



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Monitoraggio della qualità morfologica dei corsi d'acqua

1. Premessa

Nel 2010 ISPRA ha pubblicato il metodo per la valutazione della qualità morfologica dei corsi d'acqua basato sull'Indice di Qualità Morfologica (*IQM*), metodo nazionale di valutazione in applicazione della Direttiva 2000/60/CE come stabilito dal Decreto del Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare n°260 del 2010.

Tale metodo si colloca all'interno di un quadro metodologico complessivo, denominato *IDRAIM*, di analisi, valutazione post-monitoraggio e di definizione delle misure di mitigazione degli impatti ai fini della pianificazione integrata prevista dalle Direttive 2000/60/CE e 2007/60/CE a supporto della gestione dei corsi d'acqua e dei processi geomorfologici.

Gli sviluppi del sistema *IDRAIM* prevedono, tra l'altro, la pubblicazione di un manuale che affronterà diverse tematiche, tra cui quella del monitoraggio della qualità morfologica.

Il seguente documento costituisce un estratto, in versione bozza, di tale Manuale e riporta in sintesi il capitolo relativo al monitoraggio della qualità morfologica.



2. Monitoraggio della qualità morfologica

A differenza di quanto avviene nella fase di valutazione dello stato attuale di un corso d'acqua, per la quale la normativa indica l'utilizzo dell'*IQM*, la fase di monitoraggio della qualità morfologica può essere realizzata attraverso l'impiego di differenti metodi. Il presente documento ha lo scopo di fornire un quadro di riferimento dei metodi utilizzabili per il monitoraggio, facendo riferimento, in particolare, a quanto prevede la normativa vigente (Direttiva 2000/60/CE) in materia di monitoraggio.

Viene illustrato inizialmente l'*Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQMm)*, ossia una metodologia di monitoraggio molto in linea, da un punto di vista concettuale ed operativo, con l'*IQM*. Successivamente vengono presentate altre metodologie di monitoraggio morfologico, quali il monitoraggio e l'analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici e la modellazione morfodinamica. E' utile sottolineare sin d'ora che la strategia di monitoraggio morfologico da adottare nei singoli casi specifici può essere in parte definita sulla base di quanto previsto dalla normativa vigente, in parte dipenderà da una serie di fattori, quali la tipologia di corso d'acqua in esame e le risorse finanziarie che si intende dedicare all'attività di monitoraggio.

3. L'Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQM_m)

L'esigenza di adottare una nuova procedura di valutazione morfologica ai fini del monitoraggio deriva dalle scale spaziali e temporali indagate, le quali sono differenti rispetto alla fase di valutazione e classificazione dello stato attuale di un corso d'acqua. In particolare, per quanto riguarda le scale temporali, l'*Indice di Qualità Morfologica (IQM)* consente una valutazione complessiva dello stato morfologico attuale di un tratto del corso d'acqua, prendendo in considerazione intervalli temporali di 50-100 anni e, talvolta, anche maggiori. L'*Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQM_m)* è uno strumento specifico per il monitoraggio, utile per quantificare variazioni della qualità morfologica alla scala di alcuni anni, ad esempio dopo l'esecuzione di interventi che possono aver migliorato o peggiorato la qualità morfologica del corso d'acqua.

Le principali differenze tra *IQM* e *IQM_m* sono sintetizzate in Tabella 1 e brevemente riportate di seguito:

(1) L'*IQM* è lo strumento da utilizzare per la valutazione, la classificazione ed il monitoraggio dello stato morfologico (ovvero per determinare se un corpo idrico è in stato elevato, buono, ecc.). L'*IQM_m* è uno strumento specifico per il monitoraggio delle condizioni morfologiche nel breve periodo (si veda punto 3). Esso rappresenta, abbinato all'*IQM*, l'indice da utilizzare ai fini dei diversi tipi di monitoraggio previsti dalla *WFD*, nonché nel caso di valutazioni di impatto e monitoraggio di interventi di stabilizzazione o di riqualificazione fluviale.

(2) I punteggi dell'*IQM* si basano su una suddivisione in classi discrete, mentre nell'*IQM_m* i punteggi di alcuni indicatori vengono calcolati attraverso funzioni matematiche continue.

(3) In conseguenza del punto precedente, l'*IQM_m* è più sensibile a variazioni degli indicatori che possono avvenire alla scala temporale di qualche anno, mentre l'*IQM* è stato sviluppato per fornire una valutazione complessiva ad una scala temporale più ampia (50 – 100 anni) e può risultare pertanto insensibile, in termini di punteggio finale e classe di qualità, a variazioni, anche significative, di un certo indicatore.

(4) Nonostante gli indicatori di variazioni morfologiche (*V1*, *V2* e *V3*) utilizzati nell'*IQM* vadano monitorati, essi non vengono inclusi nel calcolo dell'*IQM_m*. Mentre nell'*IQM* è necessario considerare le variazioni morfologiche per valutare l'instabilità o meno del corso d'acqua nel recente passato, una variazione recente non può essere interpretata e quantificata con lo stesso criterio. Infatti, nel caso di un corso d'acqua che ha subito in passato delle variazioni morfologiche, le variazioni recenti vanno interpretate alla luce della traiettoria evolutiva del corso d'acqua stesso. In altre parole una significativa variazione morfologica recente, che comunque è indice di instabilità del corso d'acqua, può anche rappresentare un aspetto positivo per il corso d'acqua (ad esempio una fase di allargamento che segue ad un'intensa fase di restringimento). Le variazioni recenti devono quindi essere contestualizzate nella traiettoria evolutiva e non possono essere facilmente quantificate ai fini dell'*IQM_m*.

	<i>Scopo</i>	<i>Scala temporale</i>	<i>Punteggi</i>	<i>Applicazioni</i>
<i>IQM</i>	Valutazione, classificazione e monitoraggio dello stato morfologico	50 – 100 anni	Classi discrete	Strumento per valutare scostamento rispetto ad una condizione di riferimento
<i>IQM_m</i>	Monitoraggio delle condizioni morfologiche nel breve periodo	5 – 10 anni	Funzioni continue e classi discrete	Strumento per valutare variazioni della qualità morfologica nel breve periodo

Tabella 1 – Principali caratteristiche di *IQM* e *IQM_m*.

Nell'*IQM_m*, gli indicatori basati su criteri di presenza/assenza e/o prevalentemente basati su osservazioni ed interpretazioni sul terreno vengono mantenuti nel formato utilizzato per l'*IQM*, mentre vengono definite delle funzioni matematiche per quegli indicatori basati su parametri quantitativi (quali stime della percentuale di tratto soggetta ad alterazioni o numero di opere) (Tabella 2).

Funzionalità	Artificialità
<i>F2, F3, F5, F7, F9, F12, F13</i>	<i>A2, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A12</i>

Tabella 2 – Indicatori di *IQM_m* per i quali i punteggi sono definiti da funzioni matematiche.

In maniera analoga all'*IQM*, l'**Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio** (*IQM_m*) è definito come:

$$IQM_m = 1 - Stot/Smax$$

dove *Stot* è lo scostamento totale, ottenuto dalla sommatoria dei punteggi relativi a tutti gli indicatori utilizzati, il quale viene normalizzato rapportandolo allo scostamento massimo possibile per la tipologia in esame (*Smax*). Il valore di *Smax* per il calcolo dell'*IQM_m* è maggiore rispetto a quello utilizzato per l'*IQM*, dato che i punteggi massimi degli indicatori dell'*IQM_m* risultano più elevati rispetto agli stessi indicatori dell'*IQM*.

Ai fini del monitoraggio, si possono distinguere due modalità di valutazione di entrambi gli indici *IQM_m* e *IQM*:

- (1) *Valutazione completa*: si basa su una ripetizione dettagliata della procedura di valutazione degli indici, la quale è possibile quando si rende disponibile un nuovo rilievo di immagini telerilevate.
- (2) *Aggiornamento*: si effettua sulla base degli elementi rilevabili sul terreno e delle informazioni riguardo a variazioni dello stato di artificialità del tratto (realizzazione di nuove opere, modifica o rimozione di opere esistenti, nuovi interventi di manutenzione, ecc.). Per quanto riguarda le misure ed osservazioni determinabili esclusivamente da immagini telerilevate, si fa riferimento agli stessi rilievi utilizzati nella precedente valutazione completa.

Esistono alcuni casi per i quali è necessario prestare particolare attenzione:

- (1) *Interventi di riqualificazione fluviale*. Nel caso di interventi di riqualificazione di poco precedenti alla valutazione in programma e che abbiano interessato porzioni significative del tratto, è consigliabile effettuare una nuova valutazione ad una certa distanza di tempo dagli interventi (ad esempio dopo che si sia verificata almeno una piena formativa). Nel caso di interventi di “ricostruzione morfologica” (ovvero di una modificazione diretta della morfologia dell'alveo), è necessario attendere un certo periodo di tempo affinché il corso d'acqua si adatti alle nuove condizioni determinate dall'intervento.

(2) Eventi di piena di forte intensità. Nel caso in cui, nell'intervallo temporale tra le due valutazioni, si sia verificato un evento di piena di forte intensità, ovvero con elevati tempi di ritorno (di norma $TR > 20$ anni), occorre prestare particolare attenzione all'interpretazione delle osservazioni in quanto possono essere influenzate, in una certa misura, dalle eventuali modificazioni morfologiche legate all'evento.

USO INTEGRATO DI IQM E IQM_m

Gli indici IQM e IQM_m valutano la qualità morfologica ad una diversa scala temporale, pertanto non devono essere considerati alternativi quanto complementari tra loro. L' IQM fornisce infatti un giudizio complessivo sulle condizioni morfologiche del corso d'acqua ed è adatto per scopi di classificazione e monitoraggio dello stato morfologico (ad es. il passaggio da uno stato moderato a buono o viceversa viene verificato attraverso l' IQM). L' IQM_m fornisce un'indicazione sulla tendenza della qualità morfologica nel breve termine. A tal fine, il valore di IQM_m relativo ad una singola situazione non è di per sé indicativo, ma lo è la differenza dell'indice tra due rilievi successivi, la quale indicherà la tendenza al miglioramento o al peggioramento della qualità morfologica. E' pertanto sempre indispensabile abbinare all' IQM_m anche una nuova valutazione dell' IQM , necessaria per valutare eventuali modificazioni nello stato complessivo del corso d'acqua. A tal proposito, è utile ricordare che quest'ultimo viene automaticamente determinato una volta che si effettua la valutazione IQM_m , in quanto sono disponibili tutte le informazioni necessarie per il suo calcolo, eccetto quelle relative agli indicatori di variazione morfologica (le quali comunque vanno monitorate indipendentemente dall' IQM_m).

4. Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici

Un approccio di monitoraggio differente rispetto all' IQM_m è quello di effettuare misure periodiche di uno o più parametri morfologici, sulla base delle quali visualizzarne ed analizzarne la tendenza temporale. Questo tipo di approccio può essere richiesto per alcuni tipi di monitoraggio finalizzati ad una comprensione dettagliata dell'evoluzione temporale di alcuni aspetti e delle relative cause (si veda in seguito).

La scelta dei parametri da monitorare nel dettaglio dipende caso per caso, in funzione delle finalità del monitoraggio e del tipo di pressione, ovvero vanno selezionati quei parametri più sensibili alle pressioni a cui il corso d'acqua è soggetto. A seconda della tipologia morfologica, gli aspetti da monitorare possono essere i seguenti (per i dettagli dei singoli parametri si rimanda al "Manuale tecnico – operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua" (IDRAIM) pubblicato da ISPRA (2011 – Versione 1)):

- Indici planimetrici (indice di sinuosità, intrecciamento, anastomizzazione, a seconda della tipologia del corso d'acqua): determinabili da telerilevamento/GIS, nel caso di disponibilità di nuove immagini, ed in alcuni casi sul terreno (alvei di piccole dimensioni).
- Configurazione della sezione e profilo longitudinale (larghezza, profondità, rapporto larghezza/profondità, variazione di quota del fondo, pendenza): determinabili attraverso misure sul terreno (la larghezza è determinabile da telerilevamento/GIS nel caso di nuove immagini disponibili).
- Struttura del fondo (corazzamento, clogging): tali aspetti possono essere importanti soprattutto nel caso di opere trasversali con forte impatto (es. diga, briglia di

trattenuta, impianti idroelettrici). Le valutazioni si possono basare su osservazioni visive in base alle quali accertare l'esistenza e l'estensione longitudinale dell'alterazione. In alcuni casi particolarmente problematici, si potrebbe valutare quantitativamente il *grado di corazzamento* e l'estensione del *clogging*.

- **Indicatori IQM_m** : in presenza di pressioni specifiche che possono avere effetti solo su determinati aspetti, è possibile prevedere il monitoraggio di dettaglio di alcuni indicatori IQM_m da selezionare a seconda dei casi. In questo caso, per la valutazione delle variazioni degli indicatori, si farà riferimento ai punteggi definiti attraverso le funzioni matematiche utilizzate per il calcolo dell' IQM_m .

La scansione temporale è anch'essa variabile in funzione di finalità e pressioni, ma in genere le misure vanno effettuate con maggiore frequenza rispetto alle valutazioni degli indici IQM e/o IQM_m . Di norma, la frequenza temporale può essere di 1 volta ogni anno e può essere programmata anche sulla base della frequenza/intensità delle portate formative che si verificano nel periodo d'interesse.

Il risultato di questo tipo di monitoraggio è la ricostruzione della traiettoria evolutiva di uno più parametri morfologici. La traiettoria evolutiva consente di valutare eventuali modificazioni nella morfologia del corso d'acqua con una maggiore risoluzione temporale rispetto a quanto realizzato con IQM e IQM_m e può consentire una migliore comprensione dei fattori che controllano l'evoluzione morfologica (ossia una migliore definizione di relazioni causa-effetto).

5. Monitoraggio ai fini della WFD

Ai fini della Direttiva 2000/60/CE (Direttiva Quadro sulle Acque o *WFD*) sono previsti **tre tipi di monitoraggio**:

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

(2) **Monitoraggio operativo**: è finalizzato a verificare le variazioni future di quei corsi d'acqua identificati come corpi idrici a rischio di non soddisfare gli obiettivi della *WFD*, per i quali tale rischio è legato anche a cause e pressioni idromorfologiche. Il programma di monitoraggio operativo deve quindi fare uso di quei parametri indicativi degli elementi di qualità morfologica più sensibili alle pressioni a cui il corso d'acqua è soggetto.

(3) **Monitoraggio investigativo**: può essere richiesto in casi particolari, quali: (a) quando non si conoscono i motivi per cui non vengono raggiunti determinati obiettivi; (b) laddove il monitoraggio di sorveglianza indica che è probabile che non si possano raggiungere alcuni obiettivi e, dove il monitoraggio operativo non è già stato stabilito, per accertare le cause per le quali gli obiettivi non sono raggiunti; (c) per accertare gli impatti di eventi accidentali (ad esempio collasso di opere e/o realizzazione di nuove opere alle quali potrebbe essere legato il mancato raggiungimento di determinati obiettivi).

Nella Tabella 3 si riportano sinteticamente le metodologie di monitoraggio e le relative frequenze spaziali e temporali associabili ad ognuno dei tipi di monitoraggio previsti dalla *WFD*. Infine, nel caso di forti pressioni idrologiche, è opportuno abbinare al monitoraggio morfologico l'uso dell'indice *IARI* (Indice di Alterazione del Regime Idrologico).

Tipo di monitoraggio per WFD	Metodologia di monitoraggio morfologico	Frequenza spaziale	Frequenza temporale
Sorveglianza	- Ripetizione periodica della valutazione IQM_m e IQM	Numero relativamente elevato di corpi idrici nel bacino rappresentativi di contesti fisiografici e morfologie diverse	- 1 volta ogni 6 anni (ciclo di gestione)
Operativo	- Ripetizione periodica della valutazione IQM_m e IQM - Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici	Corpi idrici a rischio di non soddisfare gli obiettivi	- 1 volta ogni 2 o 3 anni
Investigativo	- Ripetizione periodica della valutazione IQM_m e IQM - Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici	Casi particolari	- 1 volta ogni anno

Tabella 3 – Tipi di monitoraggio ai fini della WFD e relative metodologie applicabili.

MONITORAGGIO DI SORVEGLIANZA

Secondo quanto riportato in Tabella 3, il monitoraggio di sorveglianza consiste nella ripetizione periodica della valutazione IQM_m e IQM .

Modalità

L'intervallo temporale tra due rilievi successivi dovrebbe consentire di disporre nella maggior parte dei casi di un nuovo rilievo di immagini telerilevate (foto aeree o immagini satellitari), tale da permettere l'applicazione della *valutazione completa* dei due indici. In caso contrario, si procede ad un *aggiornamento* IQM_m e IQM sulla base di osservazioni/misure sul terreno ed informazioni disponibili relativamente agli elementi che possono aver subito variazioni rispetto al precedente rilievo.

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto.. Nel caso il corpo idrico comprenda più tratti, il monitoraggio morfologico si effettua su tutti i tratti.

Frequenza temporale

La frequenza temporale è di una volta ogni 6 anni.

MONITORAGGIO OPERATIVO

Il monitoraggio operativo degli aspetti idromorfologici è finalizzato a verificare le variazioni future di quei corsi d'acqua identificati come corpi idrici a rischio, ed è strettamente legato alle pressioni a cui il corso d'acqua è soggetto.

In accordo a quanto riportato in Tabella 3, si possono definire due procedure di monitoraggio soprattutto in funzione delle variazioni di artificialità, come di seguito descritto.

(1) Casi in cui l'artificialità non sia significativamente cambiata

Tale modalità è simile al monitoraggio di sorveglianza, e si applica ai casi di corpi idrici a rischio ma lungo i quali non è cambiato significativamente lo stato di

artificialità, ovvero in tempi recenti non si sono realizzate nuove opere o modificate opere esistenti aventi un impatto significativo. In questi casi, l'aggiornamento e, periodicamente, la valutazione completa dei due indici (quando sono disponibili nuove immagini telerilevate) sono necessari per monitorare eventuali peggioramenti del corpo idrico a rischio.

Scala spaziale

La scala spaziale è quella del tratto. Nel caso il corpo idrico comprenda più tratti, il monitoraggio morfologico si effettua su tutti i tratti.

Frequenza temporale

La frequenza temporale è superiore a quella che caratterizza il monitoraggio di sorveglianza, ovvero l'aggiornamento degli indici si effettua una volta ogni 2 o 3 anni, mentre la valutazione completa si effettua con frequenza inferiore (ogni 6 anni).

(2) Casi di realizzazione o modifica recente di opere

Nel caso di recente realizzazione o modifica di opere di una certa importanza che potrebbero condizionare significativamente la qualità morfologica del corpo idrico a rischio, si effettuano: (1) valutazione tramite IQM_m e IQM ; (2) monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici; (3) nel caso di forti pressioni di natura idrologica, valutazione tramite IARI. Sono da considerare opere importanti le seguenti:

- Opere trasversali aventi impatti significativi sulla continuità longitudinale nel flusso di sedimenti (dighe, briglie di trattenuta, traverse, sequenza di briglie a gradinata, rampe, rivestimenti).
- Opere con impatti significativi sulle portate formative (dighe, casse di espansione, diversivi o scolmatori).
- Opere di derivazione con impatti significativi sul regime idrologico.
- Per quanto riguarda le opere non incluse nei punti precedenti (es. difese di sponda), esse vanno valutate o meno a seconda dei casi, in funzione soprattutto della dimensione dell'opera in rapporto alla dimensione del corso d'acqua. Il loro impatto verrà in tutti i casi valutato attraverso l'applicazione degli indici IQM_m e IQM .
- Tale tipo di procedura può essere applicata anche laddove si ravvisa la presenza di pressioni importanti, non necessariamente all'interno del corpo idrico (ad es. diga o briglie ad una certa distanza a monte, variazioni di uso del suolo, ecc.), alle quali potrebbero essere riconducibili significative alterazioni morfologiche.

L'analisi dei dati si concretizza in: (1) valutazione IQM_m (oltre che IQM), particolarmente indicata per seguire nel dettaglio l'evoluzione nel tempo dello stato morfologico complessivo del corso d'acqua; (2) ricostruzione dei trend temporali dei singoli parametri, utile per visualizzare/analizzare la traiettoria evolutiva del corso d'acqua e quindi meglio comprendere la sua risposta morfologica alle pressioni.

Scala spaziale

La scala spaziale è variabile a seconda dei parametri misurati. Per i parametri misurati da immagini telerilevate, la scala spaziale rimane quella del tratto. Per i parametri misurati sul terreno, la scala spaziale va valutata in funzione dell'impatto che può essere determinato dall'opera.

Frequenza temporale

La frequenza temporale è di una volta ogni 2 o 3 anni.

MONITORAGGIO INVESTIGATIVO

Il monitoraggio investigativo degli aspetti idromorfologici si applica in casi particolari, ad esempio quando non si conoscono le cause per le quali non sono raggiunti determinati obiettivi. Tale monitoraggio, in linea di massima, è

riconducibile a quello operativo, prevedendo due possibili modalità (valutazione IQM_m e IQM e/o tendenze temporali di parametri specifici). Tuttavia esso va adattato in funzione del problema specifico che si va ad investigare.

6. Valutazione di impatto di opere

Ai fini di una valutazione di impatto di una singola opera o intervento (inclusi eventuali interventi di riqualificazione fluviale), sia durante la fase progettuale che nella fase successiva alla sua realizzazione, si possono impiegare diversi tipi di analisi geomorfologiche con grado di complessità crescente:

- (1) Valutazione di impatto attraverso l' IQM_m : tale procedura può essere impiegata per una prima valutazione degli impatti di qualunque nuovo intervento.
- (2) Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici.
- (3) Valutazione degli impatti dell'opera sulle portate solide attraverso la quantificazione dei bilanci di sedimenti: tale procedura si utilizza nel caso di opere che possono avere un impatto sulla continuità longitudinale delle portate solide (es. impianti idroelettrici a serbatoio, briglie di trattenuta, ecc.).
- (4) Modellistica idrodinamica e morfodinamica: tale approccio può essere utilizzato per quantificare nel dettaglio gli impatti che un'opera può avere sul campo di moto della fase liquida e sulla morfologia dell'alveo.

1. Valutazione di impatto attraverso l' IQM_m

L' IQM_m è uno strumento particolarmente adatto per la valutazione dei possibili impatti dell'opera in fase di progetto in quanto, a differenza dell' IQM , è stato sviluppato proprio per essere sensibile agli impatti di interventi che hanno piccola estensione spaziale rispetto al tratto. Si realizza una *valutazione ante operam*, che coincide con lo stato attuale del corso d'acqua, ed una *valutazione post operam*, che ipotizza come varieranno gli indicatori morfologici a seguito della realizzazione dell'intervento e li quantifica in termini di IQM_m .

All' IQM_m si affianca l'applicazione dello *IARI* per valutare gli effetti dell'opera sul regime idrologico, utilizzando i dati giornalieri od eventualmente sub-giornalieri (orari) in relazione alla pressione indotta dall'intervento.

2. Monitoraggio e analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici

In seguito all'eventuale realizzazione dell'opera, si procede con il monitoraggio e l'analisi delle tendenze temporali di parametri morfologici (analogamente a quanto previsto nel monitoraggio operativo per la *WFD*). La valutazione IQM_m può essere anche in questo caso affiancata al monitoraggio per valutare come le modificazioni temporali dei parametri monitorati si riflettano sullo stato morfologico complessivo.

3. Quantificazione degli impatti sulle portate solide

La quantificazione delle portate solide e del bilancio di sedimenti può essere opportunamente impiegata per valutare gli impatti sulla continuità di sedimenti che possono avere vari tipi di opere.

Ad esempio nel caso di un'opera trasversale, anche se questa non causa un'intercettazione completa dei sedimenti, essa può comunque variare le condizioni idrauliche del tratto a monte (ad esempio tramite la riduzione della pendenza e quindi di velocità e tensioni tangenziali) e pertanto può incidere sulla capacità di trasporto complessiva di un certo tratto e di conseguenza sulla dinamica temporale del trasferimento verso valle del sedimento, oltre che sulla morfologia ed evoluzione del tratto stesso. Infatti, le classi granulometriche più grossolane potrebbero risultare non

più trasportabili del tutto oppure soltanto con portate liquide a frequenza minore. Di questi effetti si può tener conto attraverso l'applicazione di equazioni di trasporto solido adeguate al contesto morfologico in esame. Nel caso "estremo" di intercettazione totale del trasporto solido al fondo, questo potrà essere modellato imponendo una portata solida nulla in ingresso al tratto immediatamente a valle. Nel caso di realizzazione dell'opera, un bilancio di sedimenti può anche essere realizzato attraverso il confronto di DTM o di sezioni topografiche.

Discretizzando opportunamente la porzione di corso d'acqua influenzata dall'opera, è pertanto possibile valutare gli effetti della stessa sulle condizioni di erosione – sedimentazione a monte ed a valle rispetto alla condizione *ante operam*.

4. Modellistica idrodinamica e morfodinamica

E' possibile utilizzare un approccio basato sulla modellistica numerica per valutare nel dettaglio gli effetti di un'opera. La modellistica idrodinamica permette di valutare gli effetti dell'opera sul campo di moto della fase liquida, mentre la modellistica morfodinamica permette di valutare gli effetti dell'opera sulle portate solide e sulla morfologia dell'alveo.