



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Implementazione della direttiva 2000/60/CE

Proposta metodologica per l'analisi e la valutazione degli aspetti idromorfologici

2b. CONDIZIONI MORFOLOGICHE Monitoraggio

Roma, 22 GIUGNO 2009

Definizione di una metodologia operativa di indagine e classificazione idromorfologica

SINTESI DELLE METODOLOGIE DI MONITORAGGIO

1. STRUTTURA METODOLOGICA

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 altrettanto 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» completamente indisturbata. Alternativamente, in maniera più pragmatica, si può ritenere che lo **stato di riferimento** di un corso d'acqua sia **identificabile 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.**

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

(1) **Analisi GIS da telerilevamento.** Queste prevedono l'utilizzo soprattutto di foto aeree, ma per corsi d'acqua sufficientemente grandi e almeno per alcuni tipi di osservazioni possono essere impiegate anche immagini satellitari. L'utilizzo di immagini telerilevate è condizionato dalla scala e dalla risoluzione delle immagini, pertanto non è possibile condurre questo tipo di osservazioni su tutti i corsi d'acqua.

(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.). Per queste attività, non esistono limiti di dimensioni degli alvei investigati: in questo caso i corsi d'acqua di piccole dimensioni possono richiedere più osservazioni in quanto non effettuabili da foto aeree.

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**, facendo riferimento alle seguenti **unità spaziali**, con dimensioni progressivamente decrescenti:

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

(2) **Unità fisiografica e segmento.** Le unità fisiografiche sono aree relativamente omogenee all'interno del bacino per caratteristiche morfologiche o fisiografiche (area montuosa, collinare, pianura intermontana, bassa pianura, ecc.). I segmenti sono determinati dall'intersezione degli ambiti fisiografici con il reticolo idrografico.

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

(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. 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.

(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.

Per quanto riguarda l'**ampiezza della regione fluviale** di indagine, intesa in senso trasversale al corso d'acqua, la sua individuazione 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, 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.

(1) Per quanto riguarda gli aspetti legati alla **continuità idraulica laterale**, può ritenersi significativo fare riferimento almeno alle *aree inondabili con $T=200$ anni*. Tuttavia, nei casi di presenza di argini a poca distanza dal corso d'acqua e/o di forte incisione dell'alveo che limitano l'estensione di tali aree, è più opportuno fare riferimento all'intera pianura alluvionale (identificabile con quanto riportato sulle Carte Geologiche come "Alluvioni attuali" o le Alluvioni più recenti non terrazzate presenti).

(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).

Per la valutazione delle condizioni attuali e per il monitoraggio idromorfologico, si considerano i seguenti aspetti (Tabella 1): (1) continuità longitudinale e laterale; (2) configurazione (o pattern) morfologica; (3) larghezza e profondità; (4) struttura e substrato dell'alveo; (5) caratteristiche della vegetazione nella fascia perfluviale.

Aspetti idromorfologici	Oggetto	Aspetti trattati
1. Continuità	A. Continuità longitudinale B. Continuità laterale	Riguarda la capacità del corso d'acqua di garantire la continuità di portate solide anche attraverso la naturale occorrenza delle portate formative ¹ . 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. Larghezza e profondità	Configurazione della sezione	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 alla struttura ed alle caratteristiche della vegetazione nella fascia perifluviale.

Tabella 1 ó Valutazione dello stato idromorfologico 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.

La **valutazione dello stato idromorfologico** avviene quindi 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.
- (2) **Elementi artificiali**: si valutano la presenza, frequenza e continuità delle opere o interventi antropici che possano avere effetti sui vari aspetti morfologici considerati.
- (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

¹ Le portate formative sono quelle più significative nel modellare l'alveo. Sono associate al concetto di *portata efficace*, cioè di portata che trasporta più sedimenti in un certo intervallo temporale e che generalmente è quella corrispondente a tempi di ritorno tra 1 e 3 anni. Sono convenzionalmente associate ad un tempo di ritorno pari a 2 anni.

fisiche (ad es. incisione, restringimento) e stia ancora modificandosi a causa di perturbazioni antropiche non necessariamente attuali.

2. CLASSIFICAZIONE INIZIALE

La valutazione dello stato attuale viene effettuata attraverso l'uso integrato di due **metodologie**: (1) analisi da telerilevamento con strumenti GIS; (2) rilevamento sul terreno. Ai fini della definizione dei campi di applicazione dei due metodi, è utile definire le dimensioni dei corsi d'acqua, distinguendo: (1) corsi d'acqua piccoli (quelli con larghezze inferiori a 20 m circa); (2) corsi d'acqua medi (quelli con larghezze generalmente dell'ordine dei 20-30 m); (3) corsi d'acqua grandi (quelli con larghezze superiori). I campi di applicazione sono pertanto così definiti:

(1) **Analisi GIS da telerilevamento.** Per gli elementi idromorfologici naturali, l'analisi da immagini telerilevate vengono condotte solo per corsi d'acqua grandi (larghezza > 30 m). Per alvei di dimensioni inferiori, gli errori connessi alle misure da foto aeree possono essere dello stesso ordine di grandezza delle variazioni stesse, pertanto le misure non sono in genere attendibili. Per quanto riguarda gli elementi di artificialità, l'analisi viene condotta per tutti i tipi di alvei. 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.

La valutazione dello stato attuale ed il monitoraggio partono da una fase di inquadramento e classificazione iniziale. Tale fase 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 specifici².

² 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

Gli Step di seguito 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 di seguito 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 di seguito descritti:

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

Step 1 ó Inquadramento e definizione delle unità fisiografiche

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

Informazioni / dati necessari di partenza: area del bacino, informazioni su clima e regime idrologico, informazioni su litologie prevalenti, informazioni su 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 controlli sul carattere, sul comportamento e sulle variazioni della configurazione longitudinale dei corsi d'acqua in esame. Tali informazioni comprendono: area del bacino, idrologia, (regimi pluviometrici, idrometrici, delle portate), litologia, uso del suolo nel bacino, costruzione di profili longitudinali (dalle carte topografiche disponibili).

Successivamente vengono individuate le principali **unità fisiografiche** attraversate dai corsi d'acqua in esame, le quali possono riflettere differenti caratteristiche morfologiche ed eventuali controlli tettonici ed idrologico ó climatici. Una prima suddivisione può essere fatta considerando le principali unità descritte in Tabella 2. Tali unità si differenziano per aree geografiche (settore alpino ó 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

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.

classificazione, a due principali **ambiti fisiografici**: (1) collinare ó montano; (2) di pianura.

Denominazione	Note
Settore Alpino e Pianura Padana	
1. Aree montuose alpine	Aree a quote elevate, con valli frequentemente ereditate da forme glaciali.
2. Aree montuose e collinari prealpine	Comprendono la fascia montuosa e collinare prealpina, inclusi i rilievi collinari corrispondenti agli apparati morenici (anfiteatri morenici).
3. Alta pianura	Comprende la fascia pedemontana a partire dagli apici dei conoidi. È caratterizzata da pendenze superiori a 0.15 % e tessiture dei sedimenti in genere grossolane (ghiaia grossolana). Include le alte pianure sublacuali.
4. Bassa pianura	Comprende le porzioni di pianura padana e veneto ó friulana con pendenza inferiore a 0.15 %, con sedimenti in prevalenza fini (ghiaia fine, sabbie e limi).
Settore Appenninico ed Isole	
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	Bacini intermontani di origine tettonica, frequenti sul versante appenninico tirrenico.
4. Rilievi interni	Rilievi interni del versante tirrenico prevalentemente collinari (compresa fascia di vulcanismo vulsino ó campano) e rilievi della Sardegna.
5. Alta pianura (o pianura prossimale)	Pianura a partire dagli apici dei conoidi fino alla loro base.
6. Bassa pianura (o pianura distale)	Pianura a minore pendenza.

Tabella 2 - Principali unità fisiografiche.

Le porzioni di corsi d'acqua comprese all'interno di ogni unità fisiografica possono essere denominate **segmenti**. Essi derivano dall'intersezione dei corsi d'acqua con i limiti di unità fisiografica e rappresentano una prima suddivisione di macro-tratti omogenei, funzionale alla successiva definizione dei tratti. La suddivisione in segmenti, soprattutto relativamente ai corsi d'acqua principali del

reticolo, può tenere conto anche di significative variazioni della direzione della valle, dovute a controlli strutturali.

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**.

Step 2 ó Definizione del grado di confinamento

Scopo: attraverso questo step vengono caratterizzate più in dettaglio le condizioni di confinamento, procedendo ad una prima eventuale suddivisione dei segmenti propedeutica alla definizione dei tratti.

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

Metodi: telerilevamento / GIS (prima fase); ricognizione sul terreno (seconda fase).

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. 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 e lunghezza totale delle due sponde, espresso in percentuale.

- **Indice di confinamento (Ic)**. È definito come il rapporto tra larghezza della pianura (comprensiva dell'alveo) e larghezza dell'alveo. Il valore dell'indice di confinamento assume un valore minimo di 1 (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;
- $n=2$ per alvei a canali intrecciati o transizionali.

Sulla base del grado e dell'indice di confinamento, è quindi possibile definire le tre classi di confinamento secondo quanto specificato in Tabella 3.

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

Tabella 3 - Definizione delle classi di confinamento sulla base del grado e dell'indice di confinamento.

Step 3 ó Morfologia dell'alveo

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, profilo longitudinale e pendenza del fondo per i segmenti confinati, configurazione del fondo (necessario nella classificazione di secondo livello: si veda in seguito).

Metodi: telerilevamento / GIS e ricostruzione profilo longitudinale per i segmenti confinati (classificazione di primo livello).

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

Descrizione

I criteri di classificazione si differenziano a seconda di vari fattori quali il grado di confinamento, il numero di canali, la forma planimetrica, la pendenza 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 Tabella 4 e di seguito descritto.

(1) Nel caso di **ambito collinare - montano**, si distingue innanzitutto tra corsi d'acqua confinati e corsi d'acqua semiconfinati o non confinati. Nel caso di **corsi d'acqua confinati**, si adopera un criterio misto basato su: (a) pendenza e configurazione del fondo per gli alvei a canale singolo; (b) forma planimetrica nel caso di alvei transizionali o a canali multipli. Per i **corsi d'acqua semiconfinati o non confinati**, il criterio è sempre basato sulla forma planimetrica.

(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.

Inoltre la classificazione può essere suddivisa in due diversi livelli di approfondimento (valido soprattutto per i corsi d'acqua confinati):

(1) **Classificazione di I° livello**: i corsi d'acqua confinati sono suddivisi, in prima approssimazione, in base alla pendenza media del fondo (S) (desumibile da carte topografiche) in due principali categorie ($S > 2\%$ ed $S < 2\%$). Per i corsi d'acqua semiconfinati e non confinati, la classificazione di primo livello si concretizza nella definizione delle tipologie morfologiche basate sulla forma planimetrica. Operativamente, la classificazione di primo livello è ricavabile senza necessità di ricognizioni sul terreno (in base a sole analisi GIS e ricostruzione del profilo del fondo) ed è sufficiente per la fase 2 di suddivisione in tratti relativamente omogenei.

(2) **Classificazione di II° livello**: per i corsi d'acqua confinati a canale singolo, si procede ad un'ulteriore suddivisione basata dapprima sul tipo di fondo (in roccia, colluviale, a fondo mobile, a fondo artificiale) e poi, per quelli a fondo mobile, sulla configurazione del fondo. Tale classificazione di maggior dettaglio non è funzionale alla suddivisione in tratti, ma interviene nelle fasi successive di valutazione dello stato attuale e di monitoraggio, tuttavia viene trattata qui per completezza. Per i corsi d'acqua semiconfinati o non confinati a canale singolo, nella classificazione di secondo livello la configurazione del fondo può essere ancora identificata, fintantoché

il fondo risulta visibile, ma tale aspetto assume un valore puramente descrittivo e non discriminante ai fini della classificazione stessa.

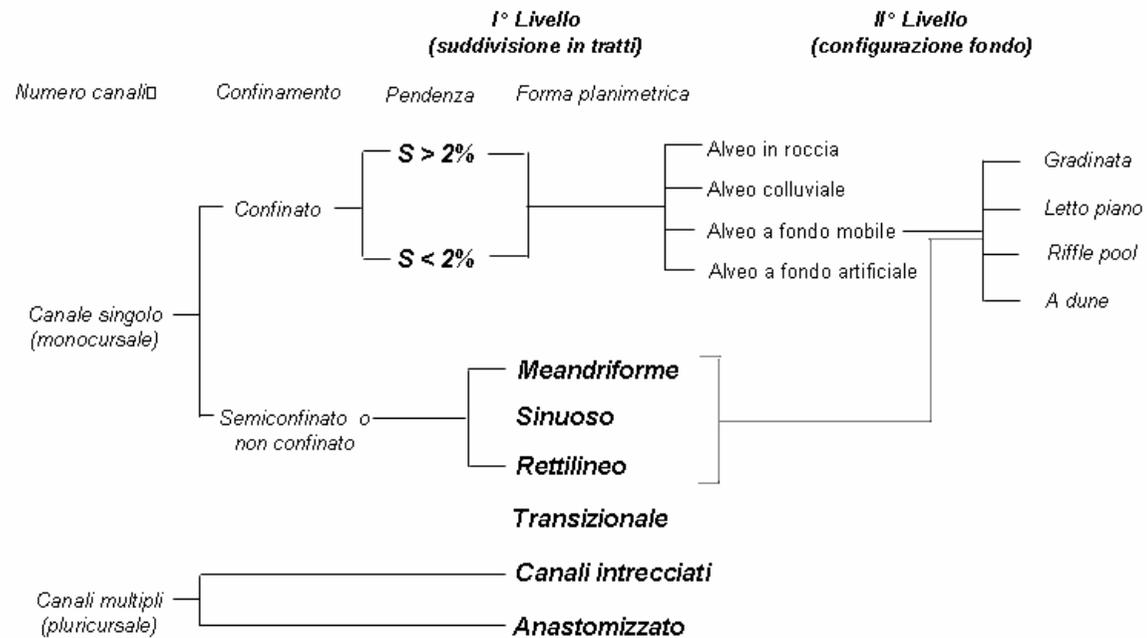


Tabella 4 ó Criteri di classificazione morfologica basata sul tipo di ambito fisiografico, sul confinamento, sulla forma planimetrica e sulla configurazione del fondo. Si noti che per i corsi d'acqua a canale singolo semiconfinati o non confinati si aggiunge a fini descrittivi la configurazione del fondo (quando riconoscibile) (linea tratteggiata).

Per la definizione della morfologia fluviale dei **corsi d'acqua di pianura**, si fa 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 e lunghezza misurata lungo la valle. La misura in ambiente GIS si effettua da immagini telerilevate.

- **Indice di intrecciamento (Ii)**. Si definisce come il numero di canali attivi separati da barre. La misura dell'indice di intrecciamento si effettua, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate, misurando il numero di canali attivi per una serie di sezioni e ricavandone il valore medio nel tratto. Nei casi di alvei di piccole dimensioni, la misura viene effettuata sul terreno, limitandosi in questo caso alla scala del sito di rilevamento.

- **Indice di anastomizzazione (Ia)**. Si definisce come il numero di canali attivi separati da isole fluviali. La misura si effettua con modalità analoghe all'indice di intrecciamento.

Sulla base dei tre precedenti indici e, per alcune tipologie, di altre osservazioni per alcune tipologie, viene definita la configurazione morfologica (Tabella 5). A tal fine, si fa riferimento alle classificazioni esistenti in letteratura, tenendo conto del contesto di applicazione (territorio italiano). Le tipologie basate sulla forma planimetrica (derivata da telerilevamento) sono le seguenti:

- **Rettilineo**. Alveo a canale singolo con indice di sinuosità inferiore ad 1.1.

- **Sinuoso**. Alveo a canale singolo con indice di sinuosità superiore ad 1.1 ed inferiore ad 1.5.

- **Meandriforme**. Alveo a canale singolo con indice di sinuosità superiore ad 1.5.

- **Canali intrecciati**. Alveo caratterizzato dalla presenza di più canali separati da barre, con indice di intrecciamento superiore ad 1.5.

- **Anastomizzato**. Alveo caratterizzato dalla presenza di più canali separati da isole vegetate, con indice di anastomizzazione superiore ad 1.5.

- **Transizionale**. Alveo con caratteri intermedi tra le altre tipologie (meandriformi, canali intrecciati, anastomizzati), che presenta un alveo relativamente largo e poco profondo, costituito in gran parte da barre emerse (lunghezza delle barre laterali superiore al 95% dell'intero tratto). In base alle caratteristiche di intrecciamento, possono essere distinte due sotto-tipologie: (a) *wandering*: alveo con situazioni locali di intrecciamento diffuse; (b) sinuoso a barre alternate: rare situazioni di intrecciamento (indice di intrecciamento pari o prossimo ad 1).

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

Tabella 5 ó Campi di variabilità degli indici di sinuosità, intrecciamento ed anastomizzazione per le varie morfologie fluviali (in grassetto i valori soglia dei parametri caratterizzanti).

Per quanto riguarda i **corsi d'acqua confinati di ambiente collinare ó montano** a canale singolo, si adopera la pendenza media del fondo come parametro per discriminare, in prima approssimazione, le possibili configurazioni del fondo (queste ultime vengono poi osservate sul terreno durante la classificazione di II° livello). A tal fine si distinguono:

- Alvei confinati con pendenza > 2%
- Alvei confinati con pendenza < 2%.

Classificazione di II° livello

La classificazione di II° livello ha lo scopo di andare a discriminare più nel dettaglio le diverse tipologie morfologiche in base alla configurazione del fondo osservata sul terreno. Una prima suddivisione viene effettuata tra le due 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.
- **Alveo colluviale.** I cosiddetti tratti colluviali si distinguono per la presenza di materiale fine (depositi colluviali o di versante) e sono in genere rappresentati dalle aste di ordine gerarchicamente inferiore (primo ordine) nelle zone di testata del reticolo idrografico.
- **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 le seguenti sotto-tipologie:
 - **A gradinata.** In questa tipologia vengono incluse sia le morfologie a gradinata vere e proprie (con gradini e pozze che occupano l'intera sezione dell'alveo) che quelle configurazioni più caotiche (rapide a gradino), con la caratteristica unificante rappresentata dalla presenza di un flusso con alternanza di getti in caduta e risalti idraulici.
 - **Letto piano.** Alveo con un profilo longitudinale regolare privo di rilevanti variazioni altimetriche.
 - **Riffle ó pool.** Alveo caratterizzato dalla successione di unità a pendenza più sostenuta e tiranti ridotti (raschi o *riffle*) e unità aventi tiranti maggiori e pendenze molto basse (pozze o *pool*).
 - **A dune.** Alveo con materiale del fondo costituito prevalentemente da sabbia tale da sviluppare una morfologia a dune e increspature (*dune-ripple*, per brevità qui indicate solo come "dune").
 - **Alveo a fondo artificiale.** Rientrano in questa categoria tutti i casi in cui il fondo è completamente artificiale 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.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua a canali multipli o transizionali e di corsi d'acqua a canale singolo semiconfinati o non confinati in ambito collinare ó montano si adottano le stesse tipologie prima definite per corsi d'acqua di pianura basate sulla forma planimetrica.

Step 4 ó Definizione dei tratti

Scopo: attraverso questo step viene ultimata la definizione di tratti relativamente 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 ricognizione sul terreno.

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

Descrizione

Per procedere alla suddivisione definitiva, vengono presi in considerazione anche i seguenti aspetti:

- Discontinuità idrologiche naturali (affluenti) o artificiali (dighe).
- Artificializzazione.
- Dimensioni della pianura e/o variazioni dell'indice di confinamento.
- Larghezza dell'alveo.
- Profilo longitudinale.

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.
- **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. 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 biennale (Q_2)**: portata con tempo di ritorno pari a 2 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 a partire da 10 anni.
- **Portate solide**. È necessario 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.

3. MONITORAGGIO IDROMORFOLOGICO

3.1 Monitoraggio di sorveglianza

L'impostazione del programma di monitoraggio di sorveglianza per gli aspetti idromorfologici ricalca 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 iniziale o se è soggetto a delle variazioni. In Tabella 6 si riporta una sintesi degli aspetti fondamentali da includere nel monitoraggio di sorveglianza. Per quanto riguarda gli elementi artificiali, le informazioni necessarie relative alla realizzazione di nuove opere o nuove attività devono 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. Per quanto riguarda il rilievo degli aspetti idromorfologici naturali, le metodologie di rilievo o misura sono più articolate e sono riepilogate in Tabella 7.

Riguardo alla **scansione spaziale**, per gli elementi naturali, vengono adottate le due strategie di rilievo differenziandole a seconda della metodologia adottata, e quindi a seconda dei parametri misurati: (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; (3) le misure granulometriche vengono effettuate su un'**unità sedimentaria**, scelta come rappresentativa del sito. 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), si misurano per ogni tratto individualmente, ma si farà poi riferimento a tutte quelle presenti anche nei tratti a monte.

Per quanto riguarda invece la **frequenza temporale** dei rilievi, si prevede una strategia mista, strettamente interconnessa con le metodologie adottate e la scansione spaziale, definibile come segue:

- (1) Ogni sito inserito nella rete di monitoraggio di sorveglianza sarà interessato da un rilevamento sul terreno con frequenza triennale.
- (2) Per ogni tratto di cui il sito di monitoraggio fa parte, verrà effettuata l'analisi in ambiente GIS di alcuni parametri (Tabella 7) con una frequenza che dipende dalla disponibilità di nuove immagini telerilevate adatte a tale scopo e che va da un minimo di una volta ogni 6 anni ad un massimo di una volta ogni 3 anni (in tal caso coincidente con la frequenza dei rilievi sul terreno).

Categorie	Aspetti idromorfologici	Elementi artificiali
1. Continuità (longitudinale e laterale)	<ul style="list-style-type: none"> - Portate formative - Estensione laterale e continuità longitudinale di piana inondabile attiva e/o terrazzi bassi - 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 - Lunghezza ed estensione 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. Larghezza e profondità	<ul style="list-style-type: none"> - Larghezza (alveo attivo) - Profondità (alveo attivo) - Rapporto larghezza/profondità - 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 (LW: <i>Large Wood</i>) 	<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 perifluviale	<ul style="list-style-type: none"> - Caratteristiche della vegetazione (tipologia di vegetazione presente nella fascia perifluviale, ampiezza e continuità delle formazioni funzionali presenti nella fascia perifluviale) 	<ul style="list-style-type: none"> - Alterazione delle caratteristiche della vegetazione presente nella fascia perifluviale (semplificazione delle formazioni presenti con riduzione o scomparsa delle formazioni riparie, riduzione della presenza di specie riparie, riduzione dell'estensione delle formazioni riparie e delle formazioni funzionali, riduzione della continuità delle formazioni riparie e delle formazioni funzionali) derivanti da estensione dei coltivi, taglio della vegetazione, alterazione del regime idrologico

Tabella 6 ó Aspetti idromorfologici ed elementi artificiali da monitorare.

Elemento morfologico	Metodo di rilevamento / misura e relativa scala spaziale	Frequenza temporale	Tipologia corso d'acqua
1. Continuità			
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)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$)	- Solo corsi d'acqua G non confinati o semiconfinati
1.3 Lunghezza sponde in arretramento e tassi di arretramento	- Telerilevamento (tratto)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$)	- Solo corsi d'acqua G non confinati o semiconfinati
2. Configurazione morfologica			
2.1 Indice di sinuosità	- Telerilevamento o misura terreno (corsi d'acqua piccole dimensioni) (tratto)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$)	- Tutti esclusi a canali intrecciati
2.2 Indice di intrecciamento	- Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$) - Ogni 3 anni	- Tutti esclusi a canale singolo
2.3 Indice di anastomizzazione	- Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$) - Ogni 3 anni	- Tutti esclusi a canale singolo
2.4 Lunghezza barre e area isole	- Telerilevamento (tratto)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$)	- Solo corsi d'acqua G
2.5 Configurazione morfologica	- Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (sito e/o tratto)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$) - Ogni 3 anni	- Solo corsi d'acqua G - Tutti
2.6 Pendenza del fondo	- Rilievo profilo fondo, possibilmente esteso dal sito al tratto	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$)	- Tutti

Tabella 7 ó Metodi e scansione spazio-temporale per il rilevamento degli aspetti idromorfologici. G: di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).

Elemento morfologico	Metodo di rilevamento / misura e relativa scala spaziale	Frequenza temporale	Tipologia corso d'acqua
3. Larghezza e profondità			
3.1 Larghezza (alveo attivo)	- Telerilevamento (tratto) - Rilievo sezioni (sito)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$) - Ogni 3 anni	- Solo corsi d'acqua G - Tutti
3.2 Profondità (alveo attivo)	- Rilievo sezioni: 2 o 3 sezioni nel sito (preferibilmente estremità monte, centro, estremità valle)	- Ogni 3 anni	- Tutti
3.3 Rapporto larghezza / profondità	- Da valori misurati in base a rilievo sezioni (sito)	- Ogni 3 anni	- Tutti
3.4 Quota del fondo	- Rilievo profilo fondo esteso dal sito all'intero tratto	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$)	- Tutti
4. Struttura e substrato alveo			
4.1 Dimensioni granulometriche sedimenti del fondo	- Misura granulometrica (metodo <i>pebble counts</i>) (unità sedimentaria)	- Ogni 3 anni	- Alvei ghiaioso-ciottolosi guadabili - Alvei sabbiosi e/o di elevata profondità
	- Misura granulometrica (metodo volumetrico) (unità sedimentaria)	- Ogni n anni ($3 < n \leq 6$)	
4.2 Struttura del fondo: grado di corazzamento e <i>clogging</i>	- Valutazione qualitativa (sito)	- Ogni 3 anni	- Solo alvei ghiaiosi e/o ciottolosi
4.3 Abbondanza materiale legnoso di grandi dimensioni (LW)	- Conteggio sul terreno (sito) - Telerilevamento (sito)	- Ogni 3 anni - Ogni n anni ($3 < n \leq 6$)	- Alvei a canale singolo - Corsi d'acqua G transizionali ó canali intrecciati

Tabella 7 (continuazione) ó Metodi e scansione spazio-temporale per il rilevamento degli aspetti idromorfologici. G: di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).

Elemento morfologico	Metodo di rilevamento / misura e relativa scala spaziale	Frequenza temporale	Tipologia corso d'acqua
<i>5. Vegetazione nella fascia perifluviale</i>			
5.1 Vegetazione presente nella fascia perifluviale	- Rilievo sul terreno (tratto)	- Ogni 3 anni	- Tutti
5.2 Ampiezza e continuità delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	- Rilievo sul terreno (tratto)	- Ogni 3 anni	- Tutti

Tabella 7 (continuazione) ó Metodi e scansione spatio-temporale per il rilevamento degli aspetti idromorfologici. G: di grandi dimensioni (larghezza > 30 m).

Nella parte seguente vengono brevemente descritte le procedure ed i metodi per il monitoraggio degli aspetti morfologici secondo l'ordine schematizzato nelle precedenti Tabelle 6 e 7.

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).

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.

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})**: ricavata sulla base delle portate giornaliere registrate nell'arco dell'anno;
- **portata al colmo massima annuale**: 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).
- **portate al colmo superiori alla portata biennale**: è possibile che in un anno si verifichino più portate superiori (o uguali) a quella con tempo di ritorno di 2 anni. In tal caso è utile conoscerne il numero di eventi e le relative portate al colmo.

1.2 Estensione e continuità piana inondabile

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 ó 150 anni), con dislivelli significativi rispetto alla pianura alluvionale e normalmente non più soggetto ad inondazione;
- **Piana inondabile**: se non diversamente specificato, si intende la piana inondabile in s.s. o attiva o piana inondabile per $T=1-3$ 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 $T > 3$ anni. Tale superficie può inoltre essere indicata come **terrazzo recente basso**, quando il dislivello rispetto all'attuale piana inondabile è modesto a seguito di un'incisione limitata (dell'ordine al massimo di 2-3 m), oppure **terrazzo recente alto**, quando il dislivello è superiore a causa di un'incisione più intensa.

- **Piana inondabile con $T=n$ 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 $n > 3$ si tratta normalmente di un terrazzo recente).

Si definiscono le seguenti due grandezze:

- **Estensione laterale di piana inondabile (El)**: rappresenta la larghezza media nel tratto di studio di piana inondabile e terrazzi recenti bassi.

- **Continuità longitudinale di piana inondabile (Cl)**: è la lunghezza di alveo (in percentuale) interessata dalla presenza di piana inondabile e terrazzi recenti bassi.

La misura di tali parametri viene effettuata, per alvei grandi dimensioni (larghezza >30 m), attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate, integrate da controlli sul terreno.

1.3 Sponde in arretramento

Definizione

Si definiscono due grandezze che descrivono l'entità dei processi di erosione laterale:

- **Lunghezza di sponde in arretramento (Lsa)**: è la lunghezza di sponde nel tratto (in percentuale) in arretramento per erosione.

- **Tasso di arretramento delle sponde (Tas)**: è il tasso medio annuo di arretramento delle sponde nel tratto.

La misura di tali parametri viene effettuata, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate. Per quanto riguarda il tasso di arretramento delle sponde, è possibile effettuare questa misura a partire dal secondo volo aereo disponibile dall'inizio del monitoraggio.

2. Configurazione morfologica

2.1 Indice di sinuosità (si veda paragrafo precedente)

2.2 Indice di intrecciamento (si veda paragrafo precedente)

2.3 Indice di anastomizzazione (si veda paragrafo precedente)

2.4 Lunghezza barre e area isole

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:

- **Lunghezza delle barre laterali (Lbl)**: è la lunghezza di alveo (in percentuale) interessata dalla presenza di barre laterali (comprese le barre di meandro).

- **Lunghezza delle barre longitudinali (Lblo)**: è la lunghezza di alveo (in percentuale) interessata dalla presenza di barre longitudinali.

- **Area delle isole (Ai)** (in m^2).

La misura di tali parametri viene effettuata, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi GIS di immagini telerilevate.

2.5 Configurazione morfologica

Per variazione della configurazione morfologica è inteso il passaggio da una tipologia morfologica ad un'altra. Nel caso di alvei non confinati o semiconfinati e di alvei confinati 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 dall'osservazione sul terreno di una variazione della configurazione del fondo.

2.6 Pendenza del fondo

Si definisce **pendenza del fondo** (S) il rapporto tra il dislivello di quota del fondo e la distanza misurata lungo l'alveo. La misura della pendenza va effettuata attraverso il rilievo del profilo del fondo (punto 3.4), al quale si rimanda. Per ottenere una stima significativa della pendenza media del fondo è necessario che il profilo venga eseguito per una distanza di almeno 10 ó 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 massimo di 10 volte la larghezza.

3. Larghezza e profondità

3.1 Larghezza alveo attivo

L'alveo attivo (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 attivo sono definiti dalla presenza di piana inondabile attiva o, in sua assenza, del terrazzo più basso che è a contatto con l'alveo. La **larghezza dell'alveo attivo** (L) è quindi misurabile una volta delimitato l'alveo attivo. La misura viene effettuata, per alvei di grandi dimensioni (larghezza > 30 m), attraverso analisi GIS di immagini telerilevate su un certo numero significativo di sezioni ricavando un valore medio per il tratto. La misura della larghezza dell'alveo attivo non comprende le eventuali isole fluviali presenti. In tali casi, è utile misurare anche la **larghezza totale dell'alveo** o **larghezza dell'alveo con isole** (L_t) con le stesse modalità.

Le misure di larghezza vengono effettuate anche sul terreno in corrispondenza delle sezioni utilizzate anche per la misura della profondità (punto 3.2).

3.2 Profondità alveo attivo

Si tratta della **profondità** (P) 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). Le variazioni temporali di profondità della sezione di alveo pieno sono attribuibili a processi di incisione o sedimentazione. La misura avviene esclusivamente sul terreno, attraverso il rilievo topografico di sezioni trasversali e l'identificazione su di esse del livello ad alveo pieno. È opportuno identificare 3 sezioni rappresentative nel sito di monitoraggio, poste a distanza compresa tra 0.5 e 2 volte la larghezza dell'alveo e disposte all'incirca ortogonalmente rispetto all'asse dell'alveo. Si procede quindi al calcolo della profondità, distinguendo:

- **profondità massima** (P_{max}): è data dalla differenza tra livello ad alveo pieno e quota minima del fondo.
- **profondità media** (P_{med}): si può determinare: (1) differenza tra la quota del livello di *bankfull* e la quota media del fondo; (2) rapporto tra area della sezione e larghezza.

3.3 Rapporto larghezza / profondità

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 attivo e profondità media. Il calcolo di tale rapporto deriva direttamente dal rapporto delle misure della larghezza e della profondità media, ricavate dai rilievi sul terreno delle sezioni.

3.4 Quota del fondo

La **quota del fondo** (Z) è la grandezza più direttamente associabile 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 meno alla scala del tratto, in quanto la scala del sito può risentire di situazioni localizzate. 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). 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.

4. Struttura e substrato dell'alveo

4.1 Dimensioni granulometriche del fondo

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

Alvei in ghiaia ó ciottoli guadabili: si esegue un campionamento areale superficiale con metodo numerale (o statistico) (*pebble counts grid-by-number*), eseguito sia su superfici emerse (barre) che, dove possibile, sulle porzioni sommerse (canali).

Alvei in sabbia e/o di elevata profondità: 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 peso del campione da analizzare si stabilisce in base alla dimensione massima delle particelle presenti. Il campione viene successivamente sottoposto ad analisi granulometrica in laboratorio tramite setacciatura.

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

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. Il *clogging* (indicato anche come *embeddedness*) consiste invece nell'occlusione degli interstizi dei sedimenti grossolani del fondo da parte di materiale fine (sabbia, limo, argilla).

Per il **grado di corazzamento** in prima analisi si effettua una valutazione qualitativa che si basa su un criterio di presenza / assenza di evidenti fenomeni di corazzamento. A tal fine, si distingue tra: (a) corazzamento 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) corazzamento 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*). Nel caso in cui la maggioranza dei punti analizzati visivamente è stata giudicata come associabile ad un corazzamento accentuato, è opportuno procedere ad un campionamento volumetrico del sottostrato in un punto scelto come campione per misurare l'effettivo grado di corazzamento, quantificato attraverso il rapporto tra D_{50} dello strato superficiale e D_{50} del sottostrato.

Per quanto riguarda il **clogging** (o *embeddedness*), 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 superficie delle aree interessate da evidente occlusione degli interstizi, escludendo le unità di pozza. Si distinguono le seguenti classi:

- 1) *clogging* poco significativo (<30%)
- 2) *clogging* intermedio (30-60%)
- 3) *clogging* diffuso (>60%)

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.

4.3 Abbondanza di materiale legnoso di grandi dimensioni (LW)

Il materiale legnoso di grandi dimensioni (LW: *Large Wood*) comprende gli elementi (tronchi, rami e ceppaie) con diametro > 10 cm e lunghezza > 1 m. Ai fini del monitoraggio idromorfologico, il parametro più significativo è identificato con la **densità di LW** (N_{LW}), le cui variazioni nel tempo possano indicare possibili alterazioni nel corso d'acqua. 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. Vengono effettuati due tipi di conteggi:

- *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.

Le misure possono essere limitate ai LW presenti all'interno dell'alveo attivo. Successivamente è necessario stimare (in GIS) l'area dell'alveo attivo indagata, attraverso la quale si ricavano i due seguenti parametri:

- **Densità singoli LW** (D_{SLW}): numero di singoli tronchi con dimensioni al di sopra di quelle minime diviso l'area del sito di indagine;
- **Densità accumuli LW** (D_{ALW}): 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.

5. Vegetazione nella fascia perifluviale

Questa categoria comprende le caratteristiche vegetazionali nella fascia perifluviale, definendone tre aspetti, coerentemente a quanto previsto dall'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF 2007).

5.1 Vegetazione presente nella fascia perifluviale

La *Vegetazione nella fascia perifluviale (Vf)* deve essere valutata in termini di composizione e struttura delle formazioni presenti nella fascia perifluviale, al fine di valutare la presenza e lo stato di formazioni vegetali efficienti nello svolgimento delle funzioni tipiche di tale fascia (costituzione di habitat, capacità autodepurativa, funzione filtro, omeostasi idraulica, ecc.). Vengono individuate e classificate le formazioni presenti nella fascia perifluviale secondo quanto specificato in dettaglio nel manuale IFF 2007. Tale individuazione viene effettuata attraverso rilievi sul terreno.

5.2 Ampiezza e continuità delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale

Per descrivere correttamente la fisionomia delle formazioni vegetali presenti lungo il corso d'acqua, si fa riferimento ad ampiezza e continuità delle formazioni funzionali ovvero di quelle formazioni vegetali efficienti nello svolgimento delle funzioni tipiche ecologiche tipiche di tale fascia (costituzione di habitat, capacità autodepurativa, funzione filtro, omeostasi idraulica, ecc.). Si considerano le due seguenti grandezze:

- **Ampiezza delle formazioni (Af)**: si valuta l'ampiezza complessiva media nel tratto di tutte le formazioni funzionali.
- **Continuità delle formazioni (Cf)**: prendendo in considerazione la fascia perifluviale (primaria o secondaria) si rileva la presenza, la frequenza e l'ampiezza delle interruzioni di continuità nelle formazioni funzionali nella fascia stessa (quali suolo nudo, formazioni erbacee non igrofile, formazioni arbustive a dominanza di esotiche ed infestanti).

Le misure sono effettuate attraverso rilievi sul terreno integrati da analisi in ambiente GIS di immagini telerilevate. Il rilievo deve essere effettuato secondo quanto specificato in dettaglio nel manuale IFF 2007.

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 foto aeree. La scala temporale dei rilievi è quindi, in questo caso, variabile. In assenza di informazioni fornite dagli enti competenti, il rilievo delle nuove opere deve essere effettuato in occasione degli altri rilievi sul terreno, quindi con cadenza di 3 anni. 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. In Tabella 8 si riporta l'elenco degli elementi antropici da monitorare.

Categorie	Elementi antropici
1. Continuità (longitudinale e laterale)	1.1 Dighe 1.2 Briglie, traverse e soglie 1.3 Diversivi o scolmatori 1.4 Casse di espansione

	1.5 Arginature 1.6 Eliminazione, riduzione o modifica di forme fluviali nella piana alluvionale 1.7 Difese di sponda longitudinali 1.8 Variazioni areali della fascia erodibile
2. Configurazione morfologica	2.1 Pennelli 2.2 Difese di sponda longitudinali 2.3 Tagli di meandro (rettificazioni) e altre variazioni artificiali di tracciato 2.4 Dighe 2.5 Briglie, traverse e soglie 2.6 Rampe in massi
3. Larghezza e profondità	3.1 Pennelli 3.2 Difese di sponda longitudinali 3.3 Dighe 3.4 Briglie, traverse e soglie 3.5 Rampe in massi 3.6 Interventi di escavazione e/o rimodellamento dell'alveo
4. Struttura e substrato alveo	4.1 Interventi di stabilizzazione totale o parziale del fondo 4.2 Interventi di escavazione e/o ricalibratura alveo 4.3 Interventi di rimozione del materiale legnoso in alveo
5. Vegetazione nella fascia perifluviale	5.1 Modifica della vegetazione nella fascia perifluviale

Tabella 8 - Elementi antropici da monitorare divisi per categorie.

1. Continuità

Per quanto riguarda le opere che influiscono sulla **continuità longitudinale** dei flussi liquidi e solidi, 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.

Sono inoltre considerati tutti quegli interventi o attività antropiche che vanno ad influire sui processi fisici di **continuità laterale** (esondazioni e mobilità laterale del corso d'acqua).

1.1 Dighe

È necessario conoscere: (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_2 e Q_{10} ; (8) entità delle variazioni indotte complessive sul regime idrologico annuale, dove esistano studi in merito.

1.2 Briglie, traverse e soglie

È necessario conoscere per ciascuna opera: (1) ubicazione; (2) tipologia, ovvero traversa per derivazione, briglie/soglie di consolidamento, briglie di trattenuta a corpo pieno, briglie di trattenuta filtranti (a fessura, a finestra, a pettine, a graticcio), briglie frangicolata; (3) materiale costruttivo (massi, muratura, calcestruzzo, cemento armato); (4) altezza; (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.

1.3 Diversivi o scolmatori

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). È necessario conoscere: (1) ubicazione; (2) anno di inizio del funzionamento; (3) presenza o meno di eventuali misure di manutenzione che prevedano interventi di rimozione o spostamento di sedimenti; (4) entità delle variazioni previste sulle portate di picco, con particolare riferimento alle Q_2 e Q_{10} .

1.4 Casse di espansione

Si tratta di 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 parte sul trasporto solido. È necessario conoscere per queste opere: (1) ubicazione; (2) tipologia (in derivazione laterale, in linea); (3) anno di inizio del funzionamento; (4) presenza o meno di eventuali misure di manutenzione che prevedano interventi di rimozione o spostamento di sedimenti; (5) volumetria complessiva di invaso; (6) entità delle variazioni previste sulle portate di picco, con particolare riferimento alle Q_2 e Q_{10} .

1.5 Arginature

È necessario determinare: (1) ubicazione; (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 (sovralti) di argini già esistenti.

1.6 Eliminazione, riduzione o modifica di forme fluviali nella piana alluvionale

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

1.7 Difese di sponda longitudinali

È necessario conoscerne: (1) ubicazione; (2) tipologia (muri in calcestruzzo o pietrame, scogliera in massi, gabbioni, palificata, ecc., specificando l'eventuale presenza di rinverdimento); (3) dimensioni (lunghezza lineare, altezza); (4) anno di realizzazione.

1.8 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). Qualora non precedentemente determinata sulla base di analisi GIS delle variazioni di tracciato passate, tale fascia può essere preliminarmente identificata almeno con: (1) la

larghezza dell'alveo del 1954-55 (rilevabile in base al volo IGM GAI) nel caso (come spesso accade) in cui l'alveo attuale è contenuto all'interno di quello del 1954-55; oppure (2) l'inviluppo esterno tra limiti dell'alveo del 1954-55 e limiti dell'alveo attuale, nel caso in cui quest'ultimo abbia subito degli spostamenti laterali e non è contenuto nell'alveo del 1954-55. 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 tutta la superficie retrostante (lato opposto a quello verso il fiume) eventualmente presente, che perde ogni possibilità di connessione morfologica per la presenza del nuovo elemento insediativo.

2. Configurazione morfologica

Rientrano in questa categoria tutte le opere che possano avere effetti sulla configurazione morfologica dell'alveo, sia in senso planimetrico che altimetrico.

2.1 Pennelli

È necessario conoscerne: (1) ubicazione; (2) tipologia planimetrica (normali alla corrente, verso, verso monte/valle); (3) tipologia forma (asta semplice, a hockey, a baionetta); (4) materiale costruttivo (massi, legname, calcestruzzo); (3) dimensioni (lunghezza, altezza); (4) anno di realizzazione.

2.2 Difese di sponda longitudinali: si veda punto 1.6.

2.3 Tagli di meandro (rettificazioni) e altre variazioni di tracciato

È necessario conoscerne: (1) ubicazione; (2) dimensioni (lunghezza del tratto precedente e successivo all'intervento); (3) anno di realizzazione.

2.4 Dighe

Nel caso di realizzazione di una diga nel tratto di monitoraggio (in questa categoria non rientrano le dighe dei tratti a monte), essa comporterà ovviamente una forte alterazione della configurazione morfologica, determinandone una diversa suddivisione in tratti (separazione di un tratto a monte ed uno a valle della diga). Per gli aspetti che è necessario conoscere si rimanda al punto 1.1.

2.5 Briglie, traverse e soglie

Per queste opere si rimanda al punto 1.2 (si noti che ai fini di questa categoria interessano solo le opere incluse nel tratto di monitoraggio e non in quelli a monte).

2.6 Rampe in massi

Non avendo significativi effetti in termini di intercettazione del trasporto solido, tali interventi sono inseriti in questa categoria (piuttosto che nella categoria 1) potendo invece avere effetti sulla pendenza del fondo. È necessario conoscerne: (1) ubicazione; (2) dimensioni (lunghezza, dislivello complessivo); (3) anno di realizzazione.

3. Larghezza e profondità

Le opere che possono determinare variazioni della larghezza e della profondità della sezione e della quota del fondo sono riconducibili a quanto già definito in precedenza:

3.1 Pennelli o altri deflettori: si veda punto 2.1;

3.2 Difese di sponda longitudinali: si veda punto 2.2;

3.3 Dighe: si veda punto 1.1;

3.4 Briglie, traverse e soglie: si veda punto 1.2;

3.5 Rampe in massi: si veda punto 2.6.

Ad esse si aggiungono:

3.6 Interventi di escavazione e/o ricalibratura dell'alveo

Si tratta di interventi che possono modificare la geometria della sezione e/o le quote del fondo (oltre che, nel caso di escavazione, determinare una riduzione di volumi di sedimenti per il trasporto solido). È necessario determinare: (1) ubicazione; (2) tipologia (rimozione di sedimenti, modellamento del fondo, riprofilatura delle sponde, ecc.); (3) dimensioni: lunghezza del tratto interessato e variazioni di quota del fondo (a tal fine si rimanda al rilievo delle sezioni e della quota del fondo, punti 3.1 e 3.4 del paragrafo 6.1.3); (4) anno dell'intervento.

4. Struttura e substrato alveo

Rientrano in questa categoria quelle opere e interventi che vanno a modificare o rimaneggiare la struttura e/o tessitura dei sedimenti del fondo, incluso il materiale legnoso (LW).

4.1 Interventi di stabilizzazione totale o parziale 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 dell'alveo con materiale sciolto di pezzatura grossolana, e le opere trasversali già analizzate sopra (dighe, briglie, soglie, traverse, rampe in massi) le quali causando una modifica nel profilo longitudinale ne alterano la distribuzione granulometrica.

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

4.2 Interventi di escavazione e/o ricalibratura dell'alveo

Tali interventi, oltre agli effetti già descritti precedentemente, possono provocare significative modifiche e rimaneggiamenti della tessitura e della struttura dei sedimenti del fondo (rimozione dello strato superficiale, dilavamento del materiale fine, ecc.). Per gli elementi da determinare si rimanda al punto 3.6.

4.3 Interventi di rimozione del materiale legnoso in alveo

È necessario conoscere l'eventuale realizzazione di interventi di rimozione del materiale legnoso di grandi dimensioni (LW) 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) anno dell'intervento; (3) eventuale stima del volume o massa asportata. Tali informazioni sono ovviamente 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.

5. Vegetazione nella fascia perifluviale

Quest'ultima categoria include tutti quegli interventi o attività antropiche che vanno a modificare le caratteristiche della vegetazione della fascia riparia.

5.1 Modifica della 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 e 5.2 (si veda paragrafo precedente); 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.

3.2 Monitoraggio operativo ed investigativo

Per il **monitoraggio operativo**, gli aspetti ed i parametri da tenere sotto controllo non variano rispetto al monitoraggio di sorveglianza. Per quanto riguarda la **scala spaziale**, è necessario estendere il più possibile le misure e le osservazioni a tutto il tratto che risulta a rischio, vale a dire raffittire i siti di campionamento in modo da avere una copertura maggiore del tratto. È necessario inoltre aumentare la **frequenza temporale delle misure**: (1) per quanto riguarda le misure da effettuare sul terreno, la scansione temporale può essere di 1 volta ogni anno; (2) per le misure da immagini telerilevate, la frequenza dipende di nuovo dalla ripetibilità di voli a scala adeguata da poter permettere la misura dei parametri di interesse, ma la scansione temporale deve essere possibilmente inferiore ai 3 anni.

Nel caso in cui le alterazioni fisiche a cui è soggetto il tratto sono tali da indurre un rischio di significativa perdita di habitat in alveo, può essere necessario prevedere un rilevamento sistematico degli habitat stessi, ripetuto con la stessa frequenza delle altre misure.

Per il **monitoraggio investigativo**, è necessario programmarlo caso per caso, a seconda del problema specifico da indagare. Ciò premesso, si possono fare le seguenti considerazioni di carattere generale relativamente agli aspetti idromorfologici:

- Rispetto a problemi (quali sversamento accidentale di inquinanti, ecc.) per i quali più si presta il monitoraggio investigativo, va tenuto conto che nel caso di aggiustamenti morfologici le risposte in genere sono lente e le cause possono essere anche distanti, oltre che nello spazio (a scala di bacino), anche nel tempo. Ciò rende certamente complesso un monitoraggio che vada ad accertare al giorno d'oggi le cause di una alterazione fisica che invece potrebbero essere legate ad eventi o disturbi pregressi.

- Nel caso di un'alterazione fisica di cui si vogliono comprendere le cause, è quindi necessaria un'analisi delle cause ad una scala spazio o temporale sufficientemente ampia. Vanno innanzitutto individuate tutte le opere o attività antropiche in alveo, nelle zone adiacenti, nonché nel bacino sotteso che possano aver comportato una alterazione delle portate liquide e/o solide.

- Se l'alterazione fisica si è riscontrata a seguito di una piena, questo potrebbe essere dovuto a: (a) esistenza di una effettiva alterazione nel bilancio tra portate liquide e solide che tale piena ha dato modo di far manifestare in un determinato tratto; oppure (b) può essere che le variazioni morfologiche avvenute siano state dovute ad una piena di una certa intensità, ma che non siano realmente sintomo di un qualche tipo di alterazione di un trend che va interpretato in una scala temporale più ampia. In tali

casi, oltre all'analisi delle possibili cause antropiche, è opportuno anzitutto valutare il tempo di ritorno di questa piena e, nel periodo successivo, monitorare con attenzione l'evoluzione, attraverso misure comunque riconducibili a quelle descritte a proposito del monitoraggio operativo.