\leq La$ (corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i>).
C	Presenza di una fascia erodibile di qualunque ampiezza ma con scarsa continuità ($\leq 33\%$).

Morfologia

F6: Morfologia del fondo e pendenza della valle

Descrizione

Negli alvei confinati a canale singolo, l'aspetto planimetrico del corso d'acqua non riveste alcun valore diagnostico di funzionalità geomorfologica, in quanto esso viene imposto dalla configurazione e dinamica dei versanti. Per questi alvei (se a fondo mobile) è invece la morfologia del fondo ad assumere rilevanza, come evidenziato dalle classificazioni morfologiche relative a queste tipologie di corsi d'acqua (si veda Cap.2 Manuale). In particolare, esiste una forte correlazione tra pendenza dell'alveo e tipologia morfologica, ovvero per pendenze crescenti si ha il seguente ordine di forme: dune, *riffle-pool*, letto piano, gradinata. A livello ecologico, tali morfologie inglobano il mosaico di habitat tipici di un corso d'acqua avente una certa pendenza in condizioni non alterate.

La presenza di opere trasversali può tuttavia causare un abbassamento artificiale della pendenza locale e quindi un'eventuale variazione della morfologia del fondo (e quindi una modifica 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 sarà presa in considerazione nella scheda Artificialità).

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Sito/Tratto	<i>Laterale:</i> Alveo
Tipo di misura: Rilievo sul terreno e immagini telerilevate	

Tale indicatore viene applicato solo ai **confinati a canale singolo** (per i quali si classifica la configurazione del fondo) mentre per i confinati a canali multipli o *wandering* esso è sostituito dall'indicatore F7. Inoltre, viene applicato solo per i tratti a pendenza relativamente elevata, ovvero >0.2% (considerata generalmente come soglia per i torrenti montani).

L'operatore dovrà determinare la **pendenza media della valle** lungo il tratto analizzato (in base al profilo longitudinale ricostruito da carte topografiche e già utilizzato in fase di suddivisione in tratti) e quindi determinare la morfologia di fondo attesa in base alla Tabella 1. Si noti che i limiti delle varie classi si sovrappongono, in quanto condizioni locali possono estendere/ridurre gli ambiti di una certa morfologia.

Morfologia fondo	Granulometria Dominante	Intervallo di pendenze (%)
Dune	Sabbia e ghiaia fine	≤ 0.4
<i>Riffle-pool</i>	Ghiaia e ciottoli	$0.3 \div 2$
Letto piano	Ciottoli e ghiaia	$1 \div 4$
Gradinata	Massi e ciottoli	> 3

Tabella 1 – Relazioni tra campi di pendenze e morfologia del fondo attesa.

Successivamente, tramite verifica **sul terreno** sul sito e da **immagini telerilevate** (per quanto possibile), si dovrà individuare la tipologia morfologica prevalente e valutarne la coerenza con quanto atteso in base alla Tabella 1. In 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).

Si noti che per le classi A e B non vengono effettuate valutazioni sulla frequenza o estensione nel tratto di situazioni alterate, quanto solo la presenza/assenza di tali situazioni (è quindi sufficiente un'unica situazione di alterazione della morfologia del fondo per impedire l'assegnazione alla classe A). Differentemente, l'attribuzione alla classe C presuppone un fondo morfologicamente alterato per gran parte del tratto.

Risposte estese

Tipologia	CONFINATI
Campi di applicazione	SI APPLICA A CONFINATI A CANALE SINGOLO A PENDENZA >0.2%. NON SI APPLICA NEL CASO DI CONFINATO CON FONDO IN ROCCIA, NONCHÉ NEL CASO DI CORSO D'ACQUA PROFONDO PER IL QUALE NON È POSSIBILE OSSERVARE LA CONFIGURAZIONE DEL FONDO.
A	Forme di fondo coerenti con la pendenza media della valle: la morfologia di fondo corrisponde a quella attesa in base alla pendenza media della valle lungo il tratto (Tabella 1). Rientrano in questa categoria anche le morfologie imposte da fattori naturali (quali log step, frane, morene, ecc.) che localmente possono determinare delle forme di fondo non attese (es. unità a <i>riffle</i> in tratti ad elevata pendenza, salti e pozze su tratti a bassa pendenza).
B	Forme di fondo non coerenti con la pendenza media della valle: la morfologia del fondo non corrisponde a quella attesa in base alla pendenza della valle a causa di opere trasversali (dighe, traverse, briglie, soglie, rampe, anche se realizzate con tecniche di Ingegneria Naturalistica). Ciò si verifica se la pendenza del fondo che si è instaurata tra le opere è molto diversa rispetto a quella originaria e tale da spostare l'alveo di categoria (Tabella 1).
C	Completa alterazione delle forme di fondo: rientrano in questa categoria tutti i casi in cui il fondo è completamente artificiale (cunettoni) o comunque dove l'interdistanza tra le opere trasversali è talmente ravvicinata da non permettere l'instaurarsi di unità morfologiche attribuibili ad una categoria morfologica. Sono generalmente tali i casi in cui la buca di scavo a valle di ogni opera si estende per una lunghezza > 40-50% dell'interdistanza tra due opere successive.

F7: Forme e processi tipici della configurazione morfologica

Descrizione

Negli alvei semi- e non confinati, la distinzione in diverse tipologie morfologiche si basa essenzialmente sulla loro configurazione planimetrica. 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 la presenza di opere ed interventi antropici può avere localmente alterato le forme tipiche che si riscontrano a scala di tratto (ad esempio alveo a canali intrecciati che per alcuni sottotratti viene rimaneggiato e perde le sue caratteristiche peculiari). Può essere ad esempio il caso di una riduzione di pendenza dovuta alla presenza di un'opera trasversale, la quale induce un'alterazione delle condizioni di energia e delle forme tipiche riscontrate invece nella parte rimanente del 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.

E' importante effettuare tale valutazione considerando il contesto fisiografico in cui è inserito il tratto: a tal fine può essere di aiuto osservare anche la morfologia dei tratti immediatamente a monte e a valle, per verificare se esistano delle variazioni inattese di morfologia. Ad esempio, in un ambito fisiografico di alta pianura (conoide), un tratto sinuoso e privo di barre compreso tra due tratti a morfologia *wandering* o a canali intrecciati può riflettere un'alterazione della funzionalità morfologica (lo stesso tratto sinuoso al passaggio tra un tratto *wandering* ed un tratto meandriforme può invece ritenersi normale).

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Sito/Tratto	<i>Laterale:</i> 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	<i>NEL CASO DI CONFINATI SI APPLICA SOLO AD ALVEI A CANALI INTRECCIATI O WANDERING</i>
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 isole mature. <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 ad alveo di piena, locali condizioni di intrecciamento, presenza di isole pioniere e talora 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 ad alveo di piena, tipico susseguirsi di alternanze <i>riffles</i> e <i>pools</i> (eccetto che in fiumi a fondo sabbioso). <i>SINUOSI, MEANDRIFORMI CON BARRE:</i> barre laterali o di meandro, frequenti erosioni delle sponde esterne (soprattutto nei meandriformi), possibili canali di <i>chute cut off</i> , tipico susseguirsi di alternanze <i>riffles</i> e <i>pools</i> (eccetto che in fiumi a fondo sabbioso). <i>RETTILINEI, SINUOSI, MEANDRIFORMI DI BASSA PIANURA:</i> non presentano necessariamente una significativa eterogeneità di forme.
B	Alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale per una porzione limitata del tratto ($\leq 33\%$), con caratteristiche tipiche della morfologia meno riconoscibili e discontinue.
C	Consistenti alterazioni della naturale eterogeneità di forme attesa per la tipologia fluviale per una porzione significativa del tratto ($>33\%$) in relazione a forte degradazione fisica e/o pressione antropica.

F8: Presenza di forme tipiche di pianura

Descrizione

Nel caso di corsi d'acqua a canale singolo meandriformi (o originariamente tali) in ambito fisiografico di pianura, in condizioni non alterate risulta normale la presenza di alcune tipiche forme di pianura (in particolar modo meandri abbandonati, relativi laghi, canali secondari, ecc.). Essi svolgono importanti funzioni ecologiche (creazione di habitat umidi) oltre che geomorfologico – idrauliche. L'assenza di tali forme, tipiche del contesto morfologico (medio – bassa pianura), è da valutare come un certo grado di alterazione della normale funzionalità del corso d'acqua.

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Pianura alluvionale
Tipo di misura: Immagini telerilevate	

Come notato precedentemente, tale indicatore è valido solo per alvei **meandriformi in ambito fisiografico di pianura**, anche nel caso in cui il corso d'acqua era meandriforme in passato ma attualmente non lo è (ad es. a causa di rettifiche). Non viene invece valutato nel caso di alvei mai stati meandriformi (a canali intrecciati o *wandering* né tantomeno per corsi d'acqua confinati). L'analisi di **immagini telerilevate** è sufficiente per individuare tali forme, quindi non sono richiesti controlli sul terreno.

In classe *A* si includono forme create dal corso d'acqua nelle attuali condizioni di regime. In classe *B* si includono invece quelle forme che non sono esattamente attuali ma sono riattivabili (ad esempio un meandro abbandonato che è rimasto disconnesso dall'alveo attuale a causa di incisione del fondo) con riferimento temporale agli anni '50 (coerentemente con l'analisi delle variazioni planimetriche: indicatori *V1* e *V2*). Non sono invece da intendersi incluse in questa categoria le porzioni di alveo abbandonate per restringimento dell'alveo. Si noti che non viene considerata la frequenza o estensione areale di tali forme: è ad esempio sufficiente la presenza di una forma attuale o riattivabile per l'attribuzione alla classe *A*.

Risposte estese

Tipologia	SEMI- NON CONFINATI
Campi di applicazione	SI APPLICA SOLO AD ALVEI MEANDRIFORMI IN AMBITO FISIOGRAFICO DI PIANURA
A	Sono presenti nella pianura forme fluviali attuali o riattivabili di origine naturale (laghi di meandro abbandonato, canali secondari, tracce di meandro abbandonato riattivabili, zone stagnanti, ecc.).
B	Sono presenti solo tracce di forme fluviali, attualmente inattive (abbandonate a partire dagli anni '50 anni circa) ma riattivabili.
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: si veda dopo). 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 tale indicatore si valuta pertanto questo tipo di alterazione.

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Sito/Tratto	<i>Laterale:</i> Alveo
Tipo di misura: Rilievo terreno e immagini telerilevate	

L'indicatore si applica sia al caso di alvei confinati che semi- e non confinati.

Nel caso di alvei **confinati**, la variabilità della larghezza in condizioni naturali può essere più limitata (essendo spesso l'alveo a contatto con versanti) mentre si enfatizza maggiormente la variabilità di profondità e di condizioni idrodinamiche (zone di separazione della corrente). Le osservazioni vanno condotte esclusivamente sul **terreno** lungo il sito rappresentativo.

Nel caso di alvei **semi- e non confinati**, oltre alla variabilità di profondità in sezione legata alla presenza di forme e superfici diversificate, la variabilità di larghezza in senso longitudinale è in genere più marcata (tanto più quanto maggiore è la presenza di barre). L'indicatore non viene valutato invece nel caso di corsi d'acqua a morfologie rettilinee, sinuose o meandriformi per loro natura prive di barre (bassa pianura, basse pendenze e/o basso trasporto al fondo), per le quali una certa omogeneità della sezione è naturale. Le osservazioni vanno condotte sia da **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 senso 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 utilizzate quando la posizione delle sponde è mantenuta fissa artificialmente.

Risposte estese

Tipologia	CONFINATI
A	Assenza o presenza localizzata (≤ 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.
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzioni limitate del tratto (≤ 33 %): esiste una variabilità della sezione per $>66\%$ di lunghezza del tratto, e/o presenza saltuaria di zone di separazione della corrente.
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.

Tipologia	SEMI- NON CONFINATI
Campi di applicazione	<i>NON SI VALUTA IN CASO DI ALVEI RETTILINEI, SINUOSI, MEANDRIFORMI PER LORO NATURA PRIVI DI BARRE (BASSA PIANURA, BASSE PENDENZE E/O BASSO TRASPORTO AL FONDO) (NATURALE OMOGENEITÀ DI SEZIONE)</i>
A	Assenza di alterazioni o presenza localizzata (≤ 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) e canali secondari.
B	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzioni limitate del tratto (≤ 33 %): esiste una variabilità della larghezza e/o una scarsa variabilità altimetrica per $>66\%$ di lunghezza del tratto.
C	Presenza di alterazioni (omogeneità sezione) per porzioni significative del tratto (>33 %): la larghezza è pressoché omogenea lungo una porzione significativa del tratto ($> 33\%$) e/o la configurazione della sezione trasversale è uniforme e riconducibile ad una forma trapezia.

F10: Struttura del substrato

Descrizione

Un corso d'acqua presenta in condizioni normali 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 riveste importanza fondamentale per gli habitat acquatici. Tale eterogeneità 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. Tale indicatore valuta pertanto la presenza delle alterazioni più evidenti nella struttura del substrato.

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Sito	<i>Laterale:</i> 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. In entrambi i casi, non è agevole definire dei limiti (soprattutto in termini quantitativi) che permettano di distinguere il grado di alterazione, pertanto si è ritenuto significativo considerare solo i casi di notevoli e vistose alterazioni rispetto al caso (più frequente) in cui l'eterogeneità granulometrica si può considerare nella norma.

Nel caso di alvei **confinati**, si valuta solo per quelli a fondo mobile (gli alvei con fondo in roccia per definizione non presentano sedimenti sul fondo), ed escludendo gli eventuali casi di corsi d'acqua a fondo sabbioso per i quali è normale una certa omogeneità granulometrica. Normalmente gli alvei confinati a fondo mobile presentano un'eterogeneità di dimensioni granulometriche anche molto forte, potendo comprendere massi, ciottoli, ghiaia e sabbia. Un elemento di alterazione può essere rappresentato dal cosiddetto **clogging**, vale a dire l'occlusione degli interstizi dei sedimenti grossolani del fondo da parte di materiale fine (limo, argilla), che può essere dovuta ad un'eccessiva erosione superficiale nel bacino (legata ad esempio a variazioni di uso del suolo) o alterazioni del regime idrologico. La sua presenza, entro certi limiti, può essere normale in particolari situazioni (p.e. 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. La massima alterazione della struttura del substrato (classe C), negli alvei confinati, 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 del tutto generalizzata (può essere presente su alcune porzioni del letto alternandosi a zone in cui è assente). Si ritiene pertanto che tale fenomeno possa essere considerato un'evidenza di alterazione solo nei casi in cui esso sia molto evidente (corazzamento accentuato o statico) e presente in varie porzioni del sito. Infine, un ulteriore elemento sintomo di alterazione può essere rappresentato dalla presenza di **affioramenti del substrato**. Tale elemento va tuttavia valutato con attenzione, in quanto va considerato come elemento per l'attribuzione alle classi B o C solo quando è evidentemente legato a fenomeni di incisione, vale a dire in corsi d'acqua alluvionali a fondo mobile in posizione lontana dai versanti dove sarebbe lecito aspettarsi un certo spessore di materasso alluvionale, mentre vanno esclusi quei casi in cui i versanti sono a breve distanza dall'alveo per i quali si può trattare di naturali affioramenti.

L'indicatore va valutato in tutti i casi esclusivamente sul **terreno**, quindi alla **scala spaziale del sito** scelto come rappresentativo ed eventuali altri punti di controllo se ritenuti opportuni. 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 O FONDO SABBIOSO, NONCHÉ NEL CASO DI CORSO D'ACQUA PROFONDO PER IL QUALE NON È POSSIBILE OSSERVARE IL FONDO
A	Naturale eterogeneità della granulometria dei sedimenti in relazione alle diverse unità sedimentarie (<i>step</i> , <i>pool</i> , <i>riffle</i>), con situazioni di <i>clogging</i> poco significativo.
B	Evidente riduzione dell'eterogeneità sedimenti e/o presenza evidente e diffusa di <i>clogging</i> .
C	Completa alterazione del substrato per diffusa presenza (>33% del tratto) di rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili).

Tipologia	SEMI- NON CONFINATI
Campi di applicazione	NON SI VALUTA NEL CASO DI FONDO SABBIOSO, NONCHÉ NEL CASO DI CORSO D'ACQUA PROFONDO PER IL QUALE NON È POSSIBILE OSSERVARE IL FONDO
A	Naturale eterogeneità delle granulometrie dei sedimenti in relazione alle diverse unità sedimentarie (barre, canale, <i>riffle</i> , <i>pool</i>) ed anche all'interno di una stessa unità, con situazioni di <i>clogging</i> poco significativo.
B	Presenza di corazzamento accentuato in vari punti o presenza evidente e frequente di <i>clogging</i> , oppure presenza di affioramenti del substrato occasionali (e comunque per una lunghezza $\leq 33\%$ del tratto) attribuibili ad incisione del materasso alluvionale.
C	Presenza diffusa ($>33\%$ del tratto) di affioramenti del substrato attribuibili ad incisione del materasso alluvionale.

F11: Presenza di materiale legnoso di grandi dimensioni

Descrizione

Questo indicatore mira a valutare se un tratto presenta condizioni di alterazione rispetto alla naturale presenza di materiale legnoso morto (detrito) di grandi dimensioni all'interno dell'alveo, ovvero alberi, tronchi, rami, ceppaie aventi lunghezza $> 1\text{ m}$ e diametri $> 10\text{ cm}$. Tale materiale legnoso svolge importanti funzioni nei confronti dei normali processi geomorfologico – idraulici ed ha numerose implicazioni in termini ecologici (diversità di habitat, input di materia organica, ecc.).

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Sito	<i>Laterale:</i> 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 totale assenza (indicativamente < 5 elementi per 100 m di lunghezza d'alveo) di materiale legnoso in alveo.

L'operatore baserà la sua valutazione su osservazioni sul **terreno alla scala spaziale del sito**, ma in alcuni casi l'utilizzo delle foto aeree (soprattutto se ad alta risoluzione) potrà rivelarsi utile, particolarmente nei casi di alvei a canali intrecciati e transizionali, per i quali quindi la valutazione potrà essere eseguita direttamente alla scala di tratto o su porzioni di lunghezza maggiore del sito.

L'area da osservare è sia l'alveo (incluse eventuali isole) che le sponde. Non si prende in considerazione invece il materiale legnoso presente nella piana alluvionale. Una naturale scarsità di materiale legnoso nell'alveo è da tenere in conto per alcune situazioni particolari, per le quali valgono le seguenti **regole**: (1) In **alvei confinati**, nel caso di larghezza dell'alveo $>$ dell'altezza media delle piante arboree circostanti, relativamente profondi (tirante medio di piene rive $>$ del diametro medio piante), con poche barre e dotati di elevata energia (p.e. alvei larghi a letto piano), il tratto viene attribuito alla classe *A* (in questi casi del materiale legnoso dovrebbe essere comunque presente incastrato presso le sponde, sempre che queste non siano in roccia e/o prive di vegetazione arborea); (2) nel caso invece di **alvei semi- non confinati** privi di barre (bassa pianura), la relativa abbondanza di materiale legnoso è da valutare in prossimità delle sponde.

Infine, tale indicatore **non si applica** ai tratti posti **sopra il limite del bosco** o in corsi d'acqua dove per condizioni naturali la vegetazione perifluviale risulti completamente assente mentre lo si applica ai tratti dove è localmente assente la vegetazione arborea (p.e. sponde in roccia), in quanto del materiale legnoso dovrebbe comunque essere trasportato dai tratti di monte.

Risposte estese

Tipologia	TUTTI
Campi di applicazione	NON SI APPLICA A TRATTI A QUOTE SUPERIORI AL LIMITE DEL BOSCO O IN CORSI D'ACQUA CON NATURALE ASSENZA DI VEGETAZIONE PERIFLUVIALE
A	Presenza significativa di materiale legnoso: è presente del materiale legnoso di grandi dimensioni (piante, tronchi, ceppaie, rami) nell'alveo e/o sulle sponde.
C	Presenza molto limitata o completa assenza di materiale legnoso: non si riscontra una presenza significativa di materiale legnoso all'interno dell'alveo (comprese isole) né sulle sponde.
(1) In alvei confinati: <i>nel caso di larghezza alveo piene rive > altezza media alberi e profondità media alveo piene rive > diametro medio alberi, si assegna A (tratto di trasporto di legname: naturale assenza).</i>	
(2) In semi- non confinati: <i>in caso di alvei privi di barre (bassa pianura) la relativa abbondanza di materiale legnoso è da valutare in prossimità delle sponde.</i>	

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, includendo teoricamente l'intera pianura alluvionale.

E' importante sottolineare che la valutazione di tali indicatori vegetazionali non è effettuata in un'ottica ecologica, a differenza di altri indici (p.e. WSI, IFF), bensì di funzionalità geomorfologica, ovvero si valuta l'ampiezza ed estensione di 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). Pertanto 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, seppure 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** interrompono tale connessione, analogamente agli argini per gli alvei semi- non confinati (non sono inclusi i sentieri), pertanto ne va tenuto conto nell'ampiezza e dell'estensione lineare escludendo dalla valutazione la fascia di vegetazione retrostante.

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 di pianura disponibile per la fascia di vegetazione arborea ed arbustiva, ovvero per le formazioni funzionali, includendo anche formazioni di idrofite quali canneto, in analogia al metodo IFF. Per i tratti confinati, l'ampiezza si valuta rispetto a quella dell'eventuale piana e dei versanti adiacenti fino a 50 m da ogni sponda, sempre che i versanti non siano subverticali e quindi la vegetazione legnosa non sia naturalmente assente. Per i tratti posti al di sopra del limite del bosco, la fascia si restringe a 2 m. 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 da **immagini** telerilevate ed eseguita in ambiente **GIS** tramite la delimitazione della vegetazione arborea/arbustiva presente e della fascia di estensione massima potenziale (escludendo quindi i versanti subverticali in roccia), fino al limite dei 50 m nel caso di alvei confinati. Le misure possono essere eseguite con entrambe le modalità (per sezioni o per aree), analogamente agli indicatori F2 (piana inondabile) ed F5 (fascia potenzialmente erodibile). L'ampiezza è quella complessiva (ovvero somma sui due lati) della fascia perifluviale presente. Si noti che, nel computo dell'ampiezza delle formazioni funzionali, vanno incluse le **isole** eventualmente comprese in alveo. Nel caso di alvei **semiconfinati** per i quali l'ampiezza delle formazioni funzionali è pari a tutto lo spazio disponibile (ovvero tutta la pianura), il tratto si attribuisce alla classe *A* anche se la larghezza fosse inferiore ad *nLa*.

Risposte estese

Tipologia	TUTTI
A	Ampiezza delle formazioni funzionali elevata, ovvero: - per corsi d'acqua <i>CONFINATI</i> , fascia delle formazioni funzionali che occupa tutta l'eventuale piana ed i versanti adiacenti (50 m da ogni sponda) fintantoché non subverticali. La fascia ospita sia formazioni arboree che arbustive spontanee. Per i tratti posti al di sopra del limite del bosco, la fascia dei versanti adiacenti si restringe a 2 m e possono essere presenti anche solo formazioni

	<p>arbustive.</p> <p>- per corsi d'acqua <i>SEMI- NON CONFINATI</i>, fascia delle formazioni funzionali con larghezza complessiva (somma sui due lati) di almeno nLa, dove La è la larghezza dell'alveo, $n=2$ per corsi d'acqua a canale singolo, oppure $n=1$ per corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i>. La fascia ospita sia formazioni arboree che arbustive.</p>
B	<p>Ampiezza delle formazioni funzionali intermedia, ovvero:</p> <p>- per corsi d'acqua <i>CONFINATI</i>, fascia delle formazioni funzionali con ampiezza $> 33\%$ di tutta l'eventuale piana ed i versanti adiacenti (50 m da ogni sponda) fintantoché non subverticali. La fascia ospita sia formazioni arboree che arbustive. Per i tratti posti al di sopra del limite del bosco, la fascia dei versanti adiacenti si restringe a 2 m, Oppure ampiezza come caso A ma non tutte le formazioni sono funzionali (ossia vegetazione non spontanea, es. pioppeti artificiali) o vi sono soltanto formazioni arbustive.</p> <p>- per corsi d'acqua <i>SEMI E NON CONFINATI</i>, fascia delle formazioni funzionali con larghezza compresa tra $0.5La$ e nLa, dove $n=2$ per corsi d'acqua a canale singolo, oppure $n=1$ per corsi d'acqua a canali intrecciati o <i>wandering</i>, oppure come caso A ma non tutte le formazioni sono funzionali (ossia vegetazione non spontanea) o vi sono soltanto formazioni arbustive.</p>
C	<p>Ampiezza limitata delle formazioni funzionali, ovvero:</p> <p>- per corsi d'acqua <i>CONFINATI</i>, fascia delle formazioni funzionali con ampiezza $\leq 33\%$ di tutta l'eventuale piana ed i versanti adiacenti (50 m da ogni sponda) fintantoché non subverticali (formazioni arboree o arbustive). Per i tratti posti al di sopra del limite del bosco, la fascia dei versanti adiacenti si restringe a 2 m. Oppure ampiezza come caso B ma non tutte le formazioni sono funzionali (ossia vegetazione non spontanea) o presenza di sole formazioni arbustive.</p> <p>- per corsi d'acqua <i>SEMI- NON CONFINATI</i>, fascia delle formazioni funzionali con larghezza complessiva (somma sui due lati) $\leq 0.5La$ (qualunque tipologia), oppure come caso B ma non tutte le formazioni sono funzionali (ossia vegetazione non spontanea) o presenza di sole formazioni arbustive.</p>

F13: Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde

Descrizione

Si intende qui valutare lo sviluppo longitudinale della fascia di vegetazione funzionale (arborea, arbustiva ed a idrofite) lungo l'alveo, a prescindere dalla sua estensione areale. 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	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Sponde
Tipo di misura: Immagini telerilevate	

La valutazione dell'estensione lineare verrà effettuata per mezzo di **immagini telerilevate** ed utilizzerà la stessa delimitazione in ambiente **GIS** della vegetazione arborea/arbustiva eseguita per l'indicatore F12, dalla quale si determinerà la sua lunghezza a contatto con l'alveo, ovvero sulle sponde. Si dovrà poi calcolare la lunghezza potenziale di sponda dove le formazioni funzionali possono instaurarsi (escludendo quindi le sponde in roccia). Entrambe le lunghezze si intendono relative alla somma delle due sponde. Il rapporto tra le due lunghezze così calcolate verrà utilizzato per assegnare la risposta.

Nel caso di difficoltà interpretativa delle foto aeree (alvei confinati), è necessario un controllo sul **terreno** a scala di sito, eventualmente esteso per identificare le sponde in roccia.

Risposte estese

Tipologia	TUTTI
A	Estensione lineare delle formazioni funzionali per una lunghezza $>90\%$ della lunghezza massima disponibile (ovvero somma di entrambe le sponde escluso quelle in roccia nuda). Presenza di formazioni sia arboree che arbustive spontanee (esclusi i tratti sopra il limite del bosco).
B	Estensione lineare delle formazioni funzionali per una lunghezza del 33-90% della lunghezza massima disponibile, oppure come caso A ma non tutte le formazioni sono funzionali (ossia vegetazione non spontanea, es. pioppeti industriali) o presenza unicamente di formazioni arbustive.
C	Estensione lineare delle formazioni funzionali per una lunghezza $\leq 33\%$ della lunghezza massima disponibile, oppure come caso B ma non tutte le formazioni sono funzionali (ossia vegetazione non spontanea) o presenza unicamente di formazioni arbustive.

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 formative

Descrizione

Si tratta di opere (quali dighe, derivazioni, diversivi o 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. Attraverso questo indicatore si tiene conto della presenza di opere, nel bacino sotteso dal tratto, che possano avere effetti sulle portate liquide formative, con o senza alterazione delle portate solide (quest'ultima valutata nell'indicatore successivo).

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. Pertanto, nel caso di derivazioni per uso irriguo che influiscono solo sulle basse portate (ossia portate al di sotto di quelle in grado di produrre variazioni morfologiche), esse non sono considerate significative (classe A). Ai fini dell'attribuzione nelle classi B o C, vengono distinte **due classi di portate**: (1) portate con tempi di ritorno fino a 10 anni (portate formative); (2) portate di piena con tempi di ritorno superiori a 10 anni.

Le **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 Cap. 2 e Cap. 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.

Le **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 Cap. 2). Esistono opere che inducono alterazioni solo su queste portate relativamente elevate: ad esempio, alcune opere di laminazione delle portate di piena (dighe, casse di espansione, scolmatori) entrano in funzione solo a partire da tempi di ritorno relativamente elevati (es. 30 anni).

Sulla base di tale distinzione, si attribuiscono alla classe B i casi di alterazioni significative delle portate di piena con $TR > 10$ anni, mentre si considerano in classe C i casi in cui si hanno variazioni significative anche (o solo) delle portate formative (ossia $TR < 10$ anni).

Sono possibili in alcuni casi anche aumenti delle portate liquide (nel caso ad es. di immissione di portate da un altro bacino piuttosto che di derivazioni o laminazioni). Nel caso di una derivazione da un tratto ed immissione della stessa portata in un tratto più a valle, si considera alterato solo il tratto compreso tra la derivazione e l'immissione.

Tali valutazioni sono in genere possibili in base alle informazioni disponibili da parte degli enti responsabili, altrimenti una stima può essere ricavata in base ai dati idrologici eventualmente disponibili per la stazione idrometrica più vicina a valle delle opere. Di norma, la verifica delle variazioni delle portate formative va fatta sulla $Q_{1,5}$, ma è opportuno prendere in considerazione anche

portate superiori (fino a 10 anni) qualora le opere presenti avessero effetti su tali portate e non sulla $Q_{1.5}$.

L'indicatore non si valuta per il primo tratto (ovvero il tratto più a monte) di un corso d'acqua.

Risposte estese

Tipologia	TUTTI
A	Assenza di opere di alterazione delle portate liquide (dighe, derivazioni, diversivi o scolmatori, casse di espansione) oppure derivazioni di portate liquide ma con effetti solo sulle portate basse e con effetti poco significative (variazioni $\leq 10\%$) sia sulle portate formative che sulle portate di piena con $TR > 10$ anni.
B	Presenza di opere (dighe, derivazioni, diversivi o scolmatori, casse di espansione) tali da alterare significativamente le portate di piena con $TR > 10$ anni, con effetti poco significativi sulle portate formative. Rientrano in questa categoria le casse di espansione esterne all'alveo.
C	Presenza di opere (dighe, derivazioni, diversivi o scolmatori, casse di espansione) con effetti significativi (variazioni $> 10\%$) sulle portate formative.

A2: Opere di alterazione delle portate solide

Descrizione

Con questo indicatore si prendono in considerazione solo quelle opere presenti a monte del tratto di studio che possono indurre effetti rilevanti in termini di alterazione del trasporto solido al fondo. Esse sono riconducibili alle dighe e alle briglie, sia di trattenuta che di consolidamento (per una descrizione di questi tipi di opere si veda anche l'indicatore A4). 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	

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). Inoltre, nel caso di presenza 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.

Le **briglie di trattenuta con evidente totale sbarramento del trasporto solido al fondo** (generalmente di grandi dimensioni) vanno **assimilate a dighe**. 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).

L'individuazione delle opere presenti è possibile dal **catasto opere** e, con relativa semplicità, da **immagini telerilevate**. E' opportuno precisare che non esistono regole precise per giudicare fino a che distanza a valle di una diga e/o di una briglia si risente ancora, in maniera significativa, l'effetto di riduzione del trasporto solido al fondo. Tale valutazione richiederebbe una quantificazione del trasporto solido al fondo che, come è noto, è estremamente difficoltosa ed incerta. Si preferisce pertanto qui fornire un criterio speditivo basato sulla distanza, o meglio sul rapporto tra aree sottese dalla diga e dal tratto (si veda nelle risposte estese). E' possibile che vi siano casi in cui, per motivi di condizioni fisiografico – litologiche del bacino o per presenza di affluenti particolarmente significativi, il trasporto solido al fondo si ristabilisca per distanze minori (o maggiori). Pertanto, in assenza di altri tipi di informazioni o valutazioni, si segue il criterio qui fornito, mentre in casi particolari e laddove l'operatore lo ritenga (tramite giudizio esperto), è possibile anche giungere ad una valutazione diversa. Per quanto riguarda le briglie presenti a monte, si forniscono dei criteri di massima analoghi, basati sull'area sottesa (lasciando anche in questo caso all'operatore un certo margine di scelta basato sul suo giudizio esperto).

L'indicatore non si valuta per il primo tratto (tratto più a monte) di un corso d'acqua.

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. In linea di massima, per le briglie l'effetto può essere ritenuto trascurabile quando sono in numero molto basso ed interessano una parte molto limitata del bacino (area sottesa dalle briglie \leq a circa il 10% dell'area sottesa dal tratto). Per le dighe, l'effetto si considera trascurabile quando si tratta di un'unica diga che sottende un'area \leq 5% circa dell'area sottesa dal tratto.	
B	Presenza di dighe e/o briglie di trattenuta con intercettazione totale del trasporto solido al fondo che per la loro distanza dal tratto (vedi dopo) non sono tali da alterare significativamente il trasporto solido al fondo e/o presenza di briglie di consolidamento o briglie di trattenuta aperte che, per numero o distanza dal tratto, sono tali da avere effetti non trascurabili (numero non trascurabile ed area sottesa dalle briglie $>$ 10% dell'area sottesa dal tratto). <i>DISTANZA DELLE DIGHE DAL TRATTO:</i> in termini di aree sottese, si può assumere di norma che le alterazioni siano poco significative quando l'area sottesa dalla diga più vicina al tratto (Ad) è compresa tra il 5% ed il 33% dell'area sottesa dal tratto (At) (ossia $5\% At < Ad \leq 33\% At$).	
	Presenza di dighe e/o briglie di trattenuta con intercettazione totale del trasporto solido al fondo che per la loro distanza dal tratto (vedi dopo) sono tali da alterare significativamente le portate solide. <i>DISTANZA DELLE DIGHE DAL TRATTO:</i> in termini di aree sottese, si può assumere di norma che le alterazioni siano significative quando l'area sottesa dalla diga più vicina al tratto (Ad) è compresa tra il 33% ed il 50% dell'area sottesa dal tratto (At) (ossia $33\% At < Ad \leq 50\% At$).	
C	Presenza di dighe (comprese briglie di trattenuta con intercettazione totale del trasporto solido al fondo) che per la loro distanza dal tratto (vedi dopo) sono tali da alterare fortemente le portate solide. <i>DISTANZA DELLE DIGHE DAL TRATTO:</i> in termini di aree sottese, si può assumere di norma che le alterazioni siano forti quando l'area sottesa dalla diga più vicina al tratto (Ad) è superiore al 50% dell'area sottesa dal tratto (At) (ossia $Ad > 50\% At$).	
	Presenza di una diga (o una briglia di trattenuta con intercettazione totale del trasporto solido al fondo) all'estremità a monte del tratto. <i>PRESENZA DI MISURE O DISPOSITIVI DI RILASCIO DI SEDIMENTI A VALLE:</i> nel caso in cui la diga sia dotata di dispositivi o di procedure tali da consentire il <i>transito di tutto il trasporto solido a valle</i> (completo by-pass), essa si attribuisce alla classe B2 (due classi precedenti). Se sono presenti dispositivi di rilascio di sedimenti a valle che consentono un <i>transito elevato, ma non totale, del trasporto solido a valle</i> , la diga si considera in classe C1 (classe precedente).	

Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto

A3: Opere di alterazione delle portate liquide formative (derivazioni, 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. Nel caso di opere di laminazione (dighe), opere di derivazione (traverse) o scolmatori che si identificano con il limite di un tratto, si tiene conto della loro presenza solo per il tratto immediatamente a valle (dove si risente dell'effettiva alterazione delle portate liquide). Sono incluse le casse di espansione, sia in derivazione laterale che quelle in linea: di queste ultime se ne valutano, attraverso questo indicatore, gli effetti sulle portate formative, mentre gli effetti in termini di alterazione delle portate solide vengono trattati nel successivo indicatore A4.

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Zone laterali alveo
Tipo di misura: Catasto opere e immagini telerilevate	

La presenza di tali opere è facilmente riscontrabile da **immagini telerilevate**, mentre le informazioni necessarie per l'attribuzione ad una delle classi devono essere desunte dal **catasto opere** o direttamente dagli **enti responsabili**. In maniera analoga all'indicatore A1, per quanto riguarda le derivazioni, interessano qui solo quelle che possono avere certi effetti sulle portate formative, pertanto, nel caso di derivazioni per uso irriguo che influiscono solo sulle basse portate, esse non sono considerate significative (classe A). Se invece le derivazioni hanno effetti sulle portate di piena, ai fini dell'attribuzione alle classi B o C bisogna valutare se le alterazioni riguardano solo le portate con $TR > 10$ anni (classe B) o anche (o solo) le portate formative con maggiori effetti sulla morfologia

dell'alveo (tempi di ritorno < 10 anni) (classe C). Lo stesso vale per le altre opere qui considerate (scolmatori e casse di derivazione).

Risposte estese

Tipologia	TUTTI
A	Assenza di altre opere di alterazione delle portate liquide (derivazioni, diversivi o scolmatori, casse di espansione) oppure derivazioni di portate liquide ma con effetti solo sulle portate di magra e con effetti poco significativi (variazioni $\leq 10\%$) sia sulle portate formative che sulle portate di piena con $TR > 10$ anni.
B	Presenza di opere (derivazioni, diversivi o scolmatori, casse di espansione) tali da alterare significativamente solo le portate di piena con $TR > 10$ anni, con effetti poco significativi sulle portate formative. Rientrano in questa categoria le casse di espansione esterne all'alveo.
C	Presenza di opere (derivazioni, diversivi o scolmatori, casse di espansione) con effetti significativi (variazioni $> 10\%$) sulle 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, dighe) 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).

Nel caso di presenza di una **diga all'estremità a valle del tratto**, come già precisato precedentemente, i suoi effetti in termini di intercettazione del trasporto solido al fondo vengono considerati nel tratto a valle (indicatore A2). Tuttavia, la presenza della diga altera il normale flusso di sedimenti anche per il tratto immediatamente a monte della stessa (classe C), a causa del rallentamento della corrente e della sedimentazione indotta dalla presenza dell'invaso.

Per quanto riguarda l'**invaso artificiale** dovuto alla diga, se esso è di dimensioni rilevanti la procedura di valutazione non viene applicata per tutto il tratto fino a dove si estende, avendo il corso d'acqua perso completamente le sue caratteristiche originarie. Per dimensioni rilevanti può di norma intendersi la scala spaziale del sito (ossia lunghezza non inferiore a 10 volte la larghezza dell'alveo per corsi d'acqua a canale singolo, oppure lunghezza dell'ordine di 500 m per alvei a canali intrecciati larghi). Per invasi di dimensioni inferiori (ad esempio a monte di piccole dighe, briglie di trattenuta o traverse di derivazione), l'invaso viene incluso all'interno del tratto.

Per quanto riguarda le **briglie**, si è ritenuto opportuno differenziarle a seconda che il tratto indagato si trovi in ambito montano oppure in ambito di pianura – collinare.

In **ambito montano** (alvei confinati, ma anche semi-non confinati a pendenze relativamente elevate, ad es. lungo conoidi), si utilizza di norma la distinzione tra briglie di trattenuta e briglie di consolidamento. Le **briglie di trattenuta** sono opere, anche di notevole altezza (fino a 10 m), finalizzate alla trattenuta di materiale solido e legnoso. Esse sono spesso accompagnate da una piazza di deposito a monte e da una opera di altezza contenuta (controbriglia) posta a valle. Nel passato venivano costruite a corpo pieno, per cui tutto il materiale solido viene intrappolato nella piazza fino al suo riempimento, dopo di che, in assenza di interventi di rimozione del sedimento, si instaura un profilo di equilibrio a pendenza ridotta il quale tende a far depositare il materiale più grossolano mentre quello a granulometria minore riesce a transitare a valle.

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 **casce di espansione in linea**, le quali anche se costruite per invasare volumi idrici per laminare il picco di piena esercitano spesso un'azione di trattenuta parziale del sedimento, similmente alle opere filtranti.

Per le opere finora descritte, l'attribuzione alle diverse classi si basa sulla loro presenza/assenza nel tratto, e non sul loro numero o frequenza (vale a dire è sufficiente la presenza di un'opera lungo un tratto di lunghezza qualunque per l'attribuzione ad una determinata classe).

A differenza delle opere di trattenuta, le **briglie di consolidamento** sono eseguite non per intercettare il trasporto solido, bensì per 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 area e la frequente assenza di informazioni nei catasti opere, si è ritenuto opportuno utilizzare soltanto il dato di **densità lineare delle opere**, ovvero il loro numero per km di tratto.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua in **ambito di pianura - collinare**, per motivi di semplicità, si è ritenuto opportuno rinunciare alla distinzione delle **briglie** in funzione della loro principale finalità, in quanto in genere, in fiumi di pianura, tali opere sono realizzate quasi sempre con lo scopo principale di fissare il livello dell'alveo (consolidamento). Sono qui incluse le **traverse di derivazione** che, per loro dimensioni, struttura ed effetti sul trasporto al fondo sono assimilabili a briglie. Anche per tali corsi d'acqua si utilizza esclusivamente il criterio di **densità lineare**, adottando un valore di densità inferiore rispetto alle briglie di consolidamento dei tratti montani. L'impatto dipende infatti dalla tipologia di corso d'acqua (pendenza), e per questo viene differenziata la risposta tra alvei montani (generalmente pendenti) e di pianura (a minor pendenza). In particolare, un'opera trasversale in un alveo a forte pendenza esercita a monte un'influenza verso monte (profilo di rigurgito) minore rispetto ad un alveo a bassa pendenza, dove tale effetto si può trasmettere per notevoli distanze (centinaia di metri).

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> 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 a valle) seppure non realizzate per tale scopo.
B	- AMBITO MONTANO (alvei confinati, oppure semi-non confinati a pendenze relativamente elevate, ad es. lungo conoidi): Presenza di briglie di consolidamento con densità relativamente bassa (≤ 1 ogni 200 m in media nel tratto) e/o presenza di briglie di trattenuta, ma di tipologia filtrante (briglie aperte) (rientrano in questa categoria anche le casce di espansione in linea) - AMBITO DI PIANURA : 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)
C	- AMBITO MONTANO (alvei confinati, oppure semi-non confinati a pendenze relativamente elevate, ad es. lungo conoidi): Presenza di briglie di consolidamento con densità elevata (> 1 ogni 200 m in media nel tratto) e/o presenza di una o più briglie di trattenuta a corpo pieno - AMBITO DI PIANURA : Presenza di numerose briglie e/o traverse (> 1 ogni 1000 m in media nel tratto) oppure presenza di diga e/o vaso 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 confinati, o semi-non confinati di ambito montano, oppure > 1 ogni 500 m nel caso di alvei di ambito di pianura o collinare, aggiungere 12	

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 sedimenti 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 (dove si considera solo il numero di ponti), ma si rimanda all'indicatore F1 dove si valuta l'effetto che l'opera può avere sulla continuità del flusso di sedimenti. Si escludono i ponti che non possono avere alcun effetto sull'alveo o sul corridoio fluviale nemmeno durante eventi di piena di forte intensità (es. viadotti elevati su alvei confinati). Per quanto riguarda i **guadi**, vengono qui considerati solo quelli con strutture di attraversamento (non si considerano cioè strade sterrate che attraversano il corso d'acqua). Tali strutture sono in genere tombinate e la loro presenza blocca almeno in parte il trasporto al fondo (frazioni più grossolane che non transitano nei tombini). Infine si considerano le **tombinature**, cioè i casi in cui il corso d'acqua sottopassa un'infrastruttura o un'area abitata (in genere ciò avviene per corsi di piccole dimensioni).

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Alveo
Tipo di misura: Immagini telerilevate, carte topografiche, rilievo terreno	

Si tratta di opere facilmente individuabili su **immagini**. 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).
C	Presenza diffusa di opere di attraversamento (> 1 ogni 1000 m in media nel tratto).

Opere di alterazione della continuità laterale

A6: Difese di sponda (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli)

Descrizione

Si analizza la presenza lungo il tratto di tutte quelle opere che contribuiscono alla protezione delle sponde dall'erosione ed influiscono quindi sulla continuità laterale in quanto limitano il naturale apporto di sedimenti e materiale legnoso proveniente normalmente dalla mobilità laterale dell'alveo. In questa categoria rientrano svariate tipologie, incluse le tecniche più moderne di Ingegneria Naturalistica (palificate, viminate, ecc.) le quali, ai fini degli impatti sulla dinamica morfologica, non presentano sostanziali differenze rispetto alle tecniche tradizionali in quanto il loro effetto è sempre quello di ridurre l'erosione. Vengono considerate solo le opere presenti sulle sponde attuali o a ridosso dell'alveo, che possono determinare un effettivo condizionamento sulla mobilità laterale nelle condizioni attuali (non si considerano ad es. pennelli sospesi e distanti dall'alveo realizzati in epoche storiche).

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Sponde
Tipo di misura: Catasto opere, immagini telerilevate, rilievo terreno	

L'analisi delle **immagini** permette spesso di identificare tali opere ma non sempre, soprattutto quando esse non sono recenti e sono in parte coperte da vegetazione riparia. E' 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 possono considerare le due linee che delimitano l'alveo di piena attuale, o per semplicità il doppio della lunghezza dell'asse dell'alveo).

Risposte estese

Tipologia		TUTTI
A	Assenza di difese di sponda oppure presenza solo di difese localizzate ($\leq 5\%$ lunghezza totale delle sponde).	
B	Presenza di difese di sponda per una lunghezza $\leq 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe).	
C	Presenza di difese di sponda per una lunghezza $> 33\%$ lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe).	
Nel caso le difese di sponda interessino il tratto quasi per la sua interezza (ovvero $> 80\%$), aggiungere 12		

A7: Arginature

Descrizione

Si analizza la presenza e la posizione di argini i quali influiscono sulla continuità laterale, impedendo la normale inondazione di territori adiacenti al corso d'acqua. Vengono considerati come argini i rilevati (generalmente in terra) posti a ridosso o ad una certa distanza dal corso d'acqua. Sono da intendere come argini anche quelle opere di difesa di sponda (ad esempio muri di sponda) che presentano un 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	
Longitudinale: Tratto	Laterale: Pianura alluvionale
Tipo di misura: Rilievo terreno e/o immagini telerilevate	

Essendo le arginature opere tipiche di alvei alluvionali con presenza di pianura (**non confinati o semiconfinati**), tale indicatore non viene adottato per i corsi d'acqua confinati. Ciò non esclude la presenza di argini a ridosso dell'alveo per i corsi d'acqua confinati che abbiano un indice di confinamento superiore ad 1, tuttavia tali casi non vengono qui considerati avendo effetti trascurabili sulla continuità laterale.

Tali opere si individuano piuttosto agevolmente da **immagini**. Può essere meno agevole individuare difese di sponda con funzione anche di argini: in tali casi 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. 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 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 3 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.

Classi	Argini a contatto + vicini	Argini a contatto
A	0 ÷ 10 %	0 ÷ 10 %
B	10 ÷ 90 %	0 ÷ 50 %
	90 ÷ 100 %	0 ÷ 33 %
C	10 ÷ 90 %	50 ÷ 90 %
	90 ÷ 100 %	33 ÷ 100 %

Tabella 3 – Definizione delle classi in funzione della lunghezza degli argini vicini e a contatto (in % rispetto alla lunghezza totale di entrambe le sponde).

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/o a contatto (complessivamente $\leq 10\%$ della lunghezza totale delle sponde).
B	Presenza di argini vicini e/o a contatto per lunghezza $> 10\%$ della lunghezza totale delle sponde, comprendenti i seguenti casi: (a) lunghezza argini a contatto $\leq 50\%$ (indipendentemente da % argini vicini); (b) se la lunghezza complessiva vicini e a contatto $> 90\%$, allora quelli a contatto devono essere $\leq 33\%$ della lunghezza totale delle sponde.
C	Presenza di argini vicini e/o a contatto non rientranti nella classe precedente, ovvero: (a) lunghezza argini a contatto $> 50\%$ (indipendentemente da % argini vicini); (b) lunghezza complessiva vicini e a contatto $> 90\%$, dei quali argini a contatto $> 33\%$ della lunghezza totale delle sponde.
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. E' 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** 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.

L'indicatore si applica solo al caso di corsi d'acqua **semi- e non confinati**, per i quali erano possibili dei tracciati planimetrici diversi. L'attribuzione ad una delle classi B o C si basa su una stima della lunghezza della porzione di alveo interessato dalla modifica rispetto alla lunghezza totale del tratto.

Risposte estese

Tipologia	SEMI- NON CONFINATI
A	Assenza di variazioni artificiali di tracciato note in passato (tagli meandri, spostamenti alveo, ecc.).
B	Presenza di variazioni artificiali di tracciato note in passato per una lunghezza $\leq 10\%$ della lunghezza del tratto.
C	Presenza di variazioni artificiali di tracciato note in passato per una lunghezza $> 10\%$ della lunghezza del tratto.

A9: Altre opere di consolidamento (soglie, rampe) e/o di alterazione del substrato (rivestimenti del fondo)

Descrizione

Sono state incluse in questo indicatore le altre opere di consolidamento (oltre le briglie, analizzate nell'indicatore A4) che non sporgono sensibilmente dal fondo dell'alveo, ma che fissano localmente il

profilo del fondo, senza tuttavia avere di norma effetti significativi sul trasporto solido. Tali opere includono le **soglie** e le **rampe**, costruite per impedire l'incisione del fondo, spesso in corrispondenza di attraversamenti viari (ponti). Negli ultimi decenni sono state implementate molte soluzioni alternative all'uso tradizionale del cemento armato, ovvero briglie e rampe in massi, in legname, miste. Tuttavia, ai fini dell'impatto sulla dinamica morfologica, tali diverse tipologie non rappresentano delle vere mitigazioni. Anche per queste opere (analogamente alle briglie di consolidamento) si adopera la **densità lineare** (numero per km di tratto) per l'attribuzione alle diverse classi.

Lo stesso indicatore analizza la presenza e rilevanza di interventi di **rivestimento del fondo** impermeabili (calcestruzzo, pietrame e massi cementati) e permeabili (massi ciclopici a secco o legati con funi), generalmente chiamati **cunettoni**. Si evidenzia che è il fondo (alveo) ad essere rivestito e non solamente le sponde. I cunettoni rappresentano evidentemente delle forti alterazioni dell'assetto morfologico di un corso d'acqua, sia perché inducono una totale assenza di sedimento mobilizzabile dalla corrente e delle forme di fondo associate (scomparsa di habitat), che per la riduzione o totale blocco della continuità verticale tra ambiente iporreico ed alveo. Tali opere sono tipicamente eseguite su tratti montani ad elevata pendenza per evitare l'incisione dell'alveo, ma sono anche comuni in corrispondenza di attraversamenti urbani di corsi d'acqua anche semi- o non confinati, dove è richiesta una bassa scabrezza idraulica al fine di evitare sedimentazione in alveo (es. su conoidi).

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Alveo
Tipo di misura: Catasto opere, immagini telerilevate, rilievo terreno	

Per le modalità di rilievo valgono le stesse considerazioni di precedenti indicatori di opere in alveo: si tratta di opere in genere ben individuabili da **immagini telerilevate**, eccetto che in alvei confinati di piccole dimensioni dove in alcuni casi non sono visibili. Per questi casi il **catasto opere** o il rilievo sul **terreno** ne permetteranno l'identificazione. In questo caso è necessario conoscerne il numero e non sono richieste informazioni aggiuntive (tipologia, caratteristiche, ecc.).

Risposte estese

Tipologia	TUTTI	
A	Assenza di altre opere di consolidamento (soglie, rampe in massi) e/o rivestimenti localizzati ($\leq 5\%$) tali da non alterare significativamente la continuità verticale e la struttura del fondo.	0
B	Presenza di soglie e/o rampe con densità relativamente bassa, ovvero ≤ 1 ogni n m in media nel tratto, dove $n=200$ per confinati oppure semi-non confinati di ambito montano (es. conoidi pedemontani); ed $n=1000$ per semi-non confinati di ambito collinare o di pianura e/o presenza ed effetti limitati dei rivestimenti: il fondo si presenta rivestito per $\leq 25\%$ del tratto con sistemi permeabili e/o per $\leq 15\%$ con tipologia impermeabile.	3
C	Presenza diffusa di soglie e/o rampe (>1 ogni n in media nel tratto) e/o presenza ed effetti significativi dei rivestimenti: il fondo si presenta rivestito per $\leq 50\%$ del tratto con sistemi permeabili e/o per $\leq 33\%$ con tipologia impermeabile.	6
	Presenza diffusa di rivestimenti: il fondo si presenta rivestito per $>33\%$ del tratto con tipologia impermeabile o per $>50\%$ del tratto con tipologia permeabile	8
1) Nel caso l'insieme delle opere trasversali, incluse briglie e traverse (vedi indicatore A4), sia estremamente diffuso, ovvero >1 ogni 100 m per alvei confinati, o semi-non confinati di ambito montano, oppure >1 ogni 500 m nel caso di alvei di ambito di pianura o collinare, aggiungere 12		
2) Nel caso i rivestimenti del fondo (sia permeabili che impermeabili) interessino il tratto quasi per la sua interezza (ovvero $>80\%$), aggiungere 12		

Interventi di manutenzione e prelievo

A10: Rimozione di sedimenti

Descrizione

Attraverso questo indicatore si tiene conto dell'intensità dell'attività di rimozione di sedimenti nel tratto. Come è noto, tale attività ha diversi impatti negativi, sia nei riguardi dei processi e dell'evoluzione morfologica (generando incisione) che nei confronti degli ecosistemi.

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Alveo
Tipo di misura: Catasto opere, immagini telerilevate, rilievo terreno	

L'indicatore si differenzia leggermente a seconda della tipologia d'alveo. Nei corsi d'acqua **confinati**, si fa riferimento esclusivamente ad eventuali interventi durante gli ultimi 20 anni. Nel caso di corsi d'acqua di pianura (**semi- e non confinati**), si fa riferimento anche all'intensità dell'attività estrattiva nei decenni passati (a partire dagli anni '50 circa, cioè durante il periodo di massima attività).

Le informazioni relative ad interventi negli **ultimi 20 anni** possono derivare dalla consultazione degli enti preposti e/o da evidenze sul terreno. Per quanto riguarda le informazioni relative all'**attività passata**, si intende fornire un'indicazione di massima, sulla base delle informazioni disponibili (enti, fonti storiche), distinguendo tre possibili situazioni: (1) assente; (2) moderata: si hanno notizie attendibili che il numero di punti di escavazione ed i volumi estratti sono significativi ma non eccessivi; (3) intensa: si hanno notizie attendibili che il numero di punti di escavazione ed i volumi estratti sono particolarmente elevati. Indicatori indiretti possono essere il numero di impianti (frantoi) riconoscibili oggi o in passato (foto 1954/55) sulle adiacenze del corso d'acqua, presenza di numerose strade camionabili, forte incisione (si veda indicatore V3) attribuita già da altri autori principalmente all'attività estrattiva, ecc.

Risposte estese

Tipologia		CONFINATI
A	Evidenze/notizie certe di assenza di interventi di rimozione di sedimenti almeno negli ultimi 20 anni.	
B	Evidenze/notizie certe di rimozioni localizzate negli ultimi 20 anni.	
C	Evidenze/notizie certe di rimozioni diffuse negli ultimi 20 anni.	

Tipologia		SEMI- NON CONFINATI
A	Tratto non soggetto a significativa attività di rimozione di sedimenti né in passato (dagli anni '50 circa) né in tempi recenti (ultimi 20 anni).	
B	Tratto soggetto a moderata attività di rimozione di sedimenti in passato (dagli anni '50 circa) ma non in tempi recenti (ultimi 20 anni), oppure attività assente in passato ma presente di recente.	
C	Tratto soggetto ad intensa attività di rimozione di sedimenti in passato (dagli anni '50 circa), oppure moderata in passato e presente in tempi recenti (ultimi 20 anni).	

A11: Rimozione del materiale legnoso

Descrizione

La rimozione del materiale legnoso in alveo viene periodicamente eseguita da vari enti pubblici (Servizi forestali, Comunità Montane, Consorzi di Bonifica, Genio Civile), di solito in concomitanza con il taglio della vegetazione riparia (vedi sotto) e/o la rimozione di sedimenti. Inoltre, spesso viene anche concesso ai privati di prelevare il materiale legnoso per essere utilizzato come legna da ardere. Tipicamente, solo il materiale legnoso avente le dimensioni maggiori viene asportato, mentre quello fine (piccoli tronchi, rami e ramaglia) viene lasciato in alveo.

La rimozione di tale materiale, condotta da molti secoli nella maggior parte dei corsi d'acqua italiani, viene giustificata per esigenze di sicurezza idraulica, in quanto esso può dar luogo all'ostruzione di luci di ponti in occasione di eventi di piena. Tuttavia, la sottrazione del legname di grandi dimensioni all'ambiente fluviale comporta un forte impatto sul sistema fluviale: riduzione della sostanza organica disponibile come fonte energetica per la catena alimentare, riduzione della complessità idrodinamica e quindi morfologica e sedimentaria dell'alveo e della piana inondabile, scomparsa di habitat per specie di invertebrati e pesci.

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> Alveo e piana inondabile
Tipo di misura: Raccolta informazioni presso Enti competenti	

Nel presente indicatore si richiede di analizzare se nel tratto si hanno notizie di prelievi totali o parziali (tipicamente solo di alcuni tronchi di grandi dimensioni o in siti particolarmente vulnerabili) negli **ultimi 20 anni**. Tale intervallo temporale deriva sia dalla disponibilità di reperire facilmente dati a riguardo dagli **enti 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.

Risposte estese

Tipologia	TUTTI
A	Evidenze/notizie certe di assenza (o solo in situazioni localizzate) di interventi di rimozione di materiale legnoso di grandi dimensioni (>10 cm diametro e > 1 m di lunghezza) almeno negli ultimi 20 anni.
B	Evidenze/notizie certe di interventi di rimozione parziale negli ultimi 20 anni, ovvero solo di alcuni elementi, spesso in seguito ad eventi di piena. Vengono qui inclusi i tratti oggetto di concessione di prelievo ai privati, anche senza interventi di pulizia eseguiti dagli Enti pubblici. Parte del materiale legnoso potrebbe essere stato depezzato in elementi < 1m e lasciato in alveo.
C	Evidenze/notizie certe di rimozione del materiale legnoso di grandi dimensioni negli ultimi 20 anni ad opera degli Enti pubblici. Il materiale legnoso potrebbe anche essere stato depezzato in elementi < 1m 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 spondale, e schianti episodici da vento e neve. Nei tratti confinati, assumono invece maggior importanza i processi di immissione da versante quali frane e colate detritiche. Inoltre, la vegetazione arborea intrappola parte dei sedimenti e del materiale legnoso trasportati durante gli eventi di piena, arrivando a costruire un complesso mosaico di habitat.

Gli interventi periodici di taglio della vegetazione arborea ed arbustiva (detti anche manutenzione o pulizia fluviale), anche quando realmente necessari per esigenze di sicurezza idraulica, comportano effetti negativi sul comparto morfologico (oltre che biologico) in quanto, riducendo drasticamente la dimensione delle piante presenti, viene alterata la loro capacità di esplicitare azioni morfologiche significative una volta che esse diventino materiale legnoso in alveo. Inoltre, la presenza di popolamenti soltanto agli stadi giovanili semplifica notevolmente il pattern idrodinamico e sedimentario della piana inondabile.

Al fine di ridurre tali impatti, invece di eseguire tagli a raso lungo le sponde, frequenti nel passato, gli Enti preposti si sono orientati verso trattamenti selettivi, dove solo parte del popolamento (solamente le piante più vecchie) viene tagliato durante lo stesso intervento in modo da evitare una "denudazione" totale del suolo. Tale seconda tipologia di taglio, anche se ancora con effetti negativi, è sicuramente da preferire rispetto al taglio raso esteso su grandi superfici. Inoltre, eventuali tagli (anche a raso) non direttamente sulle sponde comportano un danno minore rispetto ad interventi eseguiti a diretto contatto con l'alveo.

Scala spaziale	
Longitudinale: Sito/Tratto	Laterale: Alveo, piana inondabile, terrazzi recenti
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). Anche in questo caso, si fissa un intervallo temporale degli **ultimi 20 anni** per gli stessi motivi descritti precedentemente.

Risposte estese

Tipologia	TUTTI
A	Vegetazione arborea non soggetta ad interventi di taglio (negli ultimi 20 anni).
B	Interventi di taglio selettivo, o tagli a raso ma non direttamente sulle sponde, o tagli a raso sulle sponde per lunghezze < 50 % del tratto (negli ultimi 20 anni).
C	Interventi di taglio raso lungo le sponde per una lunghezza >50% del tratto (negli ultimi 20 anni).

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

VI: Variazioni della configurazione morfologica

Descrizione

Viene valutata l'esistenza e l'intensità di un'eventuale variazione della configurazione morfologica dell'alveo, ovvero il passaggio da una tipologia morfologica ad un'altra (sinuoso, meandriforme, canali intrecciati, ecc.). Nei casi in cui si sia verificato tale passaggio, esso è sintomo di un'alterazione delle condizioni che determinano la morfologia complessiva dell'alveo (in particolar modo delle variabili guida, portate liquide e solide), pertanto tale trasformazione implica un'alterazione dei processi geomorfologici. Inoltre, una tale variazione induce in genere significative trasformazioni degli habitat e degli ecosistemi associati alle diverse morfologie d'alveo.

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 (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. E' possibile ad esempio che un alveo attualmente ha 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). E' 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 Cap.4 e 6 del Manuale). 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 la successiva attribuzione alle diverse classi, è necessario tener presente quanto segue:

- (1) L'attribuzione alla classe *A* presuppone che l'alveo si sia mantenuto in equilibrio dinamico planimetricamente essendo libero di modificarsi. Ciò per evitare che corsi d'acqua che non sono variati rispetto agli anni '50 in quanto fissati artificialmente vengano considerati in equilibrio: in tali casi essi vengono infatti attribuiti alla classe *C* (semi-non confinati) o *B* (confinati).
- (2) 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 4.

Morfologia anni '50	Morfologia contigua	Morfologia non contigua
Canale singolo rettilineo	Qualunque altra morfologia a canale singolo o transizionale	Morfologia a canali multipli
Canale singolo sinuoso		
Canale singolo meandriforme		
Transizionale sinuoso a barre alternate	Qualunque altra morfologia	Nessun caso
Transizionale <i>wandering</i>		
Canali multipli a canali intrecciati	Altra morfologia a canali multipli o transizionale	Morfologia a canale singolo
Canali multipli anastomizzato		

Tabella 4 – Definizione delle morfologie contigue e non contigue nelle variazioni di configurazione morfologica.

Risposte estese

Tipologia	CONFINATI
Campi di applicazione	<i>SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 M)</i>
A	Non si è verificata una variazione della configurazione morfologica rispetto agli anni '50, con l'alveo che era potenzialmente libero di modificarsi (non fissato planimetricamente).
B	Variazioni di configurazione morfologica rispetto agli anni '50 oppure assenza di variazioni nel caso di alveo già fissato planimetricamente negli anni '50.

Tipologia	SEMI- NON CONFINATI
Campi di applicazione	<i>SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 M)</i>
A	Non si è verificata una variazione della configurazione morfologica rispetto agli anni '50, con l'alveo che era potenzialmente libero di modificarsi (non fissato planimetricamente).
B	Variazioni di morfologia tra tipologie contigue rispetto agli anni '50 (Tabella 4).
C	Variazioni tra tipologie non contigue rispetto agli anni '50 (Tabella 4) oppure assenza di variazioni nel caso di alveo già fissato planimetricamente negli anni '50.

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.

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> 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 i dettagli si rimanda al Cap.6 del Manuale).

Risposte estese

Tipologia	CONFINATI
Campi di applicazione	<i>SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 M)</i>
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto agli anni '50, con l'alveo che era potenzialmente libero di modificarsi (non fissato planimetricamente).
B	Variazioni di larghezza $> 15\%$ rispetto agli anni '50 oppure variazioni nulle o limitate nel caso di alveo già fissato planimetricamente negli anni '50.

Tipologia	SEMI- NON CONFINATI
Campi di applicazione	SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 M)
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto agli anni '50, con l'alveo che era potenzialmente libero di modificarsi (non fissato planimetricamente).
B	Variazioni di larghezza moderate (15-35%) rispetto agli anni '50.
C	Variazioni di larghezza intense ($> 35\%$) rispetto agli anni '50 oppure variazioni nulle o limitate nel caso di alveo già fissato planimetricamente negli 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 ed il grado di incisione (o più raramente di sedimentazione). I fenomeni di abbassamento della quota dell'alveo sono comuni alla maggior parte dei corsi d'acqua italiani a fondo mobile.

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.

Scala spaziale	
<i>Longitudinale:</i> Tratto	<i>Laterale:</i> 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 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 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. E' 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.

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. A tal proposito, è questo l'unico indicatore per il quale, pur mantenendo la suddivisione in tre classi, si è ritenuto opportuno, nella classe C, differenziare il caso in cui le variazioni siano superiori ai 6 m, attribuendo a tali casi un punteggio maggiore.

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	<i>SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 M)</i>
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	<i>SI APPLICA AD ALVEI DI GRANDI DIMENSIONI (LARGHEZZA > 30 M)</i>
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.
C	Variazioni della quota del fondo intense ($3 \div 6$ m). Alveo fortemente inciso: i dislivelli tra nuova piana inondabile (quando presente) e terrazzi recenti sono molto marcati, con presenza di varie evidenze quali frequenti sponde alte ed instabili, destabilizzazione di strutture trasversali, esposizione di pile di ponti, ecc.
	Variazioni della quota del fondo molto intense (> 6 m). Alveo eccezionalmente inciso (in genere 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.

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. E' 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 (119 per i confinati, 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 (seppure 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.

5.3 Attribuzione dei punteggi e sintesi delle informazioni

Per poter giungere ad una classificazione dello stato morfologico attuale, è necessario definire una procedura di valutazione. Il criterio qui utilizzato rientra tra i sistemi di valutazione a punteggi, ovvero si assegnano ai descrittori (attributi) considerati dei punteggi proporzionali all'importanza che ciascuno di essi assume nella valutazione complessiva, in maniera analoga ad altri metodi utilizzati per classificare altri aspetti dei corsi d'acqua, e largamente utilizzati anche in altri campi della Geologia Applicata (ad es. vulnerabilità degli acquiferi, classificazione della qualità di ammassi rocciosi, ecc.).

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

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

Tabella 5.2 – Punteggi relativi agli indicatori di funzionalità.

ARTIFICIALITÀ		A	B	C		
Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte						
A1	<i>Opere di alterazione delle portate liquide formative</i>	0	3	6		
A2	<i>Opere di alterazione delle portate solide</i>	0	3	6	9	12
Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto						
A3	<i>Opere di alterazione delle portate liquide formative</i>	0	3	6		
A4	<i>Opere di alterazione delle portate solide</i>	0	4	6		
A5	<i>Opere di attraversamento</i>	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 5.3 – Punteggi relativi agli indicatori di artificialità.

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

Tabella 5.4 – Punteggi relativi agli indicatori di variazioni morfologiche.

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

- I punteggi attribuiti ai vari attributi sono numeri interi non negativi (come osservabile nelle precedenti tabelle).
- Essi esprimono degli scostamenti rispetto alla condizione di riferimento di corso d'acqua non alterato, e sono quindi direttamente proporzionali al grado di alterazione relativo ad un dato indicatore. Pertanto, la classe A è associata ad uno scostamento nullo (assenza di alterazioni) mentre la classe C è associata al massimo scostamento (massima alterazione).
- I punteggi sono stati differenziati tenendo conto dell'importanza relativa di ogni indicatore.
- I punteggi tengono inoltre conto del peso che si ritiene possa avere ognuna delle tre categorie (Funzionalità, Artificialità e Variazioni) sul punteggio complessivo (secondo quanto deducibile dalla Tabella 5.5).

	F	A	V	Massimo punteggio
<i>Confinati</i>				
P	42	63		93
G			14	119
<i>Semi- non confinati</i>				
P	46	72		118
G			24	142

Tabella 5.5 – Riepilogo dei massimi punteggi per le principali tipologie. F= funzionalità; A= artificialità; V= variazioni; P= piccoli; G= medio-grandi.

Per quanto riguarda la valutazione finale, come già riportato nella Guida alle risposte, si definisce un **Indice di Alterazione Morfologica (IAM)** ed un **Indice di Qualità Morfologica IQM=1-IAM**, con significato corrispondente all'*EQR (Environmental Quality Ratio)*. Tale indice infatti assume valore pari ad 1 nel caso di un corso d'acqua completamente inalterato (coincidente con condizione di riferimento) e pari a 0 per un corso d'acqua completamente alterato. Sulla base dei valori dell'*IQM*, sono state definite le **classi di qualità morfologica** secondo quanto specificato di seguito (Tabella 5.6).

<i>IQM</i>	CLASSE DI QUALITÀ
$0.0 \leq IQM < 0.3$	<i>Pessimo</i>
$0.3 \leq IQM < 0.5$	<i>Scadente</i>
$0.5 \leq IQM < 0.7$	<i>Moderato</i>
$0.7 \leq IQM < 0.85$	<i>Buono</i>
$0.85 \leq IQM < 1.0$	<i>Ottimo</i>

Tabella 5.6 – Classi di qualità morfologica.

I valori dei punteggi relativi ai vari indicatori ed i limiti tra le classi di qualità sono stati verificati e meglio definiti a seguito di una fase di test che è stata condotta su un numero sufficientemente elevato di tratti rappresentativi di diverse morfologie (confinati, semi- e non confinati, meandriiformi, a canali intrecciati, ecc.) e di varie situazioni di antropizzazione (da corsi d'acqua relativamente naturali a fortemente antropizzati) (per i dettagli si rimanda al paragrafo 5.7).

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

Si può pertanto procedere al calcolo dei sub-indici di funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche in maniera analoga agli indici, vale a dire come segue:

$$(1) \quad IAM_F = S_F tot / Smax \quad IQM_F = 1 - IAM_F$$

dove $S_F tot = F1 + \dots + F13$, $Smax = 142 - Sna$ per i semi-non confinati, $Smax = 119 - Sna$ per i confinati, Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati;

$$(2) \quad IAM_A = S_A tot / Smax \quad IQM_A = 1 - IAM_A$$

dove $S_A tot = A1 + \dots + A12$, $Smax = 142 - Sna$ per i semi-non confinati, $Smax = 119 - Sna$ per i confinati, Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati;

$$(3) \quad IAM_V = S_V tot / Smax \quad IQM_V = 1 - IAM_V$$

dove $S_V tot = V1 + \dots + V3$, $Smax = 142 - Sna$ per i semi-non confinati, $Smax = 119 - Sna$ per i confinati, Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati.

Si noti che, nel caso siano state aggiunte penalità ad indicatori A4, A6, A7 e/o A9 tali che $Stot > Smax$, la somma dei tre sub-indici $IAM_F + IAM_A + IAM_V$ risulta maggiore di 1 (di conseguenza la somma $IQM_F + IQM_A + IQM_V$ risulta < 0).

Analogamente, la ripartizione in sub-indici può essere effettuata anche secondo le categorie Continuità, Morfologia, Vegetazione. A tal fine, va tenuto conto che alcuni elementi di artificialità hanno effetti su più categorie: in tali casi, per questioni di semplicità, si divide il punteggio attribuito ad un certo indicatore di artificialità per il numero di categorie su cui ha effetto. Ne derivano i sub-indici definiti di seguito.

1) Continuità

$$IAM_C = IAM_{CL} + IAM_{CLA} \quad IQM_C = IQM_{CL} + IQM_{CLA}$$

1.1 Continuità longitudinale

$$IAM_{CL} = (F1 + A1 + A2 + A3 + A4/2 + A5) / Smax \quad IQM_{CL} = 1 - IAM_{CL}$$

1.2 Continuità laterale

$$IAM_{CLA} = (F2 + F3 + F4 + F5 + A6/2 + A7) / Smax \quad IQM_{CL} = 1 - IAM_{CL}$$

2) Morfologia

$$IAM_M = IAM_{CM} + IAM_{CS} + IAM_S \quad IQM_M = IQM_{CM} + IQM_{CS} + IQM_S$$

2.1 Configurazione morfologica

$$IAM_{CM} = (F7 + F8 + A6/2 + A8 + V1) / Smax \quad IQM_{CM} = 1 - IAM_{CM}$$

2.2 Configurazione della sezione

$$IAM_{CS} = (F9+A4/2+A9/2+A10/2+V2+V3)/Smax \quad IQM_{CS}=1-IAM_{CS}$$

2.3 Substrato

$$IAM_S = (F10+F11+A9/2+A10/2+A11)/Smax \quad IQM_S=1-IAM_S$$

3) Vegetazione

$$IAM_{VE} = (F12+F13+A12)/Smax \quad IQM_{VE}=1-IAM_{VE}$$

5.4 Esempio di applicazione

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

Come si può osservare, l'unico indicatore non applicabile è stato l'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 142 – 3 (quest'ultimo è il valore massimo attribuibile ad F8), pari quindi a 139. Ne deriva un *IAM* pari a 0.47 (=65/139), e di conseguenza un *IQM*=0.53. Solo due risposte in questo esempio presentano un grado di incertezza non elevato (F2 ed A10): ne deriva che il valore di *IQM* potrebbe essere variato 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*.

SCHEDA DI VALUTAZIONE PER ALVEI SEMI- NON CONFINATI

GENERALITA'

Data 01 / 01 / 20 10 Operatori M. Rossi
 Bacino Esempio Corso d'acqua Esempio
 Località presso S. Anna Codice Segmento 4
 Codice Tratto 4-3 Lunghezza tratto (m) 2.4 km

CLASSIFICAZIONE INIZIALE

1. Inquadramento fisiografico

Ambito fisiografico P CM=Collinare-montano, P=Pianura Unità fisiografica alta pianura

2. Confinamento

Grado confinamento (%) 10-90 >90, 10-90, ≤10
 Indice confinamento >n 1-1.5, 1.5-n, >n (n=5 alvei canale singolo; n=2 alvei a canali multipli e wandering)
 Classe confinamento NC SC=Semiconfinato, NC=Non Confinato

3. Morfologia alveo

Indice sinuosità ~ 1.2 1-1.1, 1.1-1.5, >1.5
 Indice intrecciamento ~ 1.3 1-1.5, >1.5 Indice anastomizzazione 1 1-1.5, >1.5
 Lunghezza barre laterali (nel caso di alvei sinuosi) (%) ≤90, >90
 Tipologia W R=Rettilineo, S=Sinuoso, M=Meandriforme, SBA= Transizionale sinuoso barre alternate,
 W= Transizionale wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anastomizzato
 Configurazione fondo RP 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) 55
 Sedimenti (dominanti) alveo GC A=Argilla, L=Limo, S=Sabbia, G=Ghiaia, C=Ciottoli, M=Massi

4. Altri elementi per delimitazione tratto

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

Altri dati / informazioni eventualmente disponibili

Area drenaggio (sottesa alla chiusura del tratto) (km²) 760
 Diametro sedimenti D₅₀ (mm) 35 Unità B (SU) F=Fondo, B=Barra (SU=superficiale, SO=sottostrato)
 Portate liquide ND M=misurate, S=stimate, ND=non disponibili
 Stazione idrometrica (se M) _____ Portata media annua (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		A
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 >90% ma stretta	3		
C	Assenza o presenza trascurabile (≤10% di qualunque ampiezza)	5	8	M +2

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 A=Alto, M=Medio, B=Basso

livello confidenza M o B tra A e B
 livello confidenza M o B tra B e C

F4 Processi di arretramento delle sponde			
A	Presenza di frequenti sponde in arretramento soprattutto sul lato esterno delle curve	0	A
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 o sinuosi a bassa energia (bassa pianura, basse pendenze e/o basso ts al fondo)

F5 Presenza di una fascia potenzialmente erodibile			
A	Presenza fascia potenzialmente erodibile ampia e per >66% tratto	0	A
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	A
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 o riattivabili (laghi meandro abbandonato, canali secondari, ecc.)	0	
B	Presenti tracce forme pianura (abbandonate a partire da anni '50 circa) 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) in ambito fisiografico di pianura

Configurazione sezione

F9 Variabilità della sezione			
A	Assenza o presenza localizzata (≤5% tratto) di alterazioni naturale eterogeneità della sezione	0	A
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 per loro natura privi di barre (bassa pianura, basse pendenze e/o basso trasporto al fondo) (naturale omogeneità di sezione)

La presenza della briglia provoca per lo stesso tratto (vedi F7) un'omogeneità della sezione

Struttura e substrato alveo

F10 Struttura del substrato			
A	Naturale eterogeneità sedimenti e clogging poco significativo	0	A
B	Corazzamento accentuato o affioramento occasionale substrato o clogging frequente	5	
C	Affioramento diffuso del substrato per incisione (>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 di materiale legnoso	0	A
C	Completa 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 perfluviale

F12 Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perfluviale				
A	Ampiezza di formazioni funzionali elevata	0		A
B	Ampiezza di formazioni funzionali intermedia	2		
C	Ampiezza di formazioni funzionali limitata	3	23	

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

ARTIFICIALITA'

Opere di alterazione della continuità longitudinale a monte

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

Esiste una diga nel bacino ma lamina soprattutto 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 o presenza trascurabile di opere di alterazione del flusso di sedimenti	0		A
B	Presenza di dighe (area sottesa 5-33%) e/o presenza non trascurabile di briglie	3		
	Presenza di dighe (area sottesa 33-50%) e/o briglia di trattenuta all'estremità a monte del tratto	6		
C	Presenza di dighe con area sottesa >50%	9		
	Presenza di una diga all'estremità a monte del tratto	12	35	

La diga sottende un'area di drenaggio di circa il 40 % di quella sottesa dal tratto

Opere di alterazione della continuità longitudinale nel tratto

A3 Opere di alterazione delle portate liquide (derivazioni, scolmatori, casse)				
A	Alterazioni nulle o poco significative (≤10%) delle portate formative e con TR>10 anni	0		A
B	Alterazioni significative (>10%) delle portate con TR>10 anni	3		
C	Alterazioni significative (>10%) delle portate formative (TR<10 anni)	5	35	

Non ci sono opere di questo tipo nel tratto

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

Nel caso la densità di opere trasversali, incluse soglie e rampe (vedi A9), è >1 ogni 100 m, aggiungere 12

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

A5 Opere di attraversamento (ponti, guadi, tominature)				
A	Assenza di opere di attraversamento	0		A
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 (muri, scogliere, Ingegneria Naturalistica, pennelli)			
A	Assenza o solo difese localizzate ($\leq 5\%$ lunghezza totale delle sponde)	0	A
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	A
B	Presenza intermedia di argini vicini e/o a contatto (a contatto $\leq 50\%$ lunghezza sponde)	3	
C	Presenza elevata di argini vicini e/o a contatto (a contatto $> 50\%$ lunghezza sponde)	6	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	A
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 (soglie, rampe) e/o di alterazione del substrato (rivestimenti)			
A	Assenza soglie o rampe e rivestimenti assenti o localizzati ($\leq 5\%$ tratto)	0	A
B	Presenza soglie o rampe (≤ 1 ogni 1000 m) e/o rivestimenti $\leq 25\%$ permeabili e/o $\leq 15\%$ impermeabili	3	
C	Presenza soglie o rampe (> 1 ogni 1000 m) e/o rivestimenti $\leq 50\%$ permeabili e/o $\leq 33\%$ impermeabili	6	
	Presenza di rivestimenti $> 50\%$ permeabili e/o $> 33\%$ impermeabili	8	44

Nel caso la densità di opere trasversali, incluse briglie (vedi A4), è > 1 ogni 100 m, aggiungere 12

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	M
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	A
B	Rimozione parziale negli ultimi 20 anni	2	
C	Rimozione totale negli ultimi 20 anni	5	52

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 perifluviale			
A	Vegetazione perifluviale sicuramente non soggetta ad interventi negli ultimi 20 anni	0	A
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 risultano tagli effettuati negli ultimi 20 anni

VARIAZIONI MORFOLOGICHE

		parz.	prog.	conf.
V1	Variazioni della configurazione morfologica <i>(si applica solo nel caso di NCG)</i>			
A	Assenza di variazioni rispetto ad anni '50 (alveo libero di modificarsi)	0		A
B	Variazioni di morfologia tra tipologie contigue rispetto ad anni '50	3		
C	Variazioni tra tipologie non contigue rispetto ad anni '50 oppure assenza di variazioni nel caso di alveo già artificializzato planimetricamente negli anni '50	6	55	

L'alveo nel 1954 era a canali intrecciati

		parz.	prog.	conf.
V2	Variazioni di larghezza <i>(si applica solo nel caso di NCG)</i>			
A	Variazioni nulle o limitate ($\leq 15\%$) rispetto ad anni '50 (alveo libero di modificarsi)	0		A
B	Variazioni moderate (15-35%) rispetto ad anni '50	3		
C	Variazioni intense ($> 35\%$) rispetto ad anni '50 oppure variazioni nulle o limitate nel caso di alveo già artificializzato planimetricamente negli anni '50	6	61	

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

		parz.	prog.	conf.
V3	Variazioni altimetriche <i>(si applica solo nel caso di NCG)</i>			
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (fino 0.5 m)	0		A
B	Variazioni della quota del fondo limitate o moderate (≤ 3 m)	4		
C	Variazioni della quota del fondo intense (> 3 m)	8		
	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 = $62 \div 67$

Scostamento massimo:

Smax = 142 - Sna =

dove Sna = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

Indice di Alterazione Morfologica:

IAM = Stot / Smax = $0.45 \div 0.48$

se Stot > Smax si assume IAM=1

Indice di Qualità Morfologica:

IQM = 1 - IAM = $0.52 \div 0.55$

Classe di qualità del tratto:

($0 \leq IQM < 0.3$: Pessimo; $0.3 \leq IQM < 0.5$: Scadente; $0.5 \leq IQM < 0.7$: Moderato; $0.7 \leq IQM < 0.85$: Buono; $0.85 \leq IQM < 1.0$: Elevato)

5.5 Fase di test

Durante il periodo compreso tra Ottobre 2009 e Gennaio 2010 è stato eseguito un certo numero di test per collaudare le schede, verificare eventuali incongruenze, e soprattutto per verificare che i punteggi assegnati conducessero a risultati coerenti ed attendibili. A tal fine, sono stati presi in esame una serie di corsi d'acqua che fossero il più possibile rappresentativi di un'ampia varietà di contesti fisiografici, morfologie fluviali ed impatti antropici. In Tabella 5.7 è riportato l'elenco completo dei test realizzati, mentre in seguito si riportano alcuni esempi più significativi di applicazione dell'*IQM*, ordinati per valori decrescenti dell'indice ed illustrandone le principali caratteristiche e motivi di criticità.

Corso d'acqua	N° tratti	Compileri
F.Adda (Lombardia)	1	D.Sogni, M.Ceddia
F.Arno (Toscana)	4	M.Rinaldi, C.Zuri
F.Brenta (Veneto)	1	N.Surian, S. De Gasperi
F.Cecina (Toscana)	11	M.Rinaldi, C.Zuri
F. Esino (Marche)	2	A.Dignani, O.Nesci, M.Micheli, E.Morri, R.Santolini, V.Tiberi, S.Teodori, F.Troiani
F.Foglia (Marche)	1	A.Dignani, O.Nesci, M.Micheli, E.Morri, R.Santolini, V.Tiberi, S.Teodori, F.Troiani
T.Frodolfo (Lombardia)	1	D.Sogni, M.Ceddia
T.Furkelbach (Trentino Alto Adige)	1	F.Comiti
T.Gadria (Trentino Alto Adige)	1	F.Comiti
T.Gesso (Piemonte)	1	D.Sogni, M.Ceddia
F.Lambro (Lombardia)	1	D.Sogni, M.Ceddia
F.Magra (Toscana – Liguria)	7	M.Rinaldi, C.Zuri
F.Metauro (Marche)	2	A.Dignani, O.Nesci, M.Micheli, E.Morri, R.Santolini, V.Tiberi, S.Teodori, F.Troiani
T.Mutino (Marche)	1	A.Dignani, O.Nesci, M.Micheli, E.Morri, R.Santolini, V.Tiberi, S.Teodori, F.Troiani
F.Ofanto (Puglia)	1	C.Zuri, M.Rinaldi
F.Panaro (Emilia Romagna)	4	M.Rinaldi, C.Zuri
F.Piave (Veneto)	4	V.Benacchio, N.Surian, S.De Gasperi
T.Rienza	4	F.Comiti
F.Scrivina	1	F.Filippi, T.Simonelli, A.Colombo, L.Pellegrini, G.Duci
T.Sentino (Marche)	1	A.Dignani, O.Nesci, M.Micheli, E.Morri, R.Santolini, V.Tiberi, S.Teodori, F.Troiani
F.Tagliamento (Friuli Venezia Giulia)	1	N.Surian
F.Tevere (Umbria)	3	C.Cencetti, P.De Rosa, A.Fredduzzi,
F.Trebbia (Emilia Romagna)	3	L.Pellegrini, G.Duci, F.Filippi, T.Simonelli, A.Colombo
F.Volturno (Campania)	1	P.Aucelli, C.Roskopf, V.Scorpio

Tabella 5.7 – Lista dei tratti sui quali è stata effettuata la fase di test.

(1) **Torrente Sentino presso le gole di Frasassi (Marche)**. Il primo esempio mostrato è quello di un torrente montano in un tratto confinato. L'alveo si classifica infatti come confinato a canale singolo, le sponde sono spesso costituite da roccia affiorante (Figura 5.2A), il fondo alterna punti di affioramento del substrato con brevi sottotratti a fondo mobile e configurazione a *riffle – pool* (Figura 5.2 B). Le pendenze del fondo non sono infatti molto elevate in quanto il corso d'acqua non è nel suo tratto iniziale ma in una zona di raccordo tra due tratti semiconfinati. Le variazioni morfologiche non sono prese in esame data la larghezza ridotta (<30 m) del corso d'acqua. Non si riscontrano significative alterazioni rispetto alle condizioni attese, eccetto l'indicatore F3 (connessione versanti – corso d'acqua) che si colloca in classe B a causa della presenza di una strada su un lato del corso d'acqua a ridosso dell'alveo lungo tutto il tratto. Non esistono opere a monte che possano produrre significative alterazioni delle portate formative e delle portate solide. Pertanto risulta $IQM=0.94$ ed il tratto si classifica come *elevato*.

Funzionalità		Artificialità		Variazioni	
F1	A	A1	A	V1	/
F3	B	A2	B	V2	/
F6	A	A3	A	V3	/
F7	A	A4	A	Indici e classe	
F9	A	A5	A	Stot	6
F10	A	A6	A	Smax	100
F11	A	A9	A	IAM	0.06
F12	A	A10	A	IQM	0.94
F13	A	A11	A	Classe	Elevato
		A12	A		

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

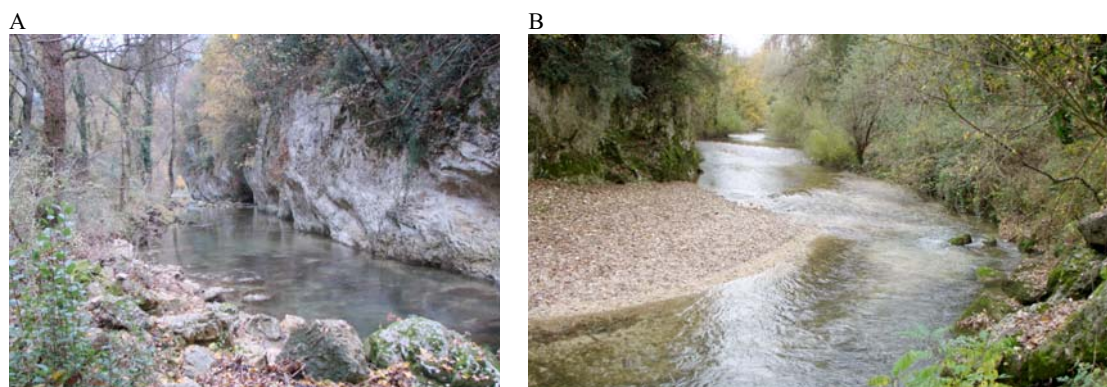


Figura 5.2 – Torrente Sentino presso le gole di Frasassi ($IQM=0.94$: elevato). A) sponda in roccia; B) fondo in sedimenti e configurazione a *riffle-pool*.

(2) **Fiume Tagliamento presso Turrída (Friuli Venezia Giulia)**. In questo tratto, situato nell'alta pianura friulana, il corso d'acqua è non confinato in quanto le scarpate dei terrazzi antichi presenti (un terrazzo è chiaramente visibile nel margine destro di Figura 5.3A) lasciano un ampio spazio di divagazione (superiore ai 3 km). L'alveo ghiaioso ha una morfologia a canali intrecciati, una larghezza variabile tra 800 e 1000 m ed una pendenza media di 0.003. Gli elementi di alterazione della qualità morfologica sono molto limitati, in relazione ad un'antropizzazione contenuta, se confrontata con altri fiumi italiani, sia nel bacino montano che nell'area di pianura. Questi elementi sono: (1) interventi di rimozione di sedimenti avvenuti soprattutto

negli anni '70-'80 e, molto probabilmente, di materiale legnoso; (2) variazioni morfologiche che hanno comportato una significativa riduzione della larghezza dell'alveo (circa del 50 % rispetto agli anni '50) e un'incisione moderata (circa 1,5 m). Il tratto è risultato avere un $IQM=0.87$, e viene pertanto classificato come *elevato*.

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

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



Figura 5.3 - Fiume Tagliamento presso Turrída ($IQM=0.87$: *elevato*). A) Foto aerea del tratto in esame che mostra una tipica morfologia a canali intrecciati e la presenza di una significativa fascia perifluviale con vegetazione arborea; B) particolare dei canali e delle barre; C) particolare del detrito legnoso in alveo e della vegetazione ripariale.

(3) **Fiume Trebbia presso S.Salvatore (Lombardia)**. Si tratta di un corso d'acqua confinato (unità fisiografica: colline appenniniche) nella porzione alta del bacino (area sottesa di circa 630 km²). L'alveo mantiene caratteri di omogeneità morfologica per un tratto di notevole lunghezza (circa 8.3 km) (Figura 5.4A), con un andamento a meandri incassati e barre alternate (Figura 5.4B), classificato come confinato a canale singolo (configurazione del fondo a *riffle-pool*), ed una larghezza media di circa 70 m.

Funzionalità		Artificialità		Variazioni	
<i>F1</i>	B	<i>A1</i>	B	<i>V1</i>	A
<i>F3</i>	A	<i>A2</i>	B	<i>V2</i>	A
<i>F6</i>	A	<i>A3</i>	A	<i>V3</i>	/
<i>F7</i>	A	<i>A4</i>	C	Indici e classe	
<i>F9</i>	A	<i>A5</i>	A	<i>Stot</i>	23
<i>F10</i>	A	<i>A6</i>	A	<i>Smax</i>	105
<i>F11</i>	C	<i>A9</i>	A	<i>IAM</i>	0.22
<i>F12</i>	A	<i>A10</i>	A	<i>IQM</i>	0.78
<i>F13</i>	A	<i>A11</i>	A	<i>Classe</i>	Buono
		<i>A12</i>	A		

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

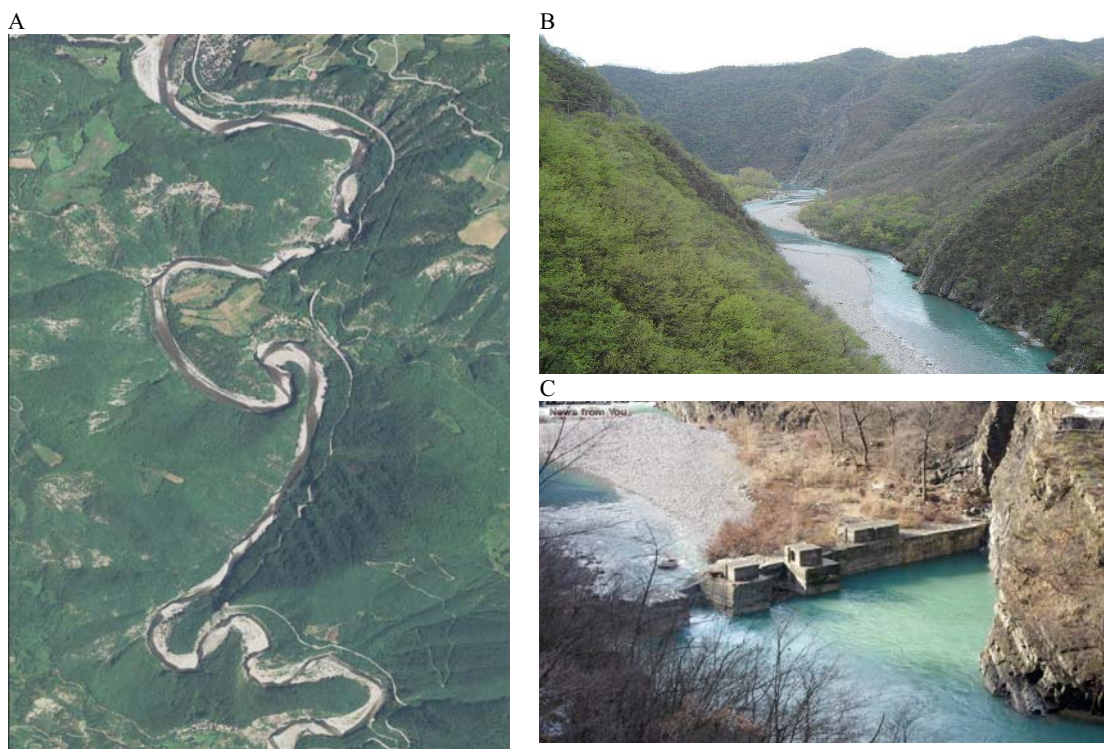


Figura 5.4 – Fiume Trebbia presso S.Salvatore ($IQM=0.78$: *buono*). A) Foto aerea del tratto in esame; B) particolare de tratto che mostra la configurazione di alveo confinato a canale singolo; C) resti dello sbarramento.

Esistono alcune alterazioni delle portate liquide e solide nel bacino sotteso (A1 e A2 in classe B) dovute alla presenza di dighe, mentre la principale alterazione nel tratto è costituita da una briglia di trattenuta che tuttavia non è più funzionante e non intercetta completamente il trasporto solido al fondo (A4 in classe C, Figura 5.4C). Non si sono invece riscontrate variazioni di larghezza e di configurazione planimetrica, mentre non è stato possibile classificare le variazioni altimetriche del fondo per mancanza di dati ed evidenze (V3 è stato quindi omesso). Il tratto è risultato avere un $IQM=0.78$, e viene pertanto classificato come *buono*.

(4) **Fiume Cecina presso Casino di Terra (Toscana)**. Si tratta di un corso d'acqua non confinato che scorre in una pianura relativamente stretta in ambito collinare (tratto 3_7 in Figura 4.27), con area del bacino sotteso di circa 635 km². L'alveo è classificato come sinuoso a barre alternate (Figura 5.5A), con fondo ghiaioso e

configurazione a *riffle-pool*, pendenza media di 0.003, larghezza media di circa 50 m. I principali elementi di alterazione sono costituiti da: (1) presenza di alcune briglie a monte (A2 in classe B); (2) moderata attività di escavazione in passato (A10 in classe B), che a sua volta è stata responsabile di alcune significative variazioni morfologiche (moderato restringimento ed incisione, con V2 e V3 entrambi in classe B); (3) altri elementi localizzati di artificialità nel tratto (ponte, difese di sponda, ecc.).

Funzionalità		Artificialità		Variazioni	
F1	A	A1	A	V1	A
F2	B	A2	B	V2	B
F4	A	A3	A	V3	B
F5	A	A4	A	Indici e classe	
F7	A	A5	B	Stot	31
F8	-	A6	B	Smax	139
F9	A	A7	A	IAM	0.22
F10	A	A8	A	IQM	0.78
F11	A	A9	B	Classe	Buono
F12	B	A10	B		
F13	B	A11	B		
		A12	A		

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



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

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

(5) **Fiume Volturno presso Piana della Chiesa (Molise)**. Il tratto considerato (lunghezza di circa 3 km) fa parte del segmento di attraversamento di una pianura intramontana nella porzione alta del bacino (area del bacino sotteso di circa 613 km²) (Figura 5.6). L'alveo è non confinato e presenta una morfologia prevalentemente sinuosa a barre alternate, con larghezza media di 57 m. Il tratto risente di alcune

alterazioni delle portate liquide (presenza di una cassa di espansione) e solide a monte (A1 e A2 in classe B). All'interno del tratto esistono alcune alterazioni legate alla funzionalità, alla presenza di difese di sponda (A6 in classe C) e ad un medio livello di manutenzione (A10, A11 e A12 in classe B). Dal punto di vista delle variazioni morfologiche, l'alveo ha subito un passaggio di morfologia (derivante da una configurazione a canali intrecciati) associato ad un forte restringimento e ad una moderata incisione. Ne risulta un $IQM=0.69$ che ne determina l'attribuzione alla classe *moderata* (appena al di sotto del limite della classe di qualità *buona*).

Funzionalità		Artificialità		Variazioni	
<i>F1</i>	B	<i>A1</i>	B	<i>V1</i>	B
<i>F2</i>	B	<i>A2</i>	B	<i>V2</i>	C
<i>F4</i>	B	<i>A3</i>	A	<i>V3</i>	B
<i>F5</i>	A	<i>A4</i>	A	Indici e classe	
<i>F7</i>	A	<i>A5</i>	A	<i>Stot</i>	43
<i>F8</i>	/	<i>A6</i>	C	<i>Smax</i>	139
<i>F9</i>	B	<i>A7</i>	A	<i>IAM</i>	0.31
<i>F10</i>	A	<i>A8</i>	A	<i>IQM</i>	0.69
<i>F11</i>	A	<i>A9</i>	A	<i>Classe</i>	Moderato
<i>F12</i>	A	<i>A10</i>	B		
<i>F13</i>	A	<i>A11</i>	B		
		<i>A12</i>	B		

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



Figura 5.6 - Fiume Voltorno presso Piana della Chiesa ($IQM=0.69$: *moderato*): foto aerea di una porzione del tratto.

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

molto forti ($A1=C$ e $A2=C1$). Le alterazioni di funzionalità ed artificialità nel tratto non sono eccessive (eccetto l'intensa attività di escavazione: $A10$ in classe C), mentre le variazioni morfologiche di larghezza e quota del fondo sono piuttosto elevate. Complessivamente risulta quindi un $IQM=0.65$ ed il tratto si classifica quindi *moderato*.

Funzionalità		Artificialità		Variazioni	
<i>F1</i>	A	<i>A1</i>	C	<i>V1</i>	A
<i>F2</i>	B	<i>A2</i>	C1	<i>V2</i>	B
<i>F4</i>	B	<i>A3</i>	A	<i>V3</i>	C1
<i>F5</i>	B	<i>A4</i>	A	Indici e classe	
<i>F7</i>	A	<i>A5</i>	B	<i>Stot</i>	45
<i>F8</i>	/	<i>A6</i>	A	<i>Smax</i>	128
<i>F9</i>	A	<i>A7</i>	A	<i>IAM</i>	0.35
<i>F10</i>	A	<i>A8</i>	A	<i>IQM</i>	0.65
<i>F11</i>	A	<i>A9</i>	A	<i>Classe</i>	Moderato
<i>F12</i>	B	<i>A10</i>	C		
<i>F13</i>	A	<i>A11</i>	B		
		<i>A12</i>	A		

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

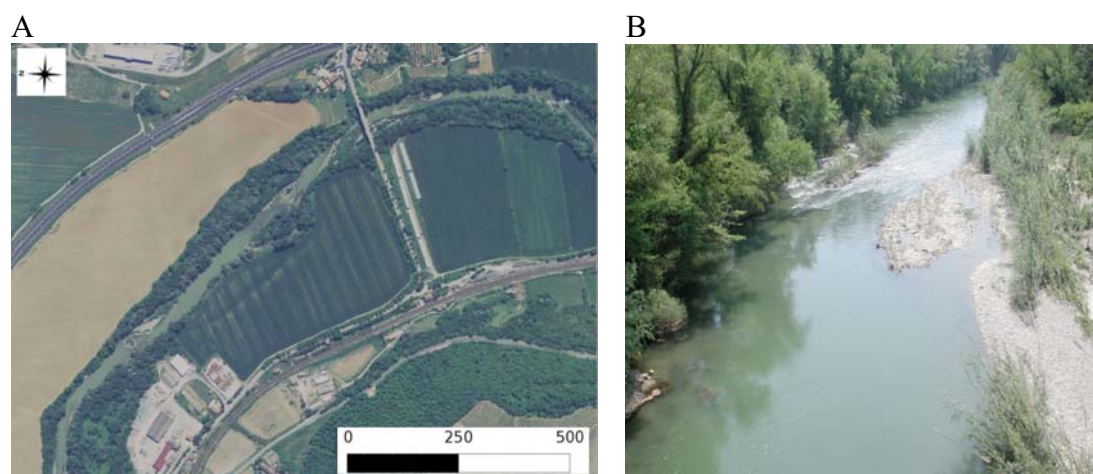


Figura 5.7 - Fiume Tevere presso la confluenza con il F.Paglia ($IQM=0.65$: *moderato*). A: Foto aerea di una porzione del tratto; B: particolare del tratto.

(7) **Furkelbach (Rio di Furcia) in Val Pusteria (Trentino Alto Adige)**. Il torrente Furkelbach (o Furcia) è un affluente in sinistra idrografica del F. Rienza (Val Pusteria, Provincia Autonoma di Bolzano), interamente appartenente ad un'unità fisiografica di "area montuosa alpina". La sua area drenata è pari a 23.4 km^2 . Il tratto analizzato (1.7 km di lunghezza, tra quota 1310 e 1148 m s.l.m., per una pendenza media del 9.5%) si presenta confinato a canale singolo con larghezza media di circa 8 m. Il Furkelbach rappresenta il tipico caso di torrente alpino fortemente alterato dalle sistemazioni idrauliche, dalla presenza di una strada ad esso adiacente che altera la continuità tra versante e corso d'acqua e dagli interventi di manutenzione della vegetazione perifluviale. La funzionalità geomorfologica risulta comunque nel complesso di valore intermedio. Considerando l'artificialità, la maggiore criticità è certamente rappresentata dal fatto che nel tratto sono presenti 67 briglie di consolidamento (Figura 5.8A), per una frequenza pari quindi a 4 ogni 100 m (pertanto $A4$ è in classe

C con ulteriori 12 punti assegnati per l'elevatissima densità di opere). Inoltre, poco a monte (400 m) del tratto analizzato è presente una briglia di trattenuta filtrante di notevoli dimensioni (Figura 5.8B, A2 in classe B). Tra gli altri elementi di artificialità, sono da considerare alcune difese longitudinali (A6 in classe B), e la rilevante attività di rimozione e prelievo della vegetazione perifluviale e del materiale legnoso (classe C per gli indicatori A11 e A12). In definitiva, l'*IAM* è pari a 0.54 e l'*IQM* a 0.46, ovvero il tratto presenta una qualità morfologica *scadente*.

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

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

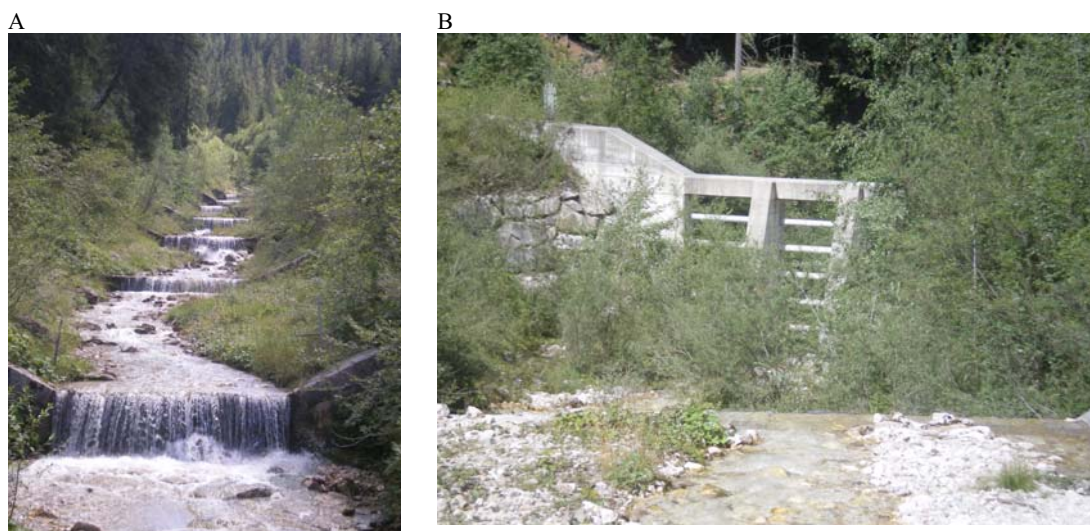


Figura 5.8 – Rio di Furcia in Val Pusteria (*IQM*=0.46: *scadente*). A) Il tratto analizzato visto da valle: è evidente l'influenza delle briglie di consolidamento sulla morfologia d'alveo, che non presenta strutture naturali a gradinata come invece predicibile in base alla pendenza media (9.5%), l'artificialità della vegetazione perifluviale soggetta a taglio periodico, e l'assenza totale di materiale legnoso in alveo; B) la briglia filtrante di trattenuta presente subito a monte del tratto indagato.

(8) **Fiume Panaro presso Vignola (Emilia Romagna)**. E' un tratto non confinato compreso tra Vignola e Savignano (lunghezza di circa 2 km), sull'apice del conoide (unità fisiografica di alta pianura appenninica), con pendenza media di 0.007 e larghezza media di 96 m. Rappresenta un caso con una forte degradazione fisica, seppure l'artificialità non è ai massimi livelli, testimoniata da marcate variazioni di configurazione e larghezza (Figura 5.9A e B) e del fondo (incisione >6m), e prevalentemente legata ad una forte attività estrattiva nel passato e alla riduzione degli apporti solidi da monte. Pertanto gli indicatori di variazioni morfologiche (*V1*, *V2* e *V3*) risultano con punteggi massimi. Le altre principali criticità sono rappresentate

dalla presenza di briglie nei tratti a monte (A2 in classe B) e nel tratto stesso (A4 in classe C), assenza di piana inondabile (Figura 5.9C), alterazione del substrato per affioramenti diffusi di argilla (F10 in classe C) (Figura 5.9D) e impoverimento della diversità di forme attese, a loro volta legati alla forte incisione. Il risultato finale è $IQM=0.41$, risultando quindi classificato come *scadente*.

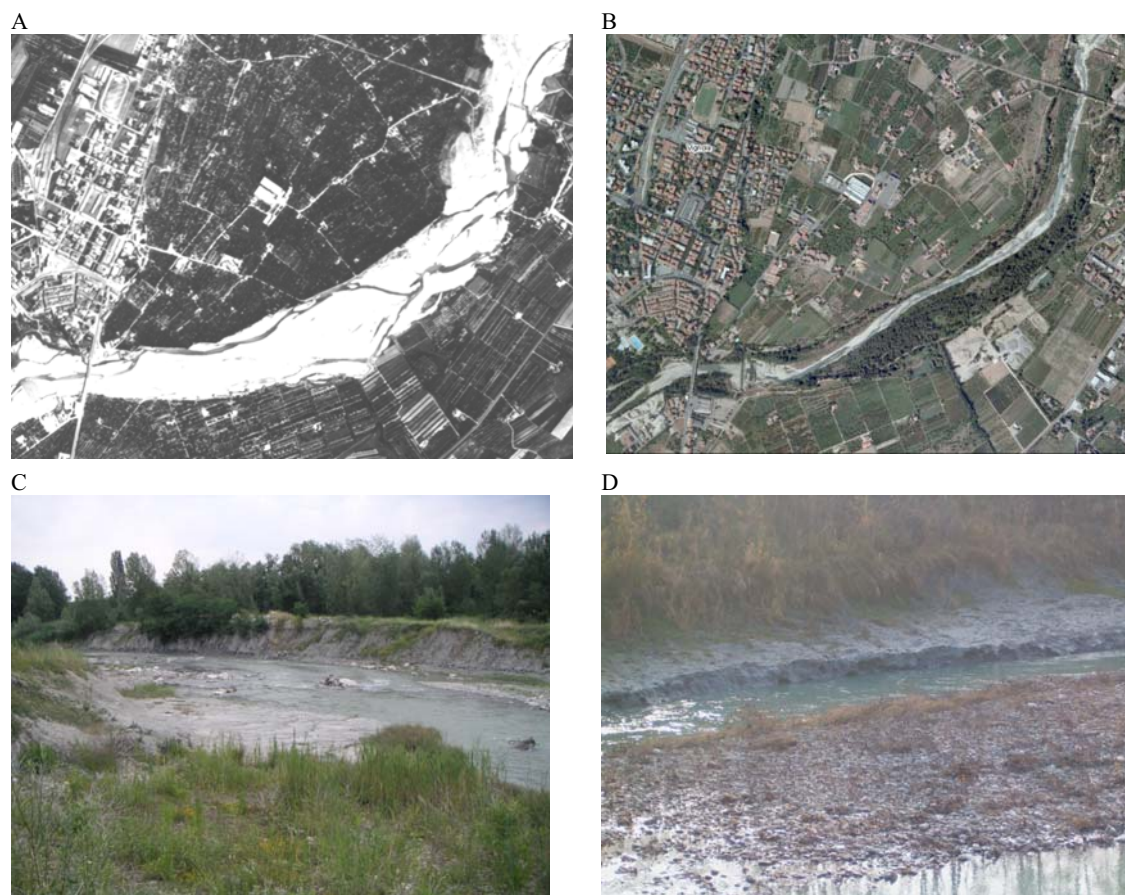


Figura 5.9 - Fiume Panaro presso Vignola ($IQM=0.41$: *scadente*). A) Foto aerea del 1954 che mostra un alveo largo a canali intrecciati; B) situazione attuale che mette in evidenza il drastico restringimento e la variazione della configurazione morfologica (canale singolo); C) particolare del tratto che mette in evidenza le sponde instabili e le superfici terrazzate derivanti dalla forte incisione; D) particolare che mette in evidenza l'affioramento di argilla sul fondo ed alla base delle sponde causato dall'incisione.

Funzionalità		Artificialità		Variazioni	
<i>F1</i>	C	<i>A1</i>	A	<i>V1</i>	C
<i>F2</i>	C	<i>A2</i>	B	<i>V2</i>	C
<i>F4</i>	C	<i>A3</i>	A	<i>V3</i>	C2
<i>F5</i>	B	<i>A4</i>	C	Indici e classe	
<i>F7</i>	C	<i>A5</i>	B	<i>Stot</i>	82
<i>F8</i>	/	<i>A6</i>	B	<i>Smax</i>	139
<i>F9</i>	C	<i>A7</i>	A	<i>IAM</i>	0.59
<i>F10</i>	C	<i>A8</i>	A	<i>IQM</i>	0.41
<i>F11</i>	A	<i>A9</i>	A	<i>Classe</i>	Scadente
<i>F12</i>	B	<i>A10</i>	C		
<i>F13</i>	B	<i>A11</i>	B		
		<i>A12</i>	A		

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

(9) **Torrente Gadria presso Lasa (Trentino Alto Adige).** Il Torrente Gadria (Val Venosta, Provincia Autonoma di Bolzano), affluente in sinistra idrografica del F.Adige, è un collettore oggetto di fenomeni di colata detritica molto frequenti, in media 1-2 per anno. Il bacino (area drenata di circa 14 km²) è molto ripido e dissestato per frane superficiali. Il tratto analizzato (2.2 km) è quello che scorre attraverso il conoide del T.Gadria, uno dei maggiori d'Europa, e di conseguenza presenta le caratteristiche di non confinato in ambito montano. L'alveo lungo il tratto in analisi è stato oggetto di sistemazione alla fine del XIX secolo, quando è stato costruito un cunettone selciato seguendo un tracciato rettilineo (Figura 5.10) al fine di convogliare la colata fino all'Adige. Successivamente a monte del tratto è stata costruita una briglia di trattenuta a fessura la quale ora arresta tutto il sedimento in una piazza di deposito. La funzionalità geomorfologica risulta al minimo per quasi tutti gli indicatori (tranne F1). L'artificialità risulta elevata (classe C) solo per un numero relativamente ridotto di indicatori. Tuttavia, la presenza ininterrotta nel tratto di protezioni di sponda, argini e rivestimenti del fondo comporta l'attribuzione di punteggi aggiuntivi agli indicatori A6, A7 e A9, portando al massimo il punteggio dell'artificialità. Ne risulta un *IQM* pari a 0.06 (classe *pessimo*).

Funzionalità		Artificialità		Variazioni	
<i>F1</i>	A	<i>A1</i>	A	<i>V1</i>	/
<i>F2</i>	C	<i>A2</i>	B2	<i>V2</i>	/
<i>F4</i>	C	<i>A3</i>	A	<i>V3</i>	/
<i>F5</i>	C	<i>A4</i>	A	Indici e classe	
<i>F7</i>	C	<i>A5</i>	A	<i>Stot</i>	108
<i>F8</i>	/	<i>A6</i>	C (+12)	<i>Smax</i>	115
<i>F9</i>	C	<i>A7</i>	C (+12)	<i>IAM</i>	0.94
<i>F10</i>	C	<i>A8</i>	C	<i>IQM</i>	0.06
<i>F11</i>	C	<i>A9</i>	C2 (+12)	<i>Classe</i>	Pessimo
<i>F12</i>	C	<i>A10</i>	A		
<i>F13</i>	C	<i>A11</i>	A		
		<i>A12</i>	C		

Tabella 5.16 – Torrente Gadria presso Lasa: tabella riepilogativa per il calcolo dell'*IQM*.

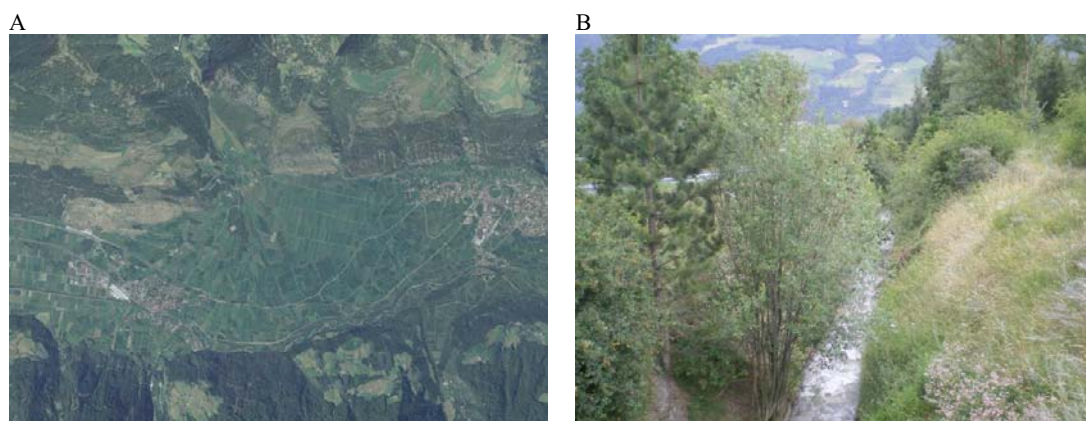


Figura 5.10 – Torrente Gadria presso Lasa (*IQM*=0.06: *pessimo*). A) Foto aerea che evidenzia il conoide attraversato dal corso d'acqua nel tratto di studio. B) Particolare che mostra il "cunettone" del Torrente Gadria.

(10) **Fiume Arno a Firenze (Toscana)**. Si tratta di un tratto non confinato in ambito di pianura (unità fisiografica di pianura intermontana), ben rappresentativo di un fiume di grandi dimensioni di attraversamento di una zona densamente urbanizzata (Figura 5.11A). Attualmente l'alveo si classifica come rettilineo – sinuoso, con pendenza media di circa 0.0018 e larghezza media di 115 m. L'artificialità del tratto è molto forte, a causa della presenza continua di opere longitudinali, ed in parte trasversali, che ne impediscono ogni dinamica di tipo laterale e verticale (Figura 5.11B), compromettendone anche gran parte delle funzionalità morfologiche. La stessa continuità longitudinale del tratto a monte è alterata a causa della presenza di dighe e numerose briglie. La presenza continua di difese di sponda e argini causa l'attribuzione di punteggi aggiuntivi agli indicatori A6 e A7, pertanto l'artificialità raggiunge il massimo. Inoltre le variazioni morfologiche sono massime (incisione molto forte e variazioni laterali impedito). Il risultato finale è $IQM=0.00$, risultando quindi classificato come *pessimo*.

Funzionalità		Artificialità		Variazioni	
F1	C	A1	C	V1	C
F2	C	A2	C	V2	C
F4	C	A3	A	V3	C2
F5	C	A4	B	Indici e classe	
F7	C	A5	C	Stot	135
F8	/	A6	C (+12)	Smax	133
F9	C	A7	C (+12)	IAM	1.00
F10	/	A8	C	IQM	0.00
F11	C	A9	B	Classe	Pessimo
F12	C	A10	C		
F13	C	A11	C		
		A12	C		

Tabella 5.17 – Fiume Arno a Firenze: tabella riepilogativa per il calcolo dell' IQM .

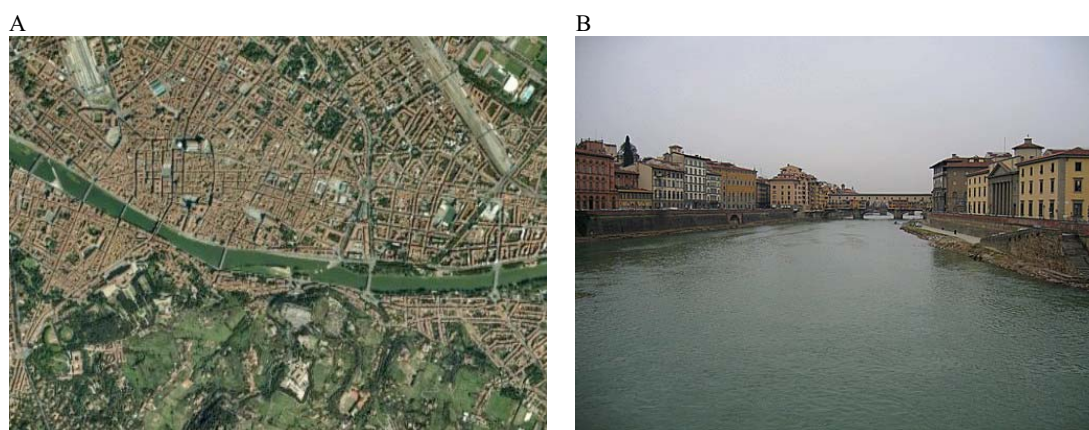


Figura 5.11 - Fiume Arno a Firenze ($IQM=0.00$: *pessimo*). A) Foto aerea che evidenzia come il tratto interessa un'area fortemente urbanizzata. B) Particolare che mostra la presenza di difese di sponda continue (con funzione di argini) e l'omogeneità di sezione.

CAPITOLO 6 – MONITORAGGIO MORFOLOGICO

6.1 Tipi di monitoraggio morfologico

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

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

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

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

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

(1) **Monitoraggio di sorveglianza**: la WFD richiede che un numero sufficiente di corpi idrici venga monitorato nel programma di sorveglianza per avere una valutazione ripetuta nel tempo dello stato generale dei corsi d'acqua all'interno di ogni bacino idrografico. Tale monitoraggio è finalizzato prevalentemente all'accertamento delle variazioni di lungo termine delle condizioni naturali e/o di quelle variazioni indotte dall'attività antropica diffusa.

(2) **Monitoraggio operativo**: è finalizzato a verificare le variazioni future di quei corsi d'acqua identificati come corpi idrici con rischio di non soddisfare gli obiettivi della WFD. Il programma di misure per il monitoraggio operativo deve quindi fare uso di quei parametri indicativi degli elementi di qualità, sia biologica che idromorfologica, più sensibili alle pressioni a cui il corso d'acqua è soggetto.

(3) **Monitoraggio investigativo**: può essere richiesto in casi particolari, quali: (a) quando non si conoscono i motivi per cui non vengono raggiunti determinati obiettivi; (b) laddove il monitoraggio di sorveglianza indica che è probabile che non si possano raggiungere alcuni obiettivi e, dove il monitoraggio operativo non è già stato stabilito, per accertare le cause per le quali gli obiettivi non sono raggiunti; (c) per accertare gli impatti di inquinamenti accidentali.

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

Tipo di monitoraggio per WFD	Metodologia di monitoraggio morfologico	Frequenza spaziale
Sorveglianza	Non strumentale (ripetizione periodica procedura di valutazione)	Numero relativamente elevato di tratti nel bacino rappresentativi di contesti fisiografici e morfologie diverse
Operativo	Strumentale (misure sistematiche periodiche sul terreno e da GIS)	Numero più limitato di tratti a rischio
Investigativo		Casi particolari

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

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

6.2 Monitoraggio strumentale

6.2.1 Impostazione generale del programma di monitoraggio

Vanno rimarcati i seguenti punti:

(1) Parte degli aspetti considerati in precedenza sono finalizzati alla sola valutazione dello stato attuale e non è necessario prenderli in considerazione per il monitoraggio strumentale successivo. Ciò vale in particolar modo per le osservazioni di tipo prevalentemente qualitativo relative alla descrizione della presenza o meno di forme e processi geomorfologici caratteristici per una determinata morfologia, e per le valutazioni interpretative delle variazioni morfologiche avvenute nel recente passato.

(2) Mentre per la descrizione delle variazioni morfologiche passate, nella valutazione dello stato attuale, si utilizzano le informazioni disponibili integrate da evidenze sul terreno, per quanto riguarda le variazioni morfologiche future è necessario procedere ad una misura sistematica di alcuni parametri (ad es. variazioni di quota del fondo, dimensioni e forma della sezione, ecc.).

(3) Per quanto riguarda gli elementi artificiali, quelli da monitorare si identificano con quelli necessari alla caratterizzazione attuale, ed il monitoraggio futuro dovrà includere la tipologia, localizzazione e dimensione di ogni nuova opera o intervento.

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

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

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

Tabella 6.2 – Aspetti morfologici ed elementi artificiali da monitorare.

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

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

Elemento morfologico	Metodo di rilevamento / misura e relativa scala spaziale	Tipologia corso d'acqua
5.1 Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	- Telerilevamento (tratto)	- Tutti
5.3 Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	- Telerilevamento (tratto)	- Tutti

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda invece la **frequenza temporale**, essa può variare a seconda degli scopi del monitoraggio morfologico: ai fini della WFD si ritiene sufficiente, per il monitoraggio operativo, una scansione temporale di almeno una volta ogni 6 anni, coincidente cioè con un ciclo dei piani di gestione. Per il monitoraggio investigativo la frequenza può invece aumentare ad una volta ogni 3 anni o anche meno a seconda dei casi e dei problemi specifici da investigare, almeno per quanto riguarda le misure sul terreno, mentre per le misure da telerilevamento esse dipendono dalla possibilità di

ripetere i voli a scala adeguata da poter permettere la misura dei parametri di interesse. C'è da considerare a tal proposito che, con il progressivo sviluppo tecnologico, la disponibilità di immagini da satellite e dati LiDAR che possano essere impiegate per queste analisi è destinata ad aumentare. Questo vale almeno per i fiumi di una certa dimensione, per i quali la risoluzione delle immagini da satellite potrà considerarsi sufficientemente adeguata per i parametri di interesse.

Nella parte seguente vengono descritte in dettaglio tutte le procedure ed i metodi per il monitoraggio degli aspetti morfologici secondo l'ordine schematizzato nelle precedenti Tabelle 6.2 e 6.3. Un riferimento bibliografico utile, per alcune delle procedure qui descritte, è rappresentato dalle "Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive" recentemente pubblicate (SURIAN *et al.*, 2009).

6.2.2 Monitoraggio degli elementi morfologici naturali

1. Continuità

In questa categoria sono comprese: (A) continuità longitudinale; (B) continuità laterale.

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

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

1.1 Portate liquide

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

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

- **portata al colmo massima annuale** (Q_c) (in m^3/s): è necessaria per: (a) aggiornare le serie storiche e permettere il calcolo della portata biennale; (b) registrare

l'occorrenza di eventi di piena di forte intensità (tempi di ritorno maggiori di 10 anni).

1.2 Estensione e continuità piana inondabile

Definizione

Questa grandezza è associabile a due aspetti: (1) alla continuità idraulica laterale, in quanto esprime la possibilità che ha il corso d'acqua di inondare frequentemente aree adiacenti all'alveo; (2) alla funzionalità morfologica, in quanto un alveo altimetricamente stabile o con recupero morfologico successivo ad incisione tende ad avere una pianura inondabile attiva. Quest'ultima a rigore comprenderebbe solo una superficie di neoformazione post-incisione (si veda la terminologia nel box successivo). Per semplicità, con il termine piana inondabile possono essere incluse anche le superfici leggermente terrazzate facenti parte dell'alveo pre-incisione, comprese quindi all'interno di scarpate che delimitano con chiarezza l'alveo precedente all'abbassamento, nel caso di incisione del fondo limitata (ovvero di norma dell'ordine di 1-2 m al massimo). Queste situazioni sono ad esempio frequenti in alvei a canali intrecciati o di tipo *wandering* che hanno subito modeste incisioni del fondo. Si definiscono due grandezze che servono a caratterizzare l'estensione areale di tali superfici:

- ***Estensione laterale di piana inondabile (EL)***: rappresenta la larghezza media (in m) nel tratto di studio della piana inondabile (incluse eventuali superfici frequentemente inondabili facenti parte dell'alveo pre-incisione).

- ***Continuità longitudinale di piana inondabile (CI)***: è la lunghezza di alveo (in percentuale) nel tratto interessata dalla presenza di piana inondabile (incluse eventuali superfici frequentemente inondabili facenti parte dell'alveo pre-incisione).

Terminologia: pianura alluvionale, piana inondabile, terrazzo

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

Con il termine *pianura alluvionale (alluvial plain)* viene abitualmente indicata una superficie pianeggiante adiacente al corso d'acqua costituita da sedimenti alluvionali (*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 suborizzontali che rappresentano antichi livelli della pianura 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 sottolineato 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. E' noto (si veda Cap. 2 e 3) che molti corsi d'acqua in varie regioni antropizzate sono stati soggetti durante gli ultimi decenni a significativi processi di incisione, che hanno portato ad un parziale abbandono delle pianure inondabili precedentemente costruite. In questi casi è opportuno pertanto riservare il termine di *piana inondabile in s.s.* (o *attiva* o *moderna* o *attuale*) ad una superficie che è generata a quella quota topografica dai processi di mobilità laterale attivi nelle attuali condizioni di regime (indicata anche come *modern floodplain*: HUPP, 1999). La piana inondabile pre-incisione, a seguito dell'abbassamento del fondo del corso d'acqua, è da indicare, coerentemente con le precedenti definizioni, come *piana inondabile inattiva* o *terrazzo* (SIMON & DARBY, 1999; HUPP, 1999; SIMON & CASTRO, 2003; SIMON & RINALDI, 2006; HUPP & RINALDI, 2007). Normalmente una piana inondabile attiva è soggetta ad inondazioni per $TR=1-3$ anni, mentre un terrazzo viene ancora inondato, ma con $TR>3$ anni (crescenti all'aumentare dell'incisione avvenuta) (HUPP & OSTERKAMP, 1996; HUPP, 1999). Ne consegue che il termine terrazzo, secondo questa accezione, non implica che si tratti di una superficie non più inondabile, così come il termine piana inondabile non vuole indicare tutte le superfici che siano potenzialmente inondabili.

E' 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 soggetto 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 $TR=1-3$ anni, cioè solo quella superficie formata 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'estensione laterale e della continuità longitudinale delle superfici in oggetto viene effettuata, per alvei non confinati o semiconfinati, attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate, integrate da controlli sul terreno. Si procede attraverso i seguenti passaggi:

1. Identificazione e delimitazione preliminare delle superfici di piana inondabile, incluse le superfici leggermente terrazzate facenti parte dell'alveo pre-incisione. Tali superfici presentano evidenze di essere inondate con una frequenza relativamente elevata e caratteristiche vegetazionali simili a quelle della piana inondabile. Quando disponibili, possono essere utilizzate zonazioni della frequenza di inondazione ricavate da analisi idrauliche: la pianura inondabile attiva normalmente è soggetta ad inondazioni per tempi di ritorno dell'ordine di 1-3 anni, mentre tali superfici possono essere interessate da inondazioni con tempi di ritorno leggermente più elevati, di norma non superiori ai 5 anni. Inoltre, l'uso delle sezioni trasversali rilevate presso il sito (punto 3.2) sarà di supporto alla definizione delle superfici, in base ai dislivelli altimetrici presenti.

2. Sopralluoghi sul terreno. Per verificare la delimitazione preliminare delle superfici di interesse è necessaria una ricognizione sul terreno con controlli mirati in punti dubbi e rappresentativi individuati nella fase precedente. Generalmente tali superfici presentano dislivelli relativamente ridotti rispetto all'alveo (non è possibile fornire regole generali in quanto tali dislivelli possono variare di caso in caso in funzione delle dimensioni e delle caratteristiche idrologico – idrauliche del corso d'acqua). Le evidenze morfologiche sono rappresentate soprattutto da tracce di inondazioni delle superfici relativamente recenti, quali tracce di flussi idrici, presenza di materiale legnoso o altri tipi di detriti fluitati (in particolare quando sono intercettati da vegetazione viva presente), evidenze di sedimentazione sulla vegetazione presente (radici sepolte da sedimenti fini). Ovviamente, tali indicatori non sono validi se si effettua il rilievo subito dopo un evento di piena particolarmente significativo (tempo di ritorno indicativamente > 10 anni), nel quale anche superfici a quote relativamente elevate possono essere state inondate.

Per quanto riguarda le caratteristiche vegetazionali, la presenza di specie arboree riparie sono indicative di queste superfici, mentre la presenza di specie normalmente estranee all'ambiente ripario possono essere indicatori di terrazzi inondabili meno frequentemente. Tale riconoscimento verrà effettuato grazie ai rilievi sul terreno di cui al punto 5.1.

3. Misura dell'estensione laterale. Vengono utilizzate le stesse sezioni di misura impiegate per le misure di larghezza dell'alveo, effettuando quindi la misura della larghezza totale (sommando quelle ai due lati del corso d'acqua) delle superfici di piana inondabile per ogni punto dell'asse dell'alveo corrispondente al passo definito perpendicolarmente allo stesso. Al termine delle misure, si ricava un valore di estensione laterale medio del tratto di studio.

4. Misura della continuità longitudinale. Viene misurata lungo l'asse dell'alveo la lunghezza di corso d'acqua con presenza laterale delle superfici in oggetto per ognuno dei due lati. Successivamente si calcola il rapporto tra la somma delle lunghezze così misurate sui due lati ed il doppio della lunghezza del tratto misurato lungo l'asse dell'alveo, espresso in percentuale.

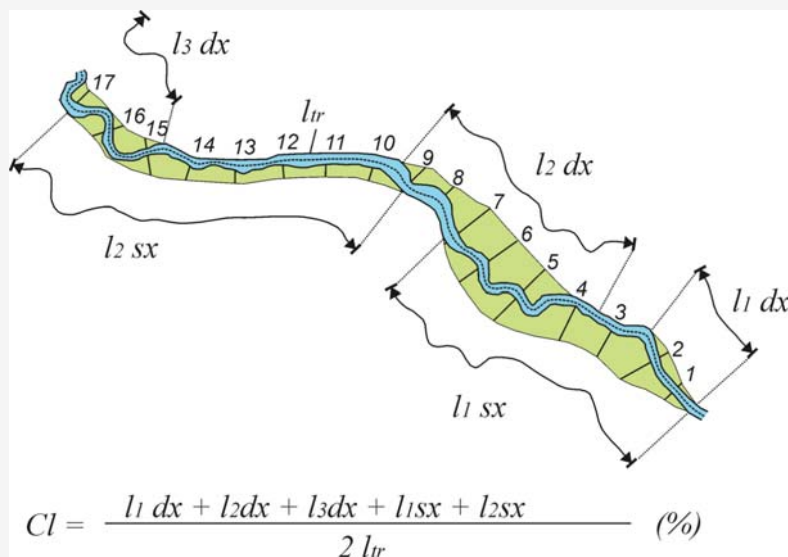


Figura 6.1 – Misura dell'estensione e continuità longitudinale (*Cl*) della piana inondabile. L'area in verde rappresenta la piana inondabile. L'estensione si ricava dalla media delle misure effettuate per le sezioni dalla 1 alla 17.

Scala spaziale

Le misure vanno effettuate alla scala del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

1.3 Sponde in arretramento

Definizione

La presenza ed estensione di sponde in arretramento per erosione rappresentano grandezze che esprimono l'intensità della dinamica laterale del corso d'acqua. Variazioni di tale parametro sono, entro certi limiti (dipendenti anche dalla tipologia di corso d'acqua), da considerarsi normali nella dinamica morfologica naturale di alvei in equilibrio dinamico. E' ormai sempre più riconosciuto il fatto che un certo arretramento delle sponde fluviali sia da considerare un attributo positivo anche per i numerosi risvolti benefici per gli ecosistemi acquatici e ripariali (si veda ad es. 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.

E' 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 misurato lungo l'asse dell'alveo, espresso in percentuale (Figura 6.2).
3. Misura del tasso di arretramento delle sponde. E' possibile effettuare questa misura avendo a disposizione almeno due voli aerei. Durante il primo monitoraggio è possibile utilizzare per il confronto un volo aereo precedente, qualora disponibile, che sia stato eseguito negli ultimi 10 anni (rilievi precedenti possono non essere adatti ad interpretare l'attuale tendenza). In caso contrario, è possibile determinare tale parametro solo a partire dal secondo monitoraggio. Si sovrappongono le linee di sponda relative alle due situazioni successive e, nei casi di arretramento, si misurano le distanze tra le due linee (generalmente si adotta la stessa spaziatura utilizzata per la larghezza dell'alveo) (Figura 6.3). Nelle sezioni non in arretramento (variazione assente o avanzamento della linea di sponda), il valore di arretramento viene posto pari a 0. Al termine delle misure, si ricava un valore di tasso di arretramento (in m/a) medio del tratto di studio. Tenere presente, per una valutazione corretta delle misure ottenute, gli errori associati alla procedura (georeferenziazione delle immagini e digitalizzazione delle sponde).

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

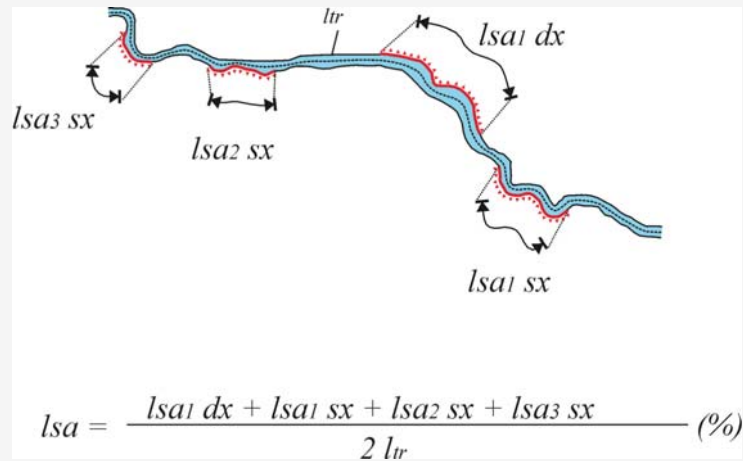


Figura 6.2 – Misura della Lunghezza di sponde in arretramento (*lsa*).

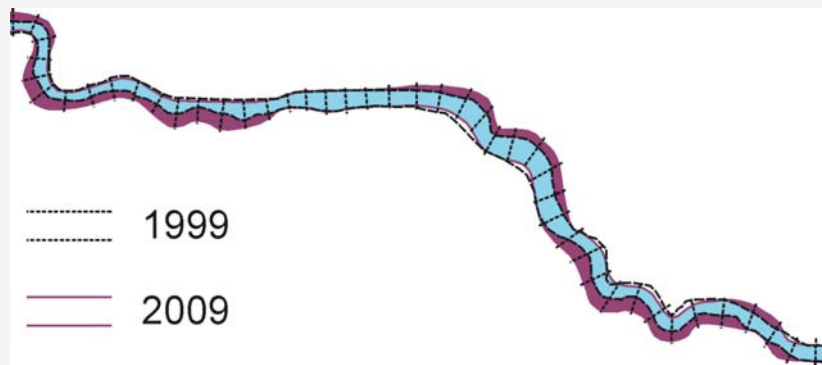


Figura 6.3 – Misura del Tasso di arretramento delle sponde (*Tas*). I segmenti tratteggiati rappresentano le sezioni di misura; le aree in viola rappresentano i tratti di sponde in arretramento. Il valore di arretramento medio nel tratto va diviso per l'intervallo di tempo tra i due rilievi successivi (10 anni).

Scala spaziale

Le misure vanno effettuate alla scala del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

2. Configurazione morfologica

2.1 Indice di sinuosità

Definizione

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

Come si misura: si veda Capitolo 4.

Scala spaziale

La scala spaziale di misura è quella del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

2.2 Indice di intrecciamento

Definizione

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

Come si misura: si veda Capitolo 4. Si noti che, rispetto alla fase di classificazione iniziale, l'interdistanza per la misura dell'indice deve essere ridotta, utilizzando la stessa impiegata per la misura della larghezza (si veda punto 3.1).

Scala spaziale

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

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

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

Tipologia di corso d'acqua

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

2.3 Indice di anastomizzazione

Definizione

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

Come si misura: si veda Capitolo 4. Si noti che, rispetto alla fase di classificazione iniziale, l'interdistanza per la misura dell'indice deve essere ridotta, utilizzando la stessa impiegata per la misura della larghezza (si veda punto 3.1).

Scala spaziale

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

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

Tipologia di corso d'acqua

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

2.4 Morfometria di barre e isole

Definizione

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

- **Lunghezza delle barre laterali (l_{bl})**: è la lunghezza di alveo nel tratto (in percentuale) interessata dalla presenza di barre laterali (comprese le barre di meandro).
- **Lunghezza delle barre longitudinali (l_{blo})**: è la lunghezza di alveo nel tratto (in percentuale) interessata dalla presenza di barre longitudinali.
- **Area delle isole (A_i)** (in m²).

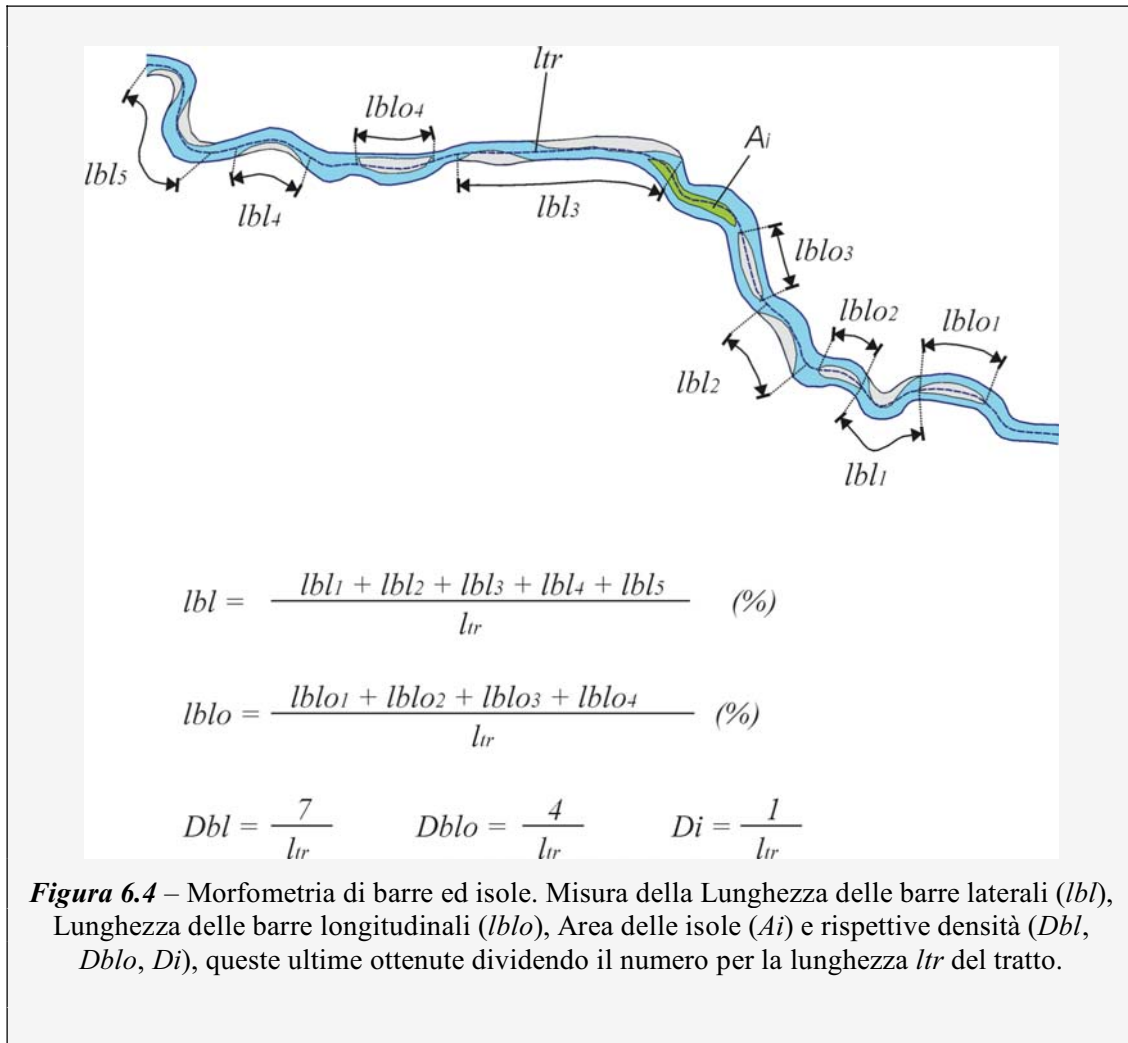
Risulta inoltre utile integrare i precedenti parametri con i seguenti:

- **Densità delle barre laterali (D_{bl})**: è il numero di barre laterali diviso per la lunghezza del tratto (n km⁻¹).
- **Densità delle barre longitudinali (D_{blo})**: è il numero di barre longitudinali diviso per la lunghezza del tratto (n km⁻¹).
- **Densità delle isole (D_i)**: 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.
4. Contemporaneamente alle precedenti misure, viene annotato il numero di barre e isole e se ne determina la densità, per ognuna delle tre categorie, dividendo il numero per la lunghezza del tratto.



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

Scala spaziale

Le misure vanno effettuate alla scala del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

2.5 Configurazione morfologica

Definizione

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

Come si misura

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

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

Scala spaziale

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

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

Tipologia di corso d'acqua

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

2.6 Pendenza del fondo

Definizione

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

Come si misura

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

Scala spaziale

E' 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 (ad es. a canali intrecciati) tale distanza può ridursi fino ad un minimo di 10 volte la larghezza.

Tipologia di corso d'acqua

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

3. Configurazione della sezione

3.1 Larghezza alveo

Definizione

L'alveo (identificabile anche con il termine alveo pieno o *bankfull channel*) comprende quella porzione di letto fluviale soggetta a modificazioni morfologiche determinate dalla mobilizzazione ed il trasporto al fondo di sedimenti, ed è identificabile con il canale o canali attivi e le barre. I limiti dell'alveo sono definiti dalla presenza di piana inondabile attiva o, in sua assenza, del terrazzo più basso che è a contatto con l'alveo. Per gli alvei confinati, la delimitazione dell'alveo è più problematica, essendo quasi sempre assente la piana inondabile (per le evidenze utilizzate in questi casi si veda il punto 3.2). La **larghezza dell'alveo (L)** (in m) è quindi definibile una volta delimitato l'alveo.

Come si misura

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

1. Tracciamento dei limiti dell'alveo.
2. Definizione dell'asse dell'alveo (linea di mezzeria dell'alveo) (operazione già effettuata per la misura degli indici di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione).
3. Definizione del passo delle misure. Per una misura accurata della larghezza è consigliata un'interdistanza dell'ordine di $0.25L - 1L$. Tuttavia tale interdistanza può anche essere aumentata in casi ad esempio di alvei non molto larghi e con larghezze relativamente omogenee. Alcuni criteri nella scelta dell'interdistanza possono essere la lunghezza del tratto esaminato (ridurre l'interdistanza se il tratto è breve, al contrario se il tratto è molto lungo) e la variazione longitudinale della larghezza (ridurre l'interdistanza se le variazioni sono frequenti).
4. Misura della larghezza: viene effettuata per ogni punto dell'asse dell'alveo corrispondente al passo definito, perpendicolarmente allo stesso (Figura 6.5). Al termine delle misure si ricava un valore medio.

La misura della larghezza dell'alveo non comprende le eventuali isole fluviali presenti. Tuttavia, in tali casi, è utile misurare anche la **larghezza totale dell'alveo o larghezza dell'alveo con isole (Lt)** (in m) (Figura 6.5).

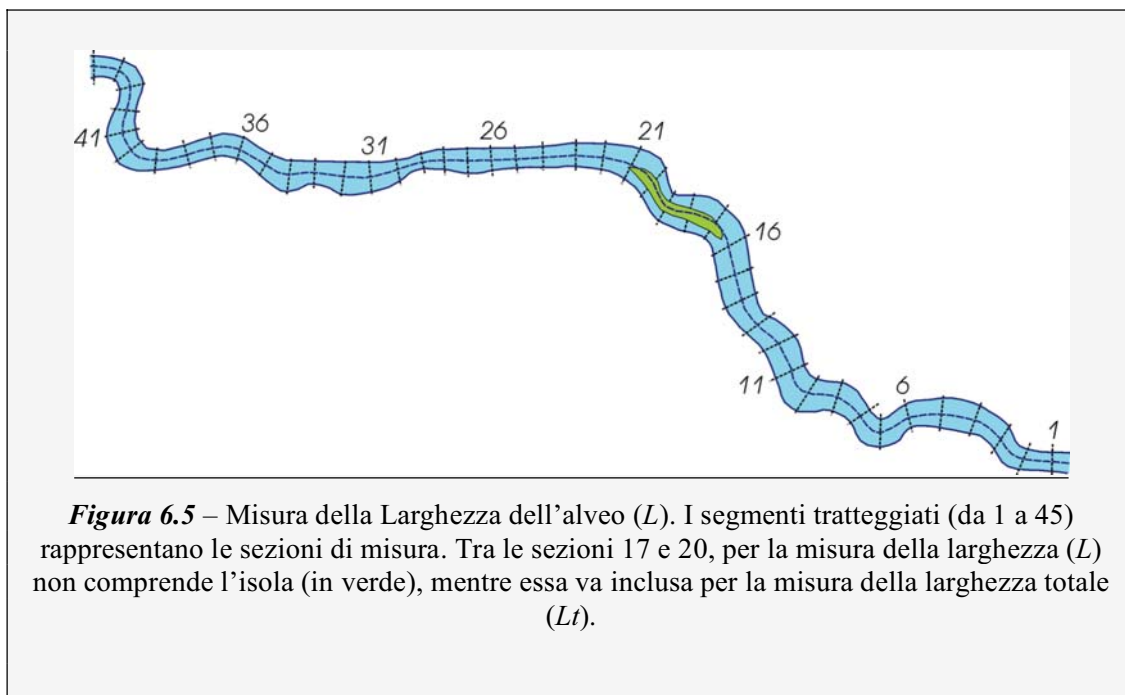
Nel caso di alvei anastomizzati, la larghezza dell'alveo è determinata dalla somma delle larghezze dei canali attivi, mentre la larghezza totale dell'alveo definisce la larghezza dell'intera fascia dei canali e delle isole.

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

Per disporre di misure di larghezza non necessariamente legate alla disponibilità di immagini, si effettuano anche misure sul terreno. In tal caso, è opportuno definire tre sezioni in corrispondenza del sito di monitoraggio sul terreno (utili anche per la definizione della profondità), poste a distanza variabile tra 0.5 e 2 volte circa la

larghezza dell'alveo (ai cui estremi porre dei capisaldi per i rilievi successivi). Tali sezioni vanno definite con orientamento all'incirca ortogonale rispetto all'asse dell'alveo. In questi casi la delimitazione dell'alveo avviene sul terreno e si basa sull'individuazione della pianura inondabile o, in sua assenza, del terrazzo più basso che delimita l'alveo. Per ulteriori dettagli sul rilievo di sezioni si rimanda al punto successivo 3.2.

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.



Scala spaziale

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

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

Tipologia di corso d'acqua

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

3.2 Profondità alveo

Definizione

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

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

Come si misura

La misura della profondità avviene esclusivamente sul terreno, attraverso il rilievo topografico di sezioni trasversali e l'identificazione su di esse del livello ad alveo pieno. Come descritto nel precedente punto (3.1), è opportuno identificare nel sito di monitoraggio 3 sezioni rappresentative, poste a distanza compresa tra 0.5 e 2 volte la larghezza dell'alveo e disposte all'incirca ortogonalmente rispetto all'asse dell'alveo (il valore finale della profondità verrà ricavato dalla media sulle 3 sezioni). Nel caso di alvei ghiaioso - ciottolosi la cui configurazione del fondo non sia omogenea (es. a *riffle - pool*, a gradinata, ecc.), è opportuno selezionare le 3 sezioni in modo da rappresentare situazioni morfologiche relativamente diverse (in un alveo a canale singolo a *riffle - pool*, è preferibile che le sezioni alle estremità siano rilevate in corrispondenza di *riffle* e quella intermedia in condizione di *pool*).

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

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

Identificazione del livello di bankfull

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

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

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

Calcolo della profondità

Una volta effettuato il rilievo, si procede all'elaborazione e visualizzazione dei dati, in formato di distanze progressive dall'estremità posta in sinistra idrografica - quote. Si effettua quindi il calcolo della profondità, sulla base del livello ad alveo pieno identificato sul terreno. A tal proposito, si possono distinguere i seguenti casi:

(1) è presente piana inondabile da entrambi i lati ma a quote differenti: si fa riferimento alla quota inferiore; (2) è presente piana inondabile da un solo lato: essa identifica il livello ad alveo pieno; (3) non è presente piana inondabile da nessuno dei due lati: si fa riferimento alla quota inferiore tra quelle delle superfici pianeggianti adiacenti all'alveo sui due lati. In tutti i casi, la regola quindi è di identificare il livello ad alveo pieno come quel livello idrometrico a partire dal quale l'acqua comincia ad esondare sulla superficie pianeggiante più bassa presente ai lati del corso d'acqua.

Si possono distinguere:

- **profondità massima (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 misura per tutte le tipologie di corsi d'acqua.

3.3 Rapporto larghezza / profondità

Definizione

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

Come si misura

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

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del sito.

Tipologia di corso d'acqua

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

3.4 Variazione di quota del fondo

Definizione

La variazione di quota del fondo rappresenta la grandezza più direttamente associata alla stabilità altimetrica del corso d'acqua oppure ai fenomeni di incisione o sedimentazione. La quota del fondo può essere determinata alla scala delle singole sezioni oppure alla scala di profilo longitudinale. Il primo caso si riconduce alla misura della profondità (punto 3.2), mentre in questo punto vengono trattate le variazioni alla scala del profilo longitudinale. Ai fini del monitoraggio di tali processi è infatti opportuno considerare i processi di incisione o sedimentazione quanto più possibile alla scala del tratto, in quanto la scala del sito può risentire di situazioni

localizzate. La **variazione di quota del fondo** (ΔQ_f) (in m) è intesa come la variazione media nel tratto di misura. Dividendola per l'intervallo temporale relativo al confronto, si esprime inoltre il **tasso di variazione di quota del fondo** (Δq_f) (in m/a) (tale parametro è utile per confronti relativi ad intervalli temporali differenti).

Come si misura

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

Una volta effettuato il rilievo, si procede all'elaborazione e visualizzazione dei dati, in formato di distanze progressive (dall'estremità di monte del profilo) – quote. L'analisi delle variazioni avviene attraverso il confronto tra profili rilevati in anni diversi. E' possibile quindi effettuare un confronto avendo a disposizione almeno due rilievi. Durante l'esecuzione del primo monitoraggio, è possibile confrontare il profilo del fondo con un rilievo precedente, se disponibile, che sia stato eseguito negli ultimi 10 anni (rilievi precedenti possono non essere adatti ad interpretare l'attuale tendenza). In caso contrario, si determina la variazione di quota del fondo solo a partire dal secondo monitoraggio. Attraverso tale confronto si individua la tendenza (o le tendenze in sottotratti diversi) e se ne determina il campo di variazione. Più in dettaglio, nel caso di un tratto caratterizzato da un'unica tendenza (Figura 6.6), si determinano il campo di variazione (valori massimi e minimi per quella tendenza) e la variazione di quota media del tratto (valori negativi corrispondono ad incisione, valori positivi a sedimentazione, mentre valori nulli o molto prossimi a 0 corrispondono ad equilibrio). Nel caso di un tratto caratterizzato da sottotratti con tendenze diverse (Figura 6.7), si definisce il campo di variazione complessivo (massima incisione e massima sedimentazione) ed è poi necessario definire le lunghezze di ogni sottotratto e la relativa variazione media. Successivamente si determina la media pesata delle variazioni registrate nei sottotratti (o equivalentemente si effettua dai profili longitudinali la differenza tra aree in sedimentazione ed in incisione). Tale valore rappresenta indicativamente la tendenza complessiva del tratto.

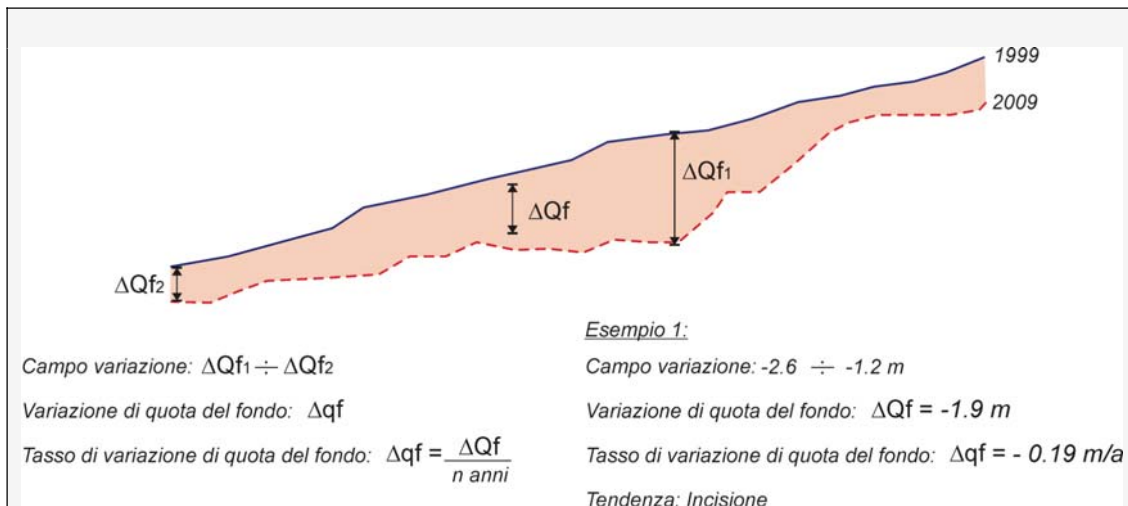


Figura 6.6 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQf) e del relativo Tasso di variazione (Δqf) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto con tendenza unica all'incisione.

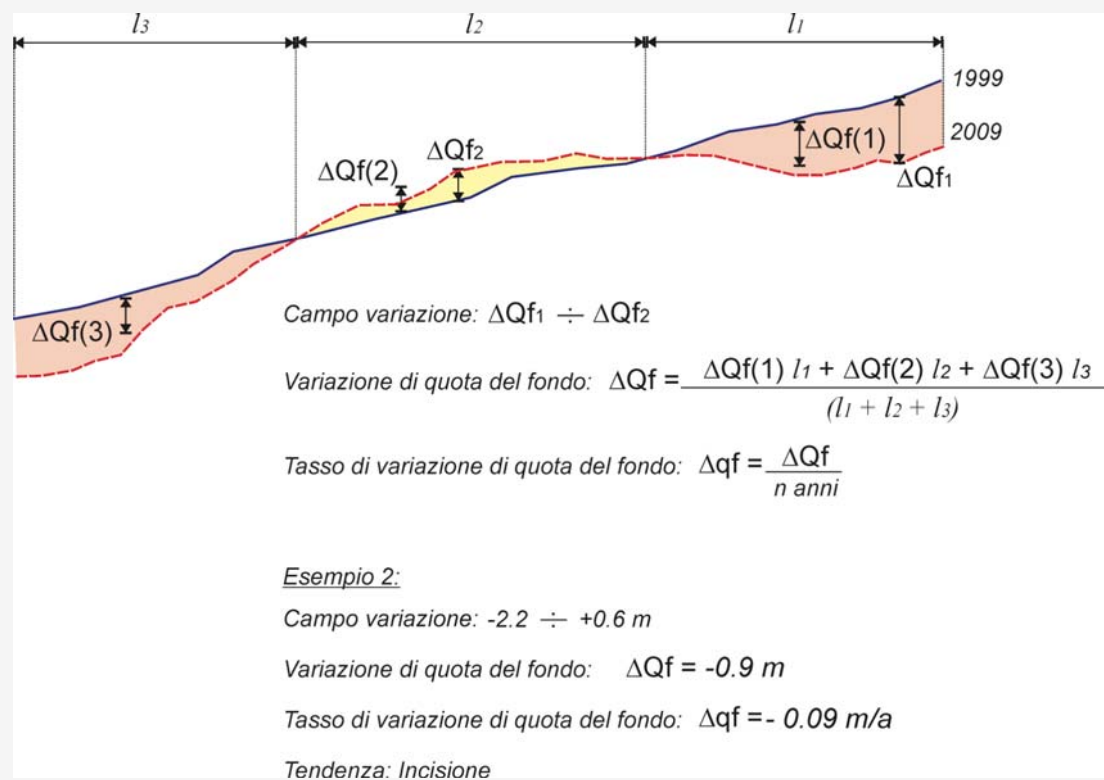


Figura 6.7 – Determinazione della Variazione di quota del fondo (ΔQf) e del relativo Tasso di variazione (Δqf) dal confronto di due profili longitudinali in un tratto caratterizzato da 3 sottotratti a tendenze diverse. $\Delta Qf(1)$, $\Delta Qf(2)$ e $\Delta Qf(3)$ rappresentano i valori medi di variazione nei tratti l_1 , l_2 ed l_3 rispettivamente. La tendenza complessiva è l'incisione, essendo la variazione di quota del fondo media negativa.

Scala spaziale

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

Tipologia di corso d'acqua

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

4. Struttura e substrato dell'alveo

4.1 Dimensioni granulometriche del fondo

Definizione

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

Come si misura

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

Alvei in ghiaia – ciottoli guadabili

Nel caso di alvei guadabili con fondo prevalentemente costituito da sedimenti 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). E' necessario invece selezionare una barra con caratteristiche granulometriche simili a quelle della parte sommersa del canale.
2. Si misura la classe granulometrica di appartenenza di un certo numero di clasti/elementi statisticamente significativo lungo tale superficie. Il numero di particelle, in caso di sedimenti eterogenei (come di norma), deve variare da un minimo di 200 (alvei 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 (ad es. 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, seppure la posizione e la morfologia di quest'ultima può variare nel tempo. Nel caso in cui la barra venga completamente erosa, si farà riferimento alla barra più vicina all'interno del sito di rilievi o, in assenza, all'interno del tratto di studio.

Alvei in sabbia e/o di elevata profondità

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

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

Analisi dei dati raccolti

Una volta che l'analisi del campione è completata, i dati ottenuti si riferiscono a quantità di materiale raggruppate per ciascuna classe. La rappresentazione di tali dati è ottenuta mediante tracciamento di un istogramma e della curva di frequenza cumulata. Successivamente possono essere calcolati i principali parametri caratteristici della distribuzione granulometrica, quali il diametro mediano ed altri percentili significativi, il diametro medio, la deviazione standard, il coefficiente di asimmetria (*skewness*) e di curtosi (*kurtosis*).

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

Scala spaziale

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

Tipologia di corso d'acqua

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

4.2 Strutture del fondo: corazzamento e *clogging*

Definizione

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

Il corazzamento consiste nella presenza di uno strato superficiale di dimensioni significativamente maggiori rispetto a quelle del sottostrato. Nei corsi d'acqua a fondo ghiaioso – ciottoloso, un corazzamento debole è comune: vari autori (ad es. 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 es. SENNATT *et al.*, 2008) consiste invece nell'occlusione degli interstizi dei sedimenti grossolani del fondo da parte di materiale fine (sabbia, limo, argilla).

Come si valutano:

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

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

Per quanto riguarda il ***clogging*** (o *embeddedness*) (*Clo*), la valutazione si basa su una stima della percentuale di superficie di alveo con interstizi riempiti da materiale fine. Tale stima viene fatta sul terreno, alla scala del sito di rilevamento, percorrendo il corso d'acqua e stimando la percentuale del sito interessata da evidente occlusione degli interstizi, escludendo le unità di pozza (*pools*). Si distinguono le seguenti classi: 1) *clogging* poco significativo (<33%);

- 2) *clogging* intermedio (33-66%);
- 3) *clogging* diffuso (>66%).

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

Scala spaziale

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

Tipologia di corso d'acqua

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

4.3 Abbondanza di materiale legnoso di grandi dimensioni

Definizione

Il materiale legnoso di grandi dimensioni (denominato anche come LW: *Large Wood*) come è noto ha numerosi effetti sui processi fluviali, sia di tipo fisico che dal punto di vista ecologico. Per LW sono intesi gli elementi (tronchi, rami e ceppaie) con diametro > 10 cm e lunghezza > 1 m. Gli aspetti che vengono rilevati e misurati durante studi specifici riguardo il legname nei corsi d'acqua sono numerosi (si veda ad es. RINALDI *et al.*, 2009b): 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 6.8):

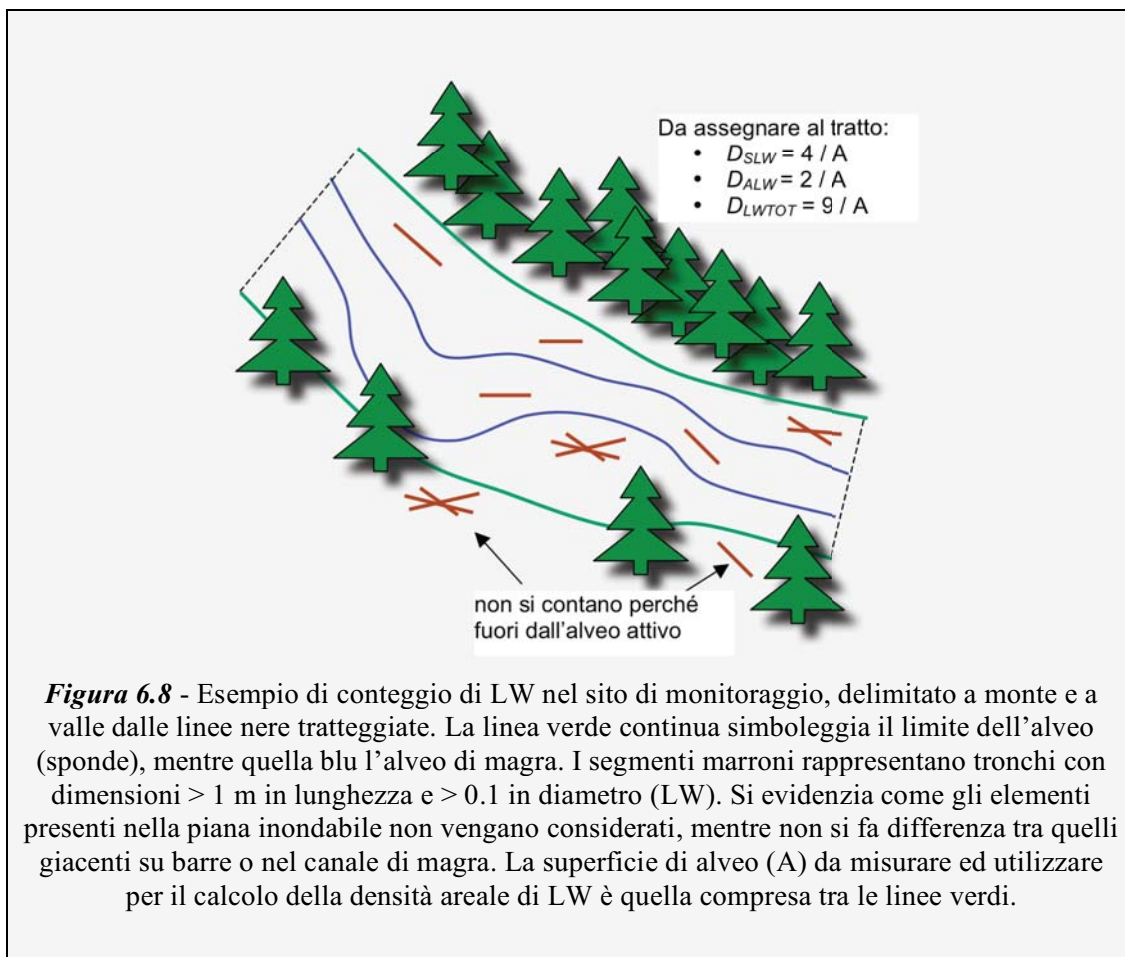
- **Numero singoli LW**: si contano i singoli tronchi con dimensioni al di sopra di quelle minime;
- **Numero accumuli LW**: si contano gli accumuli (agglomerati di più elementi legnosi) che presentano almeno un tronco con dimensioni al di sopra di quelle minime.
- **Numero totale LW**: quando possibile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

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

Attraverso la stima dell'area del sito si ricavano i seguenti parametri (Figura 6.8):

- **Densità singoli LW (D_{SLW})** ($n\ km^{-2}$): 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.



Scala spaziale

La scala spaziale è quella del sito.

Tipologia di corso d'acqua

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

5. Vegetazione nella fascia perifluviale

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

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

5.1 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 del limite dell'alveo, quindi all'interno della piana inondabile e dei terrazzi eventualmente presenti: tale misura infatti è strettamente associata all'estensione laterale di piana inondabile (*El*), così come la continuità delle formazioni è valutata contemporaneamente alla continuità longitudinale di piana inondabile (*Cl*) (punto 1.2).

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

5.3 Estensione lineare delle formazioni funzionali lungo le sponde

Definizione

Abbinata all'ampiezza, si considera la seguente grandezza:

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

Come si misura

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

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto.

Tipologia di corso d'acqua

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

6.2.3 Monitoraggio degli elementi artificiali

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

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

Tabella 6.4 - Elementi artificiali da monitorare divisi per categorie.

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

Dighe

Si tratta delle opere di maggiore impatto sulla continuità delle portate liquide e solide. E' necessario conoscerne: (1) ubicazione; (2) altezza; (3) tipologia (a gravità, ad arco, a contrafforti, in terra, ecc.); (4) anno di entrata in funzione; (5) presenza o meno di eventuali misure di passaggio dei sedimenti trasportati al fondo (sghiaiatori, ecc.); (6) presenza o meno di eventuali misure di passaggio per pesci; (7) entità delle laminazioni previste sulle portate di picco, con particolare riferimento alle $Q_{1.5}$ e Q_{10} ;

(8) entità delle variazioni indotte complessive sul regime idrologico annuale, dove esistano studi in merito. Per quanto riguarda le dighe e le altre opere che possono influire sulla continuità longitudinale, è necessario estenderne il rilievo anche al tratto a monte dello stesso corso d'acqua, nonché degli affluenti inclusi nella fase di valutazione e compresi nel sottobacino sotteso dal tratto di monitoraggio.

Altre opere di alterazione delle portate liquide e/o solide (diversivi o scolmatori, derivazioni, casse di espansione)

Sono opere che hanno effetti notevoli sulla continuità delle portate liquide e, in parte o indirettamente, anche su quelle solide. Rientrano in questa categoria sia i canali di diversione in uscita che in ingresso (canali che cioè convogliano portate liquide da altri corsi d'acqua), e sia diversivi (diversione in tutte le condizioni di portata) che scolmatori (diversione solo in occasione di eventi di piena).

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

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

Le casse di espansione in derivazione laterale, essendo collocate nelle adiacenze dell'alveo, hanno inoltre l'effetto di sottrarre uno spazio di fascia potenzialmente erodibile, aspetto per il quale si rimanda al successivo punto 1.7.

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.

E' necessario conoscere per ciascuna opera: (1) ubicazione; (2) altezza; (3) tipologia, ovvero traversa per derivazione, briglie di trattenuta a corpo pieno, briglie di trattenuta filtranti (a fessura, a finestra, a pettine, a graticcio), briglie frangicolate (vedasi BENINI, 1990; FERRO, 2006); (4) materiale costruttivo (massi, muratura, calcestruzzo, cemento armato, legname); (5) anno di realizzazione; (6) eventuali

misure di manutenzione che prevedano interventi di rimozione o spostamento di sedimenti; (7) volumetria della vasca di deposito eventualmente posta a monte dell'opera (8) presenza o meno di eventuali misure di passaggio per pesci.

Opere trasversali di consolidamento

A differenza delle opere di trattenuta, le opere trasversali di consolidamento sono eseguite non per intercettare il trasporto solido bensì per 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 (<1-2 m, BENINI 1990), comprese le rampe in massi.

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

Opere di attraversamento

Comprendono i ponti, i guadi e le tombinate. 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). E' necessario conoscere per ciascuna opera: (1) ubicazione; (2) tipologia (ponte, guado, tombino); (3) materiale costruttivo (massi, muratura, calcestruzzo, cemento armato, legname, mista); (4) numero di pile (nel caso di ponte); (5) anno di realizzazione. Nel caso in cui al ponte sia abbinata un'opera di consolidamento al fondo, quest'ultima va trattata separatamente nella categoria precedente.

Difese di sponda

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

Arginature

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

Variazioni di tracciato o modifica di forme fluviali nella pianura

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

Va inoltre rilevata la presenza di forme fluviali relitte, precedentemente (o anche attualmente) connesse dal punto di vista idraulico e/o geomorfologico all'alveo (con particolare riferimento a laghi in corrispondenza di rami abbandonati, o anche canali

secondari inattivi non occupati da acqua, aree stagnanti, ecc.) e che potenzialmente potrebbero essere riconnesse. E' necessario conoscere l'eventuale realizzazione di interventi atti ad eliminare, ridurre o modificare morfologicamente tali forme compromettendone la connettività, attuale o potenziale, con il corso d'acqua. Pertanto è richiesta la conoscenza di: (1) ubicazione; (2) tipologia di intervento; (3) riduzione areale della forma fluviale; (4) anno di intervento.

Variazioni areali della fascia erodibile

Vengono considerati gli elementi antropici realizzati all'interno della fascia di mobilità funzionale o fascia erodibile, definibile come lo spazio disponibile per le migrazioni laterali dell'alveo che il corso d'acqua può potenzialmente rioccupare, riconosciuto sulla base della dinamica passata e futura (potenziale) (MALAVOI *et al.*, 1998; PIÉGAY *et al.*, 2005) (si veda Cap. 4). Qualora non precedentemente determinata sulla base di analisi GIS delle variazioni di tracciato passate, tale fascia può essere preliminarmente identificata almeno con: (1) la larghezza dell'alveo del 1954-55 (rilevabile in base al volo IGM GAI) nel caso (come spesso accade) in cui l'alveo attuale è contenuto all'interno di quello del 1954-55; oppure (2) l'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 (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 tagliata da una via di comunicazione).

Rivestimenti del fondo

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

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

Interventi di rimozione di sedimenti e/o ricalibratura dell'alveo

Si tratta di interventi che possono modificare la geometria della sezione e/o le quote del fondo, determinare una riduzione di volumi di sedimenti per il trasporto solido, e possono inoltre provocare significative modifiche e rimaneggiamenti della tessitura e della struttura dei sedimenti del fondo (rimozione dello strato superficiale, dilavamento del materiale fine, ecc.). E' necessario determinare: (1) ubicazione; (2) tipologia (rimozione di sedimenti, modellamento del fondo, riprofilatura delle sponde, ecc.); (3) dimensioni: lunghezza del tratto interessato e variazioni di quota del fondo (a tal fine si rimanda al rilievo delle sezioni e della quota del fondo, punti 3.1 e 3.4 del paragrafo 6.1.2); (4) volume di sedimenti rimossi; (5) anno dell'intervento.

Interventi di rimozione del materiale legnoso in alveo

E' necessario conoscere l'eventuale realizzazione di interventi di rimozione del materiale legnoso di grandi dimensioni che può avvenire periodicamente o a seguito di piene significative. In questi casi è sufficiente conoscere: (1) ubicazione e lunghezza del tratto interessato da rimozione; (2) eventuale stima del volume o massa asportata; (3) anno dell'intervento. Tali informazioni sono importanti in sede di interpretazione delle modifiche dell'abbondanza di legname nel tratto, per le quali si rimanda al punto 4.3 del paragrafo precedente.

Taglio di vegetazione nella fascia perifluviale

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

Il complesso delle alterazioni viene comunque rilevato ai punti 5.1 - 5.3 (si veda precedente par. 6.1.2), mentre qui si fa riferimento specificamente agli interventi antropici all'origine dell'alterazione. Gli interventi di artificializzazione hanno maggiore impatto quanto più sono posti in vicinanza del corso d'acqua. In particolare, nel caso di rimozione della vegetazione presente in fascia perifluviale, i dati da reperire sono: (1) ubicazione; (2) estensione; (3) data dell'intervento.

6.2.4 Schede di monitoraggio e valutazione di terzo livello (post-monitoraggio)

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

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

6.3 Ulteriori elementi per l'analisi ed il monitoraggio

6.3.1 Portate solide

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

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

Il numero di siti di possibile monitoraggio va ovviamente limitato, ma potrebbe essere sufficiente un punto di monitoraggio all'interno di un bacino (esclusi bacini di grandi dimensioni nei quali ne sarebbe necessario un numero più elevato) in corrispondenza o in prossimità di una stazione idrometrica delle portate.

6.3.2 Uso del suolo

Un secondo elemento apparentemente trascurato tra gli elementi da monitorare è l'uso del suolo. Anche in questo caso il motivo è principalmente legato al notevole impegno richiesto per misurare eventuali variazioni di uso del suolo soprattutto quando si opera a scala di bacino. E' 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 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.

SCHEDE DI MONITORAGGIO MORFOLOGICO

GENERALITA'

Bacino _____ Fiume _____
 Località _____
 Segmento _____ Tratto _____
 Categoria _____ C= confinato; NC= semi- non confinato; P= piccolo/medio; G= grande
Immagini telerilevate (IT) Tipo _____ FA= foto aeree, IS= immagini satellite
 Anno _____ Scala _____ Risoluzione _____
 Tratto Lunghezza *ltr* (lungo asse alveo) (m) _____
 Coordinate Estrem.monte _____ Estrem.valle _____
Rilievi terreno (RT)
 Data _____ Rilevatori _____
 Sito Lunghezza *ls* (lungo asse alveo) (m) _____
 Coordinate GPS Estrem.monte _____ Estrem.valle _____

ELEMENTI MORFOLOGICI NATURALI

1. Continuità

1.1 Portate liquide

Tipo misura: registrazioni in continuo Stazione idrometrica:

Anno					
q_{med} =					
Q_c =					

q_{med} (m³/s)= portata media annua, Q_c (m³/s)= portata al colmo massima annuale,

1.2 Estensione e continuità piana inondabile

Tipo misura: IT Campi applicazione: *solo corsi d'acqua NC*

- Estensione laterale piana inondabile (EI)

Numero misure _____ Passo nL (m) _____

nL : passo delle misure, con n di norma tra 0.5 e 2 ed L = larghezza (minima) dell'alveo nel tratto

Estensione laterale sx (m) _____ Estensione laterale dx (m) _____

Estensione laterale media $sx + dx$ (m) $EI =$ _____

- Continuità longitudinale piana inondabile (CI)

Lunghezza p.i. sx (m) _____ Lunghezza p.i. dx (m) _____

Continuità (lunghezza $sx+dx / 2 ltr$) (%) $CI =$ _____

1.3 Sponde in arretramento

Tipo misura: IT Campi applicazione: *solo corsi d'acqua NC G (L>30 m)*

- Lunghezza sponde in arretramento (Lsa)

Lungh. sponde arretr. sx (m) _____ Lungh. sponde arretr. dx (m) _____
 Lunghezza sponde arretramento (lunghezza $sx+dx / 2 ltr$) (%) $Lsa =$ _____

- Tasso arretramento sponde (Tas)

Modalità: *necessarie IT per almeno due anni diversi*

Anni utilizzati I anno _____ II anno _____

I anno: può essere un volo aereo precedente, se disponibile, effettuato negli ultimi 10 anni

Arretram.sponde sx (m) _____ Arretram.sponde dx (m) _____

Tasso medio (arretram. $sx + dx / anni$) (m/a) $Tas =$ _____

2. Configurazione morfologica

2.1 Indice di sinuosità

Tipo misura: IT Campi applicazione: *generalmente tutti NC (esclusi CI)*
RT *in caso di corsi d'acqua P con tracciato non riconoscibile da IT*
 Lunghezza *ltr* (lungo asse alveo) (m)
 Lunghezza *lv* (lungo asse valle) (m)
 Indice di sinuosità (*ltr / lv*) **Is =**

2.2 Indice di intrecciamento

Tipo misura: IT Campi applicazione: *corsi d'acqua G (L>30 m) (esclusi CS)*
 Numero misure Passo *nL* (m)
 Indice di intrecciamento **li =**
 Tipo misura: RT Campi applicazione: *corsi d'acqua P (L<30 m) (esclusi CS)*
 Numero misure (sito) Passo *nL* (m)
 Indice di intrecciamento **li =**

2.3 Indice di anastomizzazione

Tipo misura: IT Campi applicazione: *corsi d'acqua G (L>30 m) (esclusi CS)*
 Numero misure Passo *nL* (m)
 Indice di anastomizzazione **la =**
 Tipo misura: RT Campi applicazione: *corsi d'acqua P (L<30 m) (esclusi CS)*
 Numero misure (sito) Passo *nL* (m)
 Indice di anastomizzazione **la =**

2.4 Morfometria barre e isole

Tipo misura: IT Campi applicazione: *solo corsi d'acqua G (L>30 m) NC*

- Lunghezza barre laterali (*lbi*)

Lunghezza alveo con barre laterali (lungo asse alveo) (m)
 Lunghezza barre laterali (Lunghezza alveo con barre / *ltr*) (%) **lbi =**
 Numero barre laterali Densità (numero/*ltr*) (n km⁻¹) **Dbi =**

- Lunghezza barre longitudinali (*lblo*)

Lunghezza alveo con barre longitudinali (lungo asse alveo) (m)
 Lunghezza barre long. (Lunghezza alveo con barre / *ltr*) (%) **lblo =**
 Numero barre longitudinali Densità (numero / *ltr*) (n km⁻¹) **Dblo =**

- Area isole (*Ai*)

Area isole (m²) **Ai =**
 Numero isole Densità (numero / *ltr*) (n km⁻¹) **Di =**

2.5 Configurazione morfologica

Campi applicazione: *corsi d'acqua NC o C canali multipli o wandering*

Tipo misura: IT o RT sulla base dei parametri *Is, li, la, Lbi*

Morfologia R=rettilineo, S=sinuoso, M=meandriforme, SBA=transizionale sinuoso a barre alternate, W=transizionale *wandering*, CI=canali intrecciati, A=anastomizzato

Campi applicazione: *corsi d'acqua C CS* Tipo misura: RT
 Config.fondo FR=fondo in roccia, C=colluviale, G=gradinata, LP=letto piano, RP=*riffle pool*,
 D= a dune, A=artificiale, NC=non classificabile

2.6 Pendenza del fondo

Tipo misura: RT Campi applicazione: *tutti*
 Distanza lungo alveo (m) Dislivello (m)
 Pendenza media fondo (dislivello / distanza) (m/m) **S =**

3. Configurazione sezione

3.1 Larghezza alveo

Tipo misura: IT Campi applicazione: *corsi d'acqua G (L>30 m)*

Numero misure Passo nL (m)

Larghezza alveo attivo (m) $L =$

Larghezza totale (con isole) (m) $L_t =$

Tipo misura: RT Campi applicazione: *corsi d'acqua P (L<30 m)*

Numero misure (sito) Passo nL (m)

Larghezza alveo (m) $L =$

Larghezza totale (con isole) (m) $L_t =$

3.2 Profondità alveo

Tipo misura: RT rilievo di 3 sezioni nel sito Campi applicazione: *tutti*

Profondità massima (m) $P_{max} =$

Profondità media (m) $P_{med} =$

3.3 Rapporto larghezza / profondità

Tipo misura: RT sulla base dei parametri L e Pmed determinati da rilievo di 3 sezioni nel sito

Campi applicazione: *tutti*

Rapporto larghezza / profondità $L/P =$

3.4 Variazione di quota del fondo

Tipo misura: RT Modalità: *necessari rilievi del fondo per almeno due anni diversi*

Campi applicazione: *tutti*

Lunghezza tratto con profili fondo

Coordinate estremità monte Coordinate estremità valle

Anni utilizzati I anno II anno

I anno: può essere un rilievo precedente, se disponibile, effettuato negli ultimi 10 anni

Tratto con unica tendenza

Campo di variazione

Variazione di quota del fondo media (m) $\Delta Q_f =$

ΔQ_f (m) <0 in caso di incisione e >0 in caso di sedimentazione

Tasso di variazione (ΔQ_f / differenza II e I anno) (m/a) $\Delta q_f =$

Sottotratti con tendenze diverse (progressivi verso valle)

Campo di variazione complessivo

Sottotratto	1	2	3	4	5	6
Lunghezza (%)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ΔQ_f media (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Lunghezza espressa in % rispetto a lunghezza totale confronto profili

Tendenza complessiva

Media pesata ($(I \Delta Q_f1 + \dots + In \Delta Q_fn) / Itot$) (m) $\Delta Q_f =$

Tasso di variazione (ΔQ_f / differenza II e I anno) (m/a) $\Delta q_f =$

4. Struttura e substrato alveo

4.1 Dimensioni granulometriche del fondo

Tipo misura: RT Campi applicazione: *tutti*

Metodo di campionamento PC= pebble count, VO=volumetrico

Ubicazione punto di campionamento

Coordinate estremità monte Coordinate estremità valle

Diametro mediano (mm) $D_{50} =$

Altri principali parametri

D_{16} (mm) D_{84} (mm) Dev. standard S_d (mm)

4.2 Strutture del fondo
 Tipo misura: RT Campi applicazione: corsi d'acqua con fondo ghiaioso - ciottoloso

- Corazzamento
 Numero osservazioni:
 Grado di corazzamento **Gcor** = D= debole (mobile), A=accentuato (statico)
Nel caso di Grado di corazzamento accentuato: procedere ad 1 campionamento strato superficiale e sottostrato
 Coordinate punto campionamento
 D₅₀ superficiale (mm) D₅₀ sottostrato (mm)
 Grado corazzamento (D₅₀ sup/D₅₀ sottostr.) **Gcor** =

- Clogging Osservazioni condotte lungo il sito
Clo = PS= poco significativo (<33%), I= intermedio (33-66 %), D= diffuso (>66%)

4.3 Abbondanza materiale legnoso di grandi dimensioni
 Tipo misura: RT o IT (IT nel caso di corsi d'acqua G con morfologie T o CI)
 Campi applicazione: tutti

Tratto con misure
 Coordinate estremità monte Coordinate estremità valle
 Lunghezza (m) Area alveo attivo (km²)

Numero singoli LW Numero accumuli LW
 Numero totale LW

Densità (numero / area alveo) (n km⁻²)
 singoli **D_{SLW}** =
 accumuli **D_{ALW}** =
 totale **D_{LWTOT}** =

5. Vegetazione nella fascia perfluviale

5.1 Ampiezza delle formazioni
 Tipo misura: IT Campi applicazione: tutti

Numero misure Passo nL (m)
nL: passo delle misure, con n di norma tra 0.5 e 2 ed L= larghezza (minima) dell'alveo nel tratto
 Ampiezza sx (m) Ampiezza dx (m)
 Ampiezza media sx + dx (m) **Af** =

5.2 Estensione lineare delle formazioni
 Tipo misura: IT Campi applicazione: tutti

Estensione lineare sx (m) Estensione lineare dx (m)
 Estensione lineare (Esten. sx+dx / 2 Ltr) (%) **Ef** =

Note e commenti

ELEMENTI ARTIFICIALI

Dighe

Codice elemento (codice tratto *DI+n progressivo*)

Coordinate Altezza

Tipologia G= gravità, A= arco, C= contrafforti, T= terra, AL= altro

Anno entrata in funzione

Misure passaggio sedimenti S=sghiaiatori, M=mobilizz.periodica, AL=altro, N=nessuna

Misure passaggio pesci

Stima laminazione portate picco

	da	a
$Q_{1.5}$		
Q_{10}		

Variazioni su regime idrologico annuale (se note)

Altre opere di alterazione delle portate liquide e/o solide

- Diversivi o scolmatori

Codice elemento (codice tratto *DIV o SC+n progressivo*)

Coordinate Anno entrata in funzione

Misure manutenzione sedimenti RS= rimozione sedimenti, SS= spost.sedimenti, AL= altro

Stima laminazione portate picco

	da	a
$Q_{1.5}$		
Q_{10}		

- Casse di espansione

Codice elemento (codice tratto *CE+n progressivo*)

Coordinate

Tipologia DL= derivazione laterale, L= in linea

Anno entrata in funzione Volumetria invaso

Misure manutenzione sedimenti R= rimozione periodica S= spostamento periodico, AL= altro

Stima laminazione portate picco

	da	a
$Q_{1.5}$		
Q_{10}		

Opere trasversali di trattenuta o derivazione

Codice elemento (codice tratto *OTT+n progressivo*)

Coordinate Altezza

Tipologia TD= traversa derivazione, BRT=briglia di trattenuta corpo pieno
BF= briglia filtrante, BF= briglia frangicolata

Materiale costruttivo M=massi, MU=muratura, CSL=calcestruzzo, CA=cem.armato,

Anno realizzazione

Misure manutenzione sedimenti R= rimozione periodica, S= spostamento periodico, AL= altro

Volumetria vasca deposito Misure passaggio pesci

Codice elemento (codice tratto *OTT+n progressivo*)

Coordinate Altezza

Tipologia TD= traversa derivazione, BRT=briglia di trattenuta corpo pieno
BF= briglia filtrante, BF= briglia frangicolata

Materiale costruttivo M=massi, MU=muratura, CSL=calcestruzzo, CA=cem.armato,

Anno realizzazione

Misure manutenzione sedimenti R= rimozione periodica, S= spostamento periodico, AL= altro

Volumetria vasca deposito Misure passaggio pesci

Note e commenti

<u>Opere trasversali di consolidamento</u>	
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_OTC+n progressivo)
Coordinate	<input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> Altezza <input type="text"/>
	BRC=briglia di consolidamento, S=soglia, RM=rampa in massi
Materiale costruttivo	<input type="text"/> M=massi, MU=muratura, CSL=calcestruzzo, CA=cem.armato, L=legname, MI=mista
Anno realizzazione	<input type="text"/>
Misure manutenzione sedimenti	<input type="text"/> R= rimozione periodica, S= spostamento periodico, AL= altro
Misure passaggio pesci	<input type="text"/>
<u>Opere trasversali di consolidamento</u>	
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_OTC+n progressivo)
Coordinate	<input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> Altezza <input type="text"/>
	BRC=briglia di consolidamento, S=soglia, RM=rampa in massi
Materiale costruttivo	<input type="text"/> M=massi, MU=muratura, CSL=calcestruzzo, CA=cem.armato, L=legname, MI=mista
Anno realizzazione	<input type="text"/>
Misure manutenzione sedimenti	<input type="text"/> R= rimozione periodica, S= spostamento periodico, AL= altro
Misure passaggio pesci	<input type="text"/>
<u>Opere trasversali di consolidamento</u>	
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_OTC+n progressivo)
Coordinate	<input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> Altezza <input type="text"/>
	BRC=briglia di consolidamento, S=soglia, RM=rampa in massi
Materiale costruttivo	<input type="text"/> M=massi, MU=muratura, CSL=calcestruzzo, CA=cem.armato, L=legname, MI=mista
Anno realizzazione	<input type="text"/>
Misure manutenzione sedimenti	<input type="text"/> R= rimozione periodica, S= spostamento periodico, AL= altro
Misure passaggio pesci	<input type="text"/>

<u>Opere di attraversamento</u>	
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_OA+n progressivo)
Coordinate	<input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> PO=ponte, GU=guado, TO=tombino
Materiale costruttivo	<input type="text"/> M=massi, MU=muratura, CSL=calcestruzzo, CA=cem.armato, L=legname, MI=mista
Numero pile	<input type="text"/> (nel caso di ponte) Anno realizzazione <input type="text"/>
<u>Opere di attraversamento</u>	
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_OA+n progressivo)
Coordinate	<input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> PO=ponte, GU=guado, TO=tombino
Materiale costruttivo	<input type="text"/> M=massi, MU=muratura, CSL=calcestruzzo, CA=cem.armato, L=legname, MI=mista
Numero pile	<input type="text"/> (nel caso di ponte) Anno realizzazione <input type="text"/>
<u>Opere di attraversamento</u>	
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_OA+n progressivo)
Coordinate	<input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> PO=ponte, GU=guado, TO=tombino
Materiale costruttivo	<input type="text"/> M=massi, MU=muratura, CSL=calcestruzzo, CA=cem.armato, L=legname, MI=mista
Numero pile	<input type="text"/> (nel caso di ponte) Anno realizzazione <input type="text"/>

Note e commenti

Difese di sponda	
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_DS+n progressivo)
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)
Coordinate	estr.monte <input type="text"/> estr.valle <input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> M= muro, MA= massi, G= gabbioni, PE=pennelli, IN= Ingegneria Naturalistica, AL= altro, R= con rinverdimento
Dimensioni: Lunghezza (m)	<input type="text"/> Altezza (m) <input type="text"/>
Anno realizzazione	<input type="text"/>
Pennelli: Disp.planimetrica	<input type="text"/> N= normale corrente, M= verso monte, V= verso valle
Tipologia	<input type="text"/> AS= asta semplice, H= a hockey, B= a baionetta
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_DS+n progressivo)
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)
Coordinate	estr.monte <input type="text"/> estr.valle <input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> M= muro, MA= massi, G= gabbioni, PE=pennelli, IN= Ingegneria Naturalistica, AL= altro, R= con rinverdimento
Dimensioni: Lunghezza (m)	<input type="text"/> Altezza (m) <input type="text"/>
Anno realizzazione	<input type="text"/>
Pennelli: Disp.planimetrica	<input type="text"/> N= normale corrente, M= verso monte, V= verso valle
Tipologia	<input type="text"/> AS= asta semplice, H= a hockey, B= a baionetta
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_DS+n progressivo)
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)
Coordinate	estr.monte <input type="text"/> estr.valle <input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> M= muro, MA= massi, G= gabbioni, PE=pennelli, IN= Ingegneria Naturalistica, AL= altro, R= con rinverdimento
Dimensioni: Lunghezza (m)	<input type="text"/> Altezza (m) <input type="text"/>
Anno realizzazione	<input type="text"/>
Pennelli: Disp.planimetrica	<input type="text"/> N= normale corrente, M= verso monte, V= verso valle
Tipologia	<input type="text"/> AS= asta semplice, H= a hockey, B= a baionetta

Arginature	
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_AR+n progressivo)
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)
Coordinate	estr.monte <input type="text"/> estr.valle <input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> T= in terra, MA= mura arginali, SO= sovrizzo
Dimensioni: Lunghezza (m)	<input type="text"/> Altezza (m) <input type="text"/>
Anno realizzazione	<input type="text"/>
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_AR+n progressivo)
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)
Coordinate	estr.monte <input type="text"/> estr.valle <input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> T= in terra, MA= mura arginali, SO= sovrizzo
Dimensioni: Lunghezza (m)	<input type="text"/> Altezza (m) <input type="text"/>
Anno realizzazione	<input type="text"/>
Codice elemento	<input type="text"/> (codice tratto_AR+n progressivo)
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)
Coordinate	estr.monte <input type="text"/> estr.valle <input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/> T= in terra, MA= mura arginali, SO= sovrizzo
Dimensioni: Lunghezza (m)	<input type="text"/> Altezza (m) <input type="text"/>
Anno realizzazione	<input type="text"/>

Note e commenti

<u>Variazioni di tracciato o modifica di forme fluviali nella pianura</u>			
- <i>Variazioni tracciato</i>			
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_VT+n progressivo)	
Coordinate	estr.monte <input type="text"/>	estr.valle	<input type="text"/>
Tipo variazione <input type="text"/>			
Riduzione lunghezza corso d'acqua (m)		da <input type="text"/>	a <input type="text"/>
- <i>Modifica forma fluviale</i>			
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_MFF+n progressivo)	
Forma fluviale originaria	<input type="text"/>	LMA= laghetto meandro abbandonato, CS= canale secondario, altro (descrivere)	Anno <input type="text"/>
Tipologia intervento	<input type="text"/>	E= eliminazione, R= riduzione, M= modifica	
Riduzione areale forma fluviale (m ²)		da <input type="text"/>	a <input type="text"/>

<u>Variazioni areali della fascia erodibile</u>			
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_VFE+n progressivo)	
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)	Riduzione areale della fascia erodibile (km ²)	<input type="text"/>
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_VFE+n progressivo)	
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)	Riduzione areale della fascia erodibile (km ²)	<input type="text"/>

<u>Rivestimenti del fondo</u>			
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_RF+n progressivo)	
Coordinate	estr.monte <input type="text"/>	estr.valle	<input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/>	C= cunettone, RM= rivestimento con massi, AL= altro	
Lunghezza tratto interessato (m)		Anno intervento <input type="text"/>	

<u>Interventi di rimozione di sedimenti e/o ricalibratura dell'alveo</u>			
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_IRS+n progressivo)	
Coordinate	estr.monte <input type="text"/>	estr.valle	<input type="text"/>
Tipologia	<input type="text"/>	RS=rimozione sedimenti, MF=modellam.fondo, RS=riprofil.sponde, AL=altro	
Dimensioni:	lunghezza (m)	abbassamento fondo (m)	<input type="text"/>
Volume sedimenti rimossi (m ³) (se disponibile)		Anno intervento <input type="text"/>	

<u>Interventi di rimozione del materiale legnoso in alveo</u>			
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_IRLW+n progressivo)	
Coordinate	estr.monte <input type="text"/>	estr.valle	<input type="text"/>
Lunghezza tratto interessato (m)		<input type="text"/>	
Stima volumi asportati (m ³) (se disponibile)		Anno intervento <input type="text"/>	

<u>Taglio di vegetazione nella fascia perifluviale</u>			
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_TVP+n progressivo)	
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)		
Coordinate	estr.monte <input type="text"/>	estr.valle	<input type="text"/>
Lunghezza tratto interessato (m)		Anno intervento <input type="text"/>	
Codice elemento	<input type="text"/>	(codice tratto_TVP+n progressivo)	
Posizione	<input type="text"/> (Dx, Sx)		
Coordinate	estr.monte <input type="text"/>	estr.valle	<input type="text"/>
Lunghezza tratto interessato (m)		Anno intervento <input type="text"/>	

Note e commenti			

BIBLIOGRAFIA

- ABBE T.B. & MONTGOMERY D.R. (2003) – *Patterns and process of wood debris accumulation in the Queets River basin, Washington*. *Geomorphology*, 51, 81-107.
- ANDREWS E.D. (1983) - *Entrainment of gravel from naturally sorted riverbed material*. *Geological Society of American Bulletin*, 94, 1225-1231.
- ANDREWS E.D. & PARKER G. (1987) - *The coarse surface layer as a response to gravel mobility*. In: C.R.Thorne, J.C.Bathurst & R.D.Hey (eds), “Sediment Transport in Gravel-bed Rivers”, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, U.K., 269-325.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2008) – *Il recupero morfologico ed ambientale del Fiume Po. Il contributo del programma generale di gestione dei sedimenti del Fiume Po*. Edizioni Diabasis, 50 pp.
- BARTHOLDY J. & BILLI P. (2002) - *Morphodynamics of a pseudomeandering gravel bar reach*. *Geomorphology*, 42, 293–310.
- BARUFFI F., RUSCONI A. & SURIAN N. (2005) – *Le fasce di pertinenza fluviale nella pianificazione dei bacini idrografici: aspetti metodologici ed applicazioni*. Atti Convegno Interpraevent, Riva del Garda, Maggio 2004.
- BENDA L., MILLER D., SIAS J., MARTIN D., BILBY R., VELDHUISEN C. & DUNNE T. (2003) – *Wood recruitment processes and wood budgeting*. In: Gregory S., Boyer K. & Gurnell A. (Eds), *The Ecology and Management of Wood in World Rivers*, American Fisheries Society Symposium 37, American Fisheries Society, 49-73.
- BENINI G. (1990) – *Sistemazioni idraulico-forestali*, Utet, 283 pp.
- BERTOLDI W., GURNELL A., SURIAN N., TOCKNER K., ZANONI L., ZILIANI L., ZOLEZZI G. (2009) – *Understanding reference processes: linkages between river flows, sediment dynamics and vegetated landforms along the Tagliamento River, Italy*. *River Research and Applications*, 25, 501-516.
- BIEDENHARN D.S., THORNE C.R., SOAR P.J., HEY R.D. & WATSON C.C. (2001) – *Effective discharge calculation guide*. *Int.J.Sediment Res.*, 16(4), 445-459.
- BILLI P. (1988) - *Morfologie fluviali*. *Giornale di Geologia, Serie 3a* 50(1 – 2), 27 – 38.
- BRICE J.C. (1975) - *Airphoto interpretation of the form and behaviour of alluvial rivers*. Report to the U.S.Army Research Office.
- BRICE JC. (1984) - *Planform properties of meandering rivers*. In *River Meandering, Proceedings Conference on Rivers '83*, Elliott CM (ed.). ASCE: New York; 1 – 15.
- BRICE J.C. & BLODGETT J.C. (1978) - *Counter measures for Hydraulic Problems at Bridges. Analysis and Assessment*, 1, Report No.FHWA-RD-78-162, Fed.Highway Admin., Washington, DC, 169 pp.
- BRIERLEY G.J. & FRYIRS K.A. (2005) – *Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, 398 pp.
- BRIERLEY G.J. & FRYIRS K.A. (2008) (Eds) – *River Futures. An Integrative Scientific Approach to River Repair*. Society for Ecological Restoration International, Island Press, 304 pp.
- BROOKES A. (1988) - *Channelized Rivers. Prospectives for Environmental Management*. John Wiley & Sons, 326 pp.
- BUFFAGNI A., ERBA S. & CIAMPITIELLO M. (2005) – *Il rilevamento idromorfologici e degli habitat fluviali nel contesto della direttiva europea sulle acque (WFD): principi e schede di applicazione del metodo Caravaggio* - *Notiziario dei metodi analitici*, 2, Istituto di Ricerca sulle Acque, CNR IRSA, 32-34.

- BUNTE K. & ABT S.R. (2001) – *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-74, 428 pp.
- BUNTE K. & ABT S.R. (2001) – *Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring*. U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-74, 428 pp.
- CASTIGLIONI, G.B. & PELLEGRINI, G.B. (a cura di) (2001) – *Note illustrative della Carta geomorfologica della Pianura Padana*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., IV. 207 pp.
- CHANDESRIS A., MENGIN N., MALAVOI J.R., SOUCHON Y., PELLA H., WASSON J.G. (2008) – *Système Relationnel d’Audit de l’Hydromorphologie des Cours d’Eau. Principes et methodes, v3.1*. Cemagref, Lyon Cedex, 81 pp.
- CHANDESRIS A., MENGIN N., MALAVOI J.R., SOUCHON Y., PELLA H., WASSON J.G. (2009a) – *Système Relationnel d’Audit de l’Hydromorphologie des Cours d’Eau. Atlas a large echelle, v2.0*. Cemagref, Lyon Cedex, 58 pp.
- CHANDESRIS A., MALAVOI J.R., MENGIN N., WASSON J.G., SOUCHON Y. (2009b) – *Hydromorphology auditing: a generalized framework at a nation scale to view streams and rivers in their landscape context*. 7th ISE & 8th HIC Conference, Chile 2009, 9 pp.
- CHURCH M.A. (1983) - *Pattern of instability in a wandering gravel bed channel*. In: J.D.Collison & J.Lewin (eds), “Modern and Ancient Fluvial Systems”, IAS, Spec.Publ. 6, 169-180.
- CHURCH M.A. (1992) - *Channel Morphology and Typology*. In: P.Callow and Petts, G.E. (Eds), *The Rivers Handbook*, Oxford, Blackwell, 126-143.
- CHURCH M.A., MCLEAN D.G. & WOLCOTT J.F. (1987) - *River bed gravels: sampling and analysis*. In: C.R.Thorne, J.C.Bathurst & R.D.Hey (eds), “Sediment Transport in Gravel-bed Rivers”, John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, U.K., 43-88.
- CHURCH M., HAM D. & WEATHERLY H. (2001) – *Gravel management in lower Fraser River. Final Report for The City of Chilliwack*, <http://www.geog.ubc.ca/fraserriver/publications.html>, 110 pp.
- CIRF (2006) – *La riqualificazione fluviale in Italia. Linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d’acqua e il territorio*. A cura di: A.Nardini & Sansoni G., Mazzanti Editori, Venezia, 832 pp.
- CLARKE S.J., BRUC-BURGESS L., AND WHARTON G. (2003) - *Linking form and function: towards an eco-hydromorphic approach to sustainable river restoration*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13, 439-450.
- COLLINS B.D. & DUNNE T. (1989) - *Gravel transport, gravel harvesting, and channel-bed degradation in rivers draining the southern Olympic Mountains, Washington, U.S.A*. *Environ.Geol.Water Sci.*, 13 (3), 213-224.
- COLOMBO A. & FILIPPI F. (2009) - *La conoscenza delle forme e dei processi fluviali per la gestione dell’assetto morfologico del fiume Po*. Atti del XVIII Congresso della Società Italiana di Ecologia, Parma, 1-3 settembre 2008, in stampa.
- COSTA J.E. (1975) - *Effects of agriculture on erosion and sedimentation in Piedmont province, Maryland*. *Bull.Geol.Soc.Am.*, 86, 1281-1286.
- COTTON C.A. (1940) – *Classification and correlation of river terraces*. *J.Geomorph.*, 3, 27-37.

- DA DEPPO L., DATEI C., & SALANDIN P. (2004) - *Sistemazione dei corsi d'acqua*. Cortina editore, Padova, 815 pp.
- D'AGOSTINO V. (2009) - *Filtering-retention check dam design in mountain torrents*. In: Conesa-Garcia C. and Lenzi M.A. (Eds), *Check dams. Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams*, in stampa.
- DANIELS R.B. (1960) - *Entrenchment of the Willow Creek Drainage Ditch, Harrison County, Iowa*. *American Journal of Science*, 258, 161-176.
- DOWNES P.W. & THORNE C.R. (1996) - *A geomorphological justification of river channel reconnaissance survey*. *Trans.Inst.Br.Geogr.*, NS 21, 455-468.
- DUFOUR S. & PIÉGAY H. (2009) - *From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: forget natural references and focus on human benefits*. *River Research and Applications*, 25, 568-581.
- ENVIRONMENT AGENCY (1998) - *River Geomorphology: a practical guide*. Environment Agency, Guidance Note 18, National Centre for Risk Analysis and Options Appraisal, London, 56 pp.
- EUROPEAN COMMISSION (2000) - *Directive 2000/60 EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*. *Official Journal L 327*, 22/12/2000, 73 pp.
- FAIRBRIDGE R.W. (1969) - *The Encyclopedia of Geomorphology*. Reinhold Book Corp., 1117-1138.
- FERRO V. (2006) - *La sistemazione dei bacini idrografici*. McGraw-Hill, 848 pp.
- FLORSHEIM J.L., MOUNT J.F. & CHIN A. (2008) - *Bank erosion as a desirable attribute of rivers*. *BioScience*, 58 (6), 519-529.
- GRANT G.E., SWANSON F.J. & WOLMAN M.G. (1990) - *Pattern and origin of stepped-bed morphology in high gradient streams, Western Cascades, Oregon*. *Bulletin of the Geological Society of America*, 102, 340-354.
- GREGORY D.I. (1984) - *Response of a meandering river to artificial modifications*. In: C.M.Elliott (ed), *River Meandering*, Proc.Conf.Rivers'83, ASCE, New York, 399-409.
- GREGORY K.J. & PARK C.C. (1974) - *Adjustment of river channel capacity downstream from a reservoir*. *Water Resources Research*, 10 (4) , 870-873.
- GURNELL A.M., PIÉGAY H., SWANSON F.J. & GREGORY S.V. (2003) - *Large wood and fluvial processes*. *Freshwater Biology*, 47, 601-619.
- GURNELL A., TOCKNER K., EDWARDS P. & PETTS G. (2005) - *Effects of deposited wood on biocomplexity of river corridors* - *Front.Ecol.Environ.*, 3 (7), 377-382.
- GURNELL A., TUBINO M., TOCKNER K. (2009) - *Linkages and feedbacks in highly dynamic alpine fluvial systems*. *Aquatic Science*, 71(3), 251-252.
- HAM D.G. & CHURCH M. (2000) - *Bed-material transport estimated from channel morphodynamics: Chilliwack River, British Columbia*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1123-1142.
- HASSAN M. A. (2005) - *Characteristics of gravel bars in ephemeral streams*. *J. Sediment. Res.*, 75, 29 – 42.
- HASSAN M.A., EGOZI R. & PARKER G. (2006) - *Experiments on the effect of hydrograph characteristics on vertical grain sorting in gravel bed rivers*. *Water Resources Research*, 42.
- HUPP C.R. (1999) - *Relations among riparian vegetation, channel incision processes and forms, and large woody debris*. In: Darby S.E. & Simon A. (Eds), *Incised River Channels*, John Wiley & Sons, 219-245.
- HUPP C.R. & OSTERKAMP W.R. (1996) - *Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes* - *Geomorphology*, 14, 277-295.

- HUPP C.R. & RINALDI M. (2007) – *Riparian vegetation patterns in relation to fluvial landforms and channel evolution along selected rivers of Tuscany (Central Italy)* - Annals of the Association of American Geographers, 97 (1), 12-30.
- INGLIS C.C. (1949) - *The behaviour and controls of rivers and canals*. Central Waterpower Irrigation and Navigation Research Station, Poona, India Research Publication 13, 283 pp.
- ISPRA (2009) - *Implementazione della Direttiva 2000/60/CE - Analisi e valutazione degli aspetti idromorfologici*. <http://www.sintai.sinanet.apat.it/view/index.faces>.
- KAIL J., HERING D. (2009) - The influence of adjacent stream reaches on the local ecological status of Central European mountain streams. *River Research and Applications*, 25(5), 537-550.
- KELLERHALS R. (1982) - *Effects of river regulation on channel stability*. In: R.D.Hey, J.C.Bathurst & C.R.Thorne (eds), "Gravel-bed Rivers", Wiley, Chichester, 685-715.
- KELLERHALS R., CHURCH M. & BRAY D.I. (1976) - *Classification and analysis of river processes*. *J.Hydraul.Div., ASCE*, 102, No.HY7.
- KNOX J.C. (1977) - *Human impacts on Wisconsin stream channels*. *Annals of the Association of American Geographers*, 67, 323-342.
- KONDOLF G.M. (1994) - *Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining*. *Landscape and Urban Planning*, 28, 225-243.
- KONDOLF G.M. (1995) – *Geomorphological stream channel classification in aquatic habitat restoration: uses and limitations*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 5, 127-141.
- LANE E.W. (1955) - *Design of stable channels*. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 120, 1-34.
- LAWLER D.M. (1992) - Process dominance in bank erosion systems. In: P.A.Carling & G.E.Petts (eds), "Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives", Wiley, 117-143.
- LENZI M.A., D'AGOSTINO V. & SONDA D. (2000) – *Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti. Criteri metodologici ed esecutivi*. Editoriale Bios, 208 pp.
- LENZI M.A., MAO L., & COMITI F. (2006) – *Effective discharge for sediment transport in a mountain river: computational approaches and geomorphic effectiveness*. *Journal of Hydrology*, 326, 257-276.
- LEOPOLD L.B. & WOLMAN M.G. (1957) - *River channel patterns: braided, meandering and straight*. *US.Geol.Surv., Prof.Paper*, 282-B, 39-85.
- LEOPOLD L.B., WOLMAN M.G. & MILLER J.P. (1964) - *Fluvial processes in geomorphology*. Freeman, S.Francoisco.
- LIEBAULT F. & PIEGAY H. (2001) - *Assessment of channel changes due to long-term bedload supply decrease, Roubion River, France* – *Geomorphology*, 36, pp. 167-186.
- LU X.X., ZHANG S.R., XIE S.P. & MA P.K. (2007) – *Rapid channel incision of the lower Pearl River (China) since the 1990s as a consequence of sediment depletion* – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, pp. 1897-1906.
- LUPPI L., RINALDI M., TERUGGI L.B., DARBY S.E., NARDI L. (2009) – *Monitoring and numerical modelling of riverbank erosion processes: a case study along the Cecina River (Central Italy)*. *Earth Surface Processes and Landforms*. DOI: 10.1002/esp.1754, Vol.34 (4), 530-546.
- MACKIN J.H. (1948) - *Concept of the graded river*. *Geol.Soc.Am.Bull.*, 59, 463-512.

- MALAVOI J.R., BRAVARD J.P., PIEGAY H., HEROUIN E., RAMEZ P. (1998) - *Determination de l'espace de liberte' des cours d'eau*. Guide technique no. 2, SDAGE RMC, 39 pp.
- MCLEAN D.G. & CHURCH M. (1999) – *Sediment transport along lower Fraser River. 2. Estimates based on long-term gravel budget*. Water Resources Research, 35 (8), 2549-2559.
- MOLLARD J.D. (1973) - *Air photo interpretation of fluvial features*. Proceedings of the Symposium on Fluvial Processes and Sedimentation, Hydrology Symposium No.9, Inland Waters Directorate, Canada Department of the Environment.
- MONTGOMERY D.R. & BUFFINGTON J.M. (1997) – *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*. Geological Society of America Bulletin, 109 (5), 596-611.
- NANSON G.C. & CROKE J.C. (1992) – *A genetic classification of floodplains*. Geomorphology, 4, 459-486.
- 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.
- OLLERO OJEDA A., BALLARÍN FERRER D., DÍAZ BEA E., MORA MUR D., SÁNCHEZ FABRE M., ACÍN NAVERAC V., ECHEVERRÍA ARNEDO M.T., GRANADO GARCÍA D., IBISATE GONZÁLEZ DE MATAUCO A., SÁNCHEZ GIL L., SÁNCHEZ GIL N. (2007) - *Un indice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales*. Geographicalia, 52, 113-141.
- PALMER M.A., BERNHARDT E.S., ALLAN J.D., LAKE P.S., ALEXANDER G., BROOKS S., CARR J., CLAYTON S., DAHM C.N., SHAH J.F., GALAT D.L., LOSS S.G., GOODWIN P., HART D.D., HASSETT B., JENKINSON R., KONDOLF G.M., LAVE R., MEYER J.L., O'DONNELL T.K., PAGANO L. & SUDDUTH E. (2005) - *Standard for ecologically successful river restoration*. Journal of Applied Ecology, 42: 208-217.
- PAOLETTI A., BRAGA G., COLOMBO A., CROCI S., PEDUZZI G.B., SAVAZZI G. (2007) - *La gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo inciso del fiume Po*. Acqua Aria n. 2.
- PARKER G., KLINGEMAN P.C., MCLEAN D.G. (1982) – *Bed load and size distribution in paved gravel-bed streams*. J.Hydraul.Div. ASCE, 108 (HY4), 544-571.
- 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.
- PETTS G.E. (1984) - *Impounded Rivers: perspective for ecological management*. Wiley-Interscience Publication, 326 pp.
- PIÉGAY H, DARBY SE, MOSSELMAN E, SURIAN N. 2005. *A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion*. River Research and Applications, 21, 773-789.
- RAVEN P.J., 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 Stationary Office, Edinburgh, 215-234.
- RINALDI M. (2003) – *Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy*. Earth Surface Processes and Landforms, 28 (6), 587-608.
- RINALDI M. (2006) – *La prospettiva geomorfologica e le applicazioni nella gestione degli alvei fluviali*. Atti Giornate di Studio “Nuovi approcci per la comprensione

- dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra.” Sarzana, 24-25 Ottobre 2006, Autorità di Bacino del Fiume Magra, 39-58.
- RINALDI M. (2008) – *Schede di rilevamento geomorfologico di alvei fluviali*. Il Quaternario, 21(1B), 353-366.
- RINALDI M. & DAPPORTO S. (2005) – *Monitoraggio e analisi dei processi di arretramento e dei meccanismi di instabilità di sponde fluviali*. In: M.Brunelli & P.Farabollini (Eds), *Dinamica Fluviale, Atti Giornate di Studio sulla Dinamica Fluviale*, Grottammare, Giugno 2002, Ordine dei Geologi Marche, 165-201.
- RINALDI M. & SURIAN N. (2005) – *Variazioni morfologiche ed instabilità di alvei fluviali: metodi ed attuali conoscenze sui fiumi italiani*. In: M.Brunelli & P.Farabollini (Eds), *Dinamica Fluviale, Atti Giornate di Studio sulla Dinamica Fluviale*, Grottammare, Giugno 2002, Ordine dei Geologi Marche, 203-238.
- RINALDI M. & SIMONCINI C. (2006) - *Studio geomorfologico del Fiume Magra e del Fiume Vara finalizzato alla gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità* - Autorità di Bacino del Fiume Magra, Giornata di studio “Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti”, Sarzana (SP), 24-25 Ottobre 2006, pp. 93-109.
- RINALDI M. & DARBY S.E. (2008) – *Modelling river-bank-erosion processes and mass failure mechanisms: progress towards fully coupled simulations*. In: Habersack H., Piégay H. & Rinaldi M. (Eds), *Gravel-Bed Rivers 6 - From Process Understanding to River Restoration*. Series Developments in Earth Surface Processes, 11, Elsevier, Netherlands, 213-239.
- RINALDI M., CASAGLI N., DAPPORTO S., GARGINI A. (2004) – *Monitoring and modelling of pore water pressure changes and riverbank stability during flow events*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29 (2), 237-254.
- RINALDI M., SIMONCINI C. & SOGNI D. (2005) - *Variazioni morfologiche recenti di due alvei ghiaiosi appenninici: il Fiume Trebbia ed il Fiume Vara* - *Supplementi di Geogr. Fis. e Dinam. Quat.*, VII, pp. 313-319.
- RINALDI M., MENGONI B., LUPPI L., DARBY S.E., MOSSELMAN E. (2008) – *Numerical simulation of hydrodynamics and bank erosion in a river bend*. *Water Resources Research*, 44, W09429, doi:10.1029/2008WR007008.
- RINALDI M., TERUGGI L.B., SIMONCINI C., NARDI L. (2008) - *Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale*. Il Quaternario, 21(1B), 291-302.
- RINALDI M., SIMONCINI C. & PIÉGAY H. (2009a) - *Scientific design strategy for promoting sustainable sediment management: The case of the Magra River (Central-Northern Italy)*. *River Research and Applications*, in stampa.
- RINALDI M., BECCHI I., BETTI M., VERGARO A., COMITI F. (2009b) – *Schede di rilevamento di detriti legnosi in alvei fluviali*. In Guarnieri L., Leone L. M., Preti F. (eds.), *Vegetazione in ambito fluviale applicabile ai corsi d'acqua naturali e canali di bonifica - Volume 1*, Pubblicazione del Corso di Formazione e Aggiornamento Professionale “Gestione della vegetazione ripariale dei corsi d'acqua naturali e dei canali di bonifica”, Regione Toscana, Collana Fiumi e Territorio, in stampa.
- ROSGEN D.A. (1994) – *A stream classification system*. *Catena*, 22, 169-199.
- RUST B.R. (1978) - *A classification of alluvial systems*. In: A.D. Miall (ed), “*Fluvial Sedimentology*”, *Can.Soc.Petroleum Geol., Memoir* 5, 187-198.
- SCHUMM S.A. (1977) - *The Fluvial System*. Wiley, New York, 338 pp.
- SCHUMM S.A. (1985) – *Patterns of alluvial rivers*. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, 13, 5-27.

- SCHUMM S.A. & LICHTY R.W. (1965) - *Time, space and casuality in geomorphology*. American Journal of Science, 263, 110-119.
- SCHUMM S.A., HARVEY M.D. & WATSON C.C. (1984) - *Incised Channels: Initiation, Evolution, Dynamics, and Control*. Water Resources Publication, Littleton, Colorado, 200 pp.
- SEAR D.A. & ARCHER D. (1998) - *Effects of gravel extraction on stability of gravel-bed rivers: the Wooler Water, Nothumberland, UK*. In: Klingeman, P.C., Beschta, R.L., Komar, P.D., Bradley, J.B. (Eds.), *Gravel-bed Rivers in the Environment*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, pp. 415-432.
- SEAR D.A., NEWSON M.D. & BROOKES A. (1995) – *Sediment-related river maintenance: the role of fluvial geomorphology*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20, 629-647.
- SEAR D.A., NEWSON M.D. & THORNE C.R. (2003) – *Guidebook of Applied Fluvial Geomorphology*. Defra/Environment Agency Flood and Coastal Defence R&D Programme, R&D Technical Report FD1914, 233 pp.
- SENNATT K.M., SALANT N.L., RENSCHAW C.E. & MAGILLIGAN F.J. (2008) – *Assessment of methods for measuring embeddedness: application to sedimentation in flow regulated streams*. *Journal of American Water Resources Association*, 42 (6), 1671-1682.
- SHIELDS F.D. JR., COPELAND R.R., KLINGEMAN P.C., DOYLE M.W. & SIMON A. (2003) – *Design for stream restoration*. *Journal of Hydraulic Engineering*, 575-584.
- SILIGARDI *et al.* (2007) – *IFF2007, Indice di Funzionalità Fluviale. Nuova versione del metodo revisionata e aggiornata*. Manuale APAT 2007, 321 pp.
- SIMON A. (1989) - *A model of channel response in disturbed alluvial channels*. *Earth Surf. Process. Landforms* 14, 11-26.
- SIMON A. (1992) – *Energy, time, and channel evolution in catastrophically disturbed fluvial systems*. *Geomorphology*, 5, 345-372.
- SIMON A., HUPP C.R. (1986) - *Channel widening characteristics and bank slope development along a reach of Cane Creek, West Tennessee*. In: Subitzky, S. (Ed.), *Selected Papers in Hydrologic Sciences*, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2290, pp. 113-126.
- SIMON A. & DARBY S.E. (1997) – *Process-form interactions in unstable sand-bed river channels: a numerical modelling approach*. *Geomorphology*, 21, 85-106.
- SIMON A. & DARBY S.E. (1999) – *The nature and significance of incised river channels*. In: Darby S.E. & Simon A. (Eds), *Incised River Channels. Processes, Forms, Engineering and Management*, John Wiley & Sons, 3-18.
- SIMON A. & CASTRO J. (2003) – *Measurement and analysis of alluvial channel form*. In: Kondolf G.M. & Piégay H. (Eds), *Tools in Fluvial Geomorphology*, 291-322.
- SIMON A. & RINALDI M. (2006) – *Disturbance, stream incision, and channel evolution: the roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response*. *Geomorphology*, 79, 361-383.
- SIMON A., DICKERSON W. & HEINS A. (2004) – *Suspended-sediment transport rates at the 1.5-year recurrence interval for ecoregions of the United States: transport conditions at the bankfull and effective discharge?* *Geomorphology*, 58, 243-262.
- SIMON A., 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.

- SURIAN N. (2006) - *Effects of human impact on braided river morphology: examples from Northern Italy* - In: SAMBROOK SMITH G.H., BEST J.L., BRISTOW C. & PETTS G.E. (Eds.), *Braided Rivers*, IAS Special Publication 36, Blackwell Science, pp. 327-338.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2003) – *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy*. *Geomorphology*, 50 (4), 307-326.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2004) - *Channel adjustments in response to human alteration of sediment fluxes: examples from Italian rivers* - In: GOLOSOV V., BELYAEV V. & WALLING D.E. (Eds.), *Sediment transfer through the fluvial system*, IAHS Publ. 288, pp. 276-282.
- SURIAN N. & CISOTTO A. (2007) - *Channel adjustments, bedload transport and sediment sources in a gravel-bed river, Brenta River, Italy* - *Earth Surf. Process. and Landforms*, 32, pp. 1641-1656.
- SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., AUDISIO C., MARAGA F., TERUGGI L., TURITTO O. & ZILIANI L. (2009a) – *Channel adjustments in northern and central Italy over the last 200 years*. In: James L.A., Rathburn S.L., Whittecar G.R. (eds.), *Management and Restoration of Fluvial Systems with Broad Historical Changes and Human Impacts*, Geological Society of America Special Paper 451, in stampa.
- SURIAN N., MAO L., GIACOMIN M. & ZILIANI L., (2009b) - *Morphological effects of different channel-forming discharges in a gravel-bed river*. *Earth Surface Processes and Landforms*, DOI:10.1002/esp.1798, in stampa.
- SURIAN N., ZILIANI L., COMITI F., LENZI M.A., MAO L. (2009c) - *Channel adjustments and alteration of sediment fluxes in gravel-bed rivers of north-eastern Italy: potentials and limitations for channel recovery*. *River Research and Applications*, 25, 551-567, DOI: 10.1002/rra.1231.
- SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., con il contributo di Audisio C., Barbero G., Cibien L., Cisotto A., Duci G., Maraga F., Nardi L., Simoncini C., Teruggi L.B., Turitto O., Ziliani L. (2009d) – *Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*. CLEUP, Padova, 78 pp.
- TERUGGI L.B. & BILLI P. (1998) - *Sedimentology of a pseudomeandering river (Cecina R., central Italy)*. *Giornale di Geologia* 59 (1 – 2): 267 – 272.
- THORNE, C.R. (1982) - *Processes and mechanisms of river bank erosion*. In: Hey, R.D., Bathurst, J.C., Thorne, C.R. (Eds), *Gravel-bed Rivers*, Wiley, Chichester, 227-271.
- THORNE C.R. (1997) – *Channel types and morphological classification*. In: C.R. Thorne, R.D. Hey and M.D. Newson (Eds), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, Wiley, 175-222.
- THORNE C.R. (1998) - *Stream Reconnaissance Handbook*. Geomorphological investigation and analysis of river channels, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 133 pp.
- THORNE C.R. & EASTON K. (1994) – *Geomorphological reconnaissance of the River Sence, Leicestershire for river restoration*. *The East Midland Geographer*, 17, 40-50.
- VALETTE L., CHANDESIS A., MENGIN N., MALAVOI J.R., SOUCHON Y., WASSON J.G. (2008) – *Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau SYRAH CE. Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique*. Cemagref, Lyon Cedex (France), 27 pp.
- WALLERSTEIN N., THORNE C.R. & DOYLE M.W. (1997) - *Spatial distribution and impact of large woody debris in northern Mississippi*. In: Wang, S.S.Y., Langendoen, E.J., Shields, F.D. Jr., (Eds.), *Management of Landscapes Disturbed*

- by Channel Incision, Stabilization, Rehabilitation, Restoration, Center for the Computational Hydroscience and Engineering, University of Mississippi, Oxford, MS, 145-150.
- WATSON C.C., HARVEY M.D. & GARBRECHT J. (1986) – *Geomorphic-hydraulic simulation of channel evolution*. Proceedings of the 4th Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, da 5-21 a 5-30.
- WILCOCK P.R. & 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.
- WINTERBOTTOM S.J. (2000) - *Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland* – Geomorphology, 34, pp. 195-208.
- 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.
- WOHL E.E. (2000) – *Mountain rivers*. American Geophysical Union, Washington DC, 320 pp.
- WOHL E.E., TINKLER K.J – (1998) *Rivers over rock: Fluvial processes in bedrock channels*. American Geophysical Union, Washington DC, 323 pp.
- WOLMAN M.G. & MILLER J.P. (1960) - *Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes*. Journal of Geology, 68, no.1, 54-74.
- XU JIONGXIN (1997) - *Evolution of mid-channel bars in a braided river and complex response to reservoir construction: an example from the middle Hanjiang River, China* - Earth Surf. Process. and Landforms, 22, 953-965.

© ISPRA 2010

ISBN: 978-88-448-0438-1