

Rapporto relativo all'attività T2.2.2:

Metodologia di analisi dei fenomeni legati
al bilancio sedimentario.

Contributo tecnico del Partner Arpas al
Prodotto T2.2.3: Metodologia bilancio
sedimentario: l'apporto sedimentario dai bacini
idrografici

Sommario

1	Introduzione	3
2	Bilancio sedimentario delle spiagge: la valutazione qualitativa e quantitativa delle relazioni tra il bacino idrografico alimentatore e le spiagge.	4
2.1	La struttura del metodo	4
2.1.1	Caratterizzazione del sistema fluviale (Fase 1).....	5
2.1.1.1	Le scale spaziali e temporali di rappresentazione:.....	5
2.1.1.2	Inquadramento geologico e geomorfologico	6
2.1.1.3	Caratterizzazione sedimentologica e mineropetrografica	7
2.1.1.4	Inquadramento idrogeologico;.....	9
2.1.1.5	Inquadramento climatologico e idrologico	9
2.1.1.6	Uso del suolo e copertura vegetale.....	10
2.1.1.7	Opere di alterazione delle portate liquide e solide nel bacino.	11
2.1.1.8	Il bilancio di sedimenti e la stima/valutazione del trasporto solido.....	11
2.1.2	Evoluzione passata e valutazione delle condizioni attuali (Fase 2)	14
2.1.2.1	Misura degli indici morfologici (quota del fondo, sinuosità, intrecciamento, etc.) ed analisi storica della variazione della configurazione morfologica.....	14
2.1.2.2	La valutazione dello stato morfologico: l'Indice IQM.....	17
2.1.3	Monitoraggio morfologico della rete idrografica, dell'alveo principale e del settore focivo (Fase 3)	18
2.1.3.1	Monitoraggio degli elementi morfologici naturali	18
2.1.3.2	Monitoraggio degli elementi artificiali.....	19
2.1.3.3	Altri elementi per l'analisi ed il monitoraggio: le portate solide e l'uso del suolo.....	19
2.1.4	La gestione dei sedimenti e il Piano degli interventi (Fase 4)	20

1 Introduzione

L'analisi sviluppata nell'ambito della Component T2, e più specificatamente l'attività T1.2, sintetizzata nel Report T.1.1. "Analisi critica dei sistemi di monitoraggio e della tipologia di dati monitorati con valutazione costi benefici delle metodologie utilizzate" in riferimento all'aspetto specifico dedicato ai sistemi di monitoraggio dei "bacini idrografici che alimentano l'input ed il trasporto solido fluviale alle foci", ha messo in evidenza, per le ragioni già rappresentate, una carenza e una scarsa disponibilità di dati e informazioni relativa agli studi sui processi fluviali di erosione, trasferimento e deposizione dei sedimenti nei settori costieri sottesi.

È risultata altresì evidente la necessità di disporre di metodologie e protocolli tecnici per l'analisi di tali problematiche anche al fine di contribuire alla valutazione del bilancio sedimentario delle spiagge. Come già evidenziato nel citato documento i sistemi fluviali rappresentano la rete naturale principale attraverso la quale avviene il trasferimento dei sedimenti dalle zone di produzione sui versanti alle zone di deposito, come le pianure alluvionali, e infine, alle foci ed ai litorali. La quantità di sedimenti sabbiosi che viene rilasciata alla foce di un fiume è il risultato di complessi fenomeni naturali, geomorfologici, idrologici ed idraulici che continuamente interagiscono e che, a loro volta, sono influenzati direttamente o indirettamente dalle varie attività antropiche.

La comprensione di tali fenomeni è dunque requisito essenziale, oltre che per la prevenzione del dissesto idrogeologico e la progettazione e la gestione di opere idrauliche anche per qualunque attività di gestione dei litorali e, prioritariamente, di quelli sottesi a bacini idrografici. Quest'ultimo obiettivo può esaustivamente essere perseguito solo attraverso un'adeguata conoscenza della quantità, della qualità e della distribuzione nello spazio e nel tempo dei sedimenti, quindi in primo luogo degli apporti dei corsi d'acqua. A tale scopo è necessario disporre di un quadro conoscitivo del sistema (bacino idrografico) e di strumenti di analisi e valutazione, diretta e indiretta, del trasporto solido fluviale.

Si è ritenuto pertanto strategico, analogamente all'approccio adottato per la valutazione del "trasporto solido litoraneo" nell'ambito di "spiaggia" (emersa e sommersa), predisporre uno schema metodologico comprendente indicatori e parametri analitici misurabili che consenta di caratterizzare l'ambiente fluviale, valutando le tendenze evolutive del corso d'acqua, le dinamiche di trasporto e la quantificazione in termini volumetrici dei sedimenti, quale input sedimentario verso le Unità fisiografiche/Celle sedimentarie costiere.

La proposta è sviluppata secondo uno schema metodologico di base che richiama la metodologia IDRAIM*, protocollo già adottato in Italia per la valutazione idromorfologica dei corsi d'acqua.

Nel contesto del Progetto Maregot tale metodologia è stata semplificata e adattata alle finalità progettuali a riprova della sua riconosciuta flessibilità per gli studi di riqualificazione fluviale, la gestione dei sedimenti e la pianificazione degli interventi di ripristino morfologico.

La proposta è da ritenersi integrata alla metodologia relativa al bilancio sedimentario "spiagge".

*(Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. (2016): IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Versione aggiornata 2016 – ISPRA – Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, gennaio 2016).

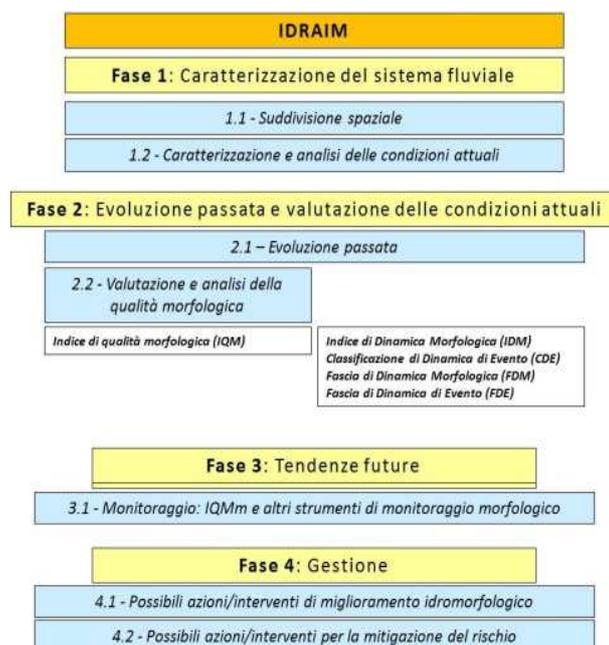
2 Bilancio sedimentario delle spiagge: la valutazione qualitativa e quantitativa delle relazioni tra il bacino idrografico alimentatore e le spiagge.

2.1 La struttura del metodo

Il metodo proposto si sviluppa secondo uno schema lineare, rappresentato per fasi logiche, multicriteriali e sequenziali tra loro, che richiama, per le sue caratteristiche e per l'applicazione della caratterizzazione idromorfologica dei corsi d'acqua, la metodologia IDRAIM, (*Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. (2016): IDRAIM – Sistemi di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua* – ISPRA - Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, gennaio 2016).

L'utilizzo del metodo consente di caratterizzare l'intero sistema idrografico, attraverso l'identificazione e l'analisi delle condizioni attuali (Fase 1), la valutazione della loro evoluzione, alle diverse scale spaziali e temporali, (Fase 2), il monitoraggio e la previsione delle tendenze evolutive (Fase 3).

Lo sviluppo delle tre Fasi su descritte, propedeutiche per lo sviluppo del progetto e, per l'applicazione del metodo nelle "aree pilota", conduce alla Fase 4 (Gestione e Governance) con l'individuazione di possibili azioni finalizzate al miglioramento idromorfologico e quindi alla definizione di un "Piano di gestione dei sedimenti e di definizione degli interventi" secondo le seguenti indicazioni:



IDRAIM, (*Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. - Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, gennaio 2016 - Adattato*)

- ✓ priorità d'azione e selezione dei tratti critici (qualità idromorfologica e identificazione dei fattori d'alterazione; definizione delle priorità d'azione e identificazione delle criticità)
- ✓ scenari d'intervento per il miglioramento dei flussi sedimentari (proposte di miglioramento morfologico, valutazione e monitoraggio degli effetti).

Gli obiettivi da raggiungere possono essere sintetizzati nello schema a lato.

È evidente che tale fase, di pianificazione e governance, andrà coordinata con la metodologia complessiva di “gestione integrata” adottata nell’ambito del Progetto Maregot in riferimento agli altri aspetti metodologici trattati (Clima ondoso, coste alte, habitat ed ecosistemi, gestione del rischio costiero).

- Obiettivo 1:** comprensione delle dinamiche fluviali geomorfologiche e sedi-mentarie dei corsi d’acqua che sfociano nel settore costiero;
- Obiettivo 2:** caratterizzazione quali-quantitativa del trasporto solido;
- Obiettivo 3:** gestione dei sedimenti e proposta di interventi sull’assetto plano-altimetrico degli alvei e dei corridoi fluviali, al fine di migliorare lo stato morfologico del corso d’acqua e conseguentemente l’apporto sedimentario verso la costa.

2.1.1 Caratterizzazione del sistema fluviale (Fase 1)

La prima fase di caratterizzazione ha lo scopo di definire un quadro conoscitivo a scala spaziale e temporale adeguata, in relazione allo stato geomorfologico attuale del corso d’acqua, alla traiettoria evolutiva degli alvei, alle dinamiche in atto, ai volumi di trasporto liquido e solido, all’interferenza delle opere presenti con i processi morfologici e a ogni elemento utile alla definizione degli obiettivi progettuali.

2.1.1.1 Le scale spaziali e temporali di rappresentazione:

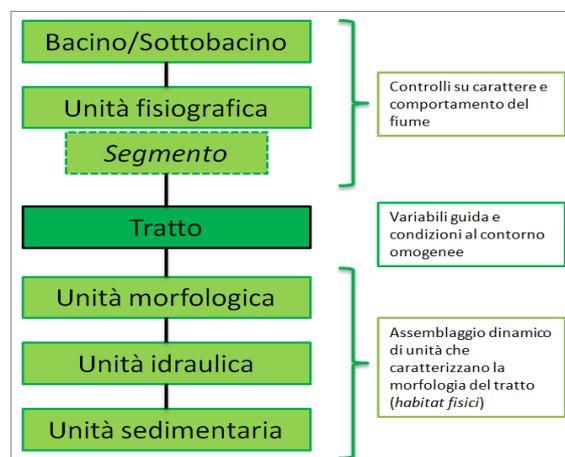
Per quanto riguarda le scale spaziali di analisi, è adottato un approccio di suddivisione secondo uno schema che prevede l’analisi del bacino/ sottobacino a scala di “area vasta” (1:10.000) e un’analisi a scala di dettaglio (non inferiore a 1:2.000) per le altre unità gerarchicamente sottostanti (tratto, unità morfologica, unità sedimentaria, unità idraulica, etc.). Il **bacino idrografico/sottobacino** sotteso dalla porzione di corso d’acqua presa in esame, rappresenta l’unità spaziale fondamentale di partenza.

Le unità fisiografiche (corrispondenti alle landscape units secondo *Brierley & Fryirs, 2005*) sono aree relativamente omogenee all’interno del bacino per caratteristiche morfologico-fisiografiche (area montuosa, collinare, pianura intermontana, bassa pianura, etc.).

All’interno di ogni unità fisiografica, è possibile individuare uno o più segmenti.

Il **segmento** (segment o valley sector) costituisce un “macrotratto” relativamente omogeneo, che viene definito dai limiti dell’unità fisiografica all’interno della quale si colloca e da altre eventuali forti variazioni idrologiche (affluenti di dimensioni molto rilevanti) e/o evidenti discontinuità di confinamento (ad es., passaggio da porzioni non confinate-semiconfinate a porzioni completamente confinate).

Il **tratto** rappresenta l’unità spaziale fondamentale. La suddivisione in tratti si basa



su vari aspetti, quali il grado di confinamento, la morfologia dell'alveo, le principali discontinuità idrologiche, e la presenza di elementi antropici molto rilevanti (ad es., dighe o tratti fortemente artificializzati).

Unità morfologica. La morfologia di un tratto è determinata dalla presenza e dall'associazione delle varie unità morfologiche che costituiscono una certa configurazione morfologica (barra, canale, isola, riffle, pool, etc.) (geomorphic units secondo *Brierley & Fryirs*, 2005). Al fine di caratterizzare l'associazione completa delle unità presenti in un tratto, è possibile fare riferimento a un sottotratto (o "sito"). Per alvei a canale singolo, quest'ultimo ha una lunghezza generalmente compresa tra 10 e 20 volte la larghezza, mentre per alvei a canali intrecciati, ha una lunghezza confrontabile con la larghezza stessa, e comunque di norma non superiore ai 500 m. All'interno di una stessa unità morfologica, è possibile individuare porzioni con caratteristiche idrauliche e di tipologia di substrato relativamente omogenee. Si tratta di unità spaziali di piccole dimensioni ed estremamente dinamiche, le quali determinano le caratteristiche e la diversità degli habitat fisici presenti. L'unità morfologica coincide con il mesohabitat, mentre le **unità idrauliche e sedimentarie** vanno a definire i cosiddetti Microhabitat.

Le scale temporali di analisi, in linea generale, comprenderanno:

- la Scala geologica ($10^4 \div 10^6$ anni), geologia e fisiografia del bacino e l'evoluzione del reticolo idrografico nel lungo termine (ad es.: catture fluviali, fenomeni di sovrimposizione);
- la Scala storica ($10^2 \div 10^3$ anni), morfologia dei corsi d'acqua in tempi storici, tipi di sistemazioni e altri tipi di controlli antropici a cui sono stati soggetti;
- la Media scala temporale (ultimi 100÷150 anni), la scala più importante per identificare e comprendere l'attuale forma dei corsi d'acqua, a seguito di variazioni morfologiche planimetriche (alveo ristretto o allargato) o altimetriche (alveo inciso o aggradato). È la scala di maggiore interesse per studi di carattere applicativo (denominata talora anche scala gestionale); al suo interno si possono ulteriormente distinguere:
 - ✓ Scala degli ultimi 10÷15 anni, che è la scala più adatta per definire le tendenze attuali (alveo in incisione, in sedimentazione o in equilibrio dinamico).
 - ✓ Scala annuale/stagionale, che è una scala poco significativa per l'interpretazione delle forme e dei processi evolutivi ma, viceversa, può avere qualche effetto temporaneo sulle caratteristiche granulometriche e/o vegetazionali locali, in funzione degli eventi verificatisi durante l'ultimo ciclo stagionale.

2.1.1.2 Inquadramento geologico e geomorfologico

Ai fini delle successive considerazioni e valutazioni relative alla produzione di sedimenti, è importante effettuare una distinzione e quantificazione delle aree del bacino con affioramento del substrato, distinguendolo dalle coperture e depositi quaternari. È utile raggruppare le rocce del substrato in più macro-classi, comprese tra le rocce più resistenti e più facilmente erodibili e mobilizzabili. Tale valutazione viene effettuata producendo carte geologiche e geolitologiche in scala non inferiore 1:10.000 dove sarà altresì utile delineare le strutture tettoniche principali, sia attive che inattive, che possono avere dei controlli sull'impostazione del reticolo idrografico.

Più specificatamente, la cartografia dovrà evidenziare, sotto forma di simboli e/o aree, i fattori geologico-strutturali principali e dovrà contenere le seguenti informazioni:

litologia: il rilevamento deve evidenziare i caratteri di omogeneità litologica, come elemento di base, sottolineandone gli aspetti tecnicamente utili sotto il profilo applicativo. Inoltre è necessario affiancare anche descrizioni inerenti alla tessitura, stratificazione ed i rapporti giaciturali.

stato dell'ammasso roccioso: è importante per le valutazioni tecniche una descrizione sullo stato fisico dell'ammasso che dovrà evidenziare lo stato di fratturazione e di alterazione dei complessi litologici affioranti con evidenziate le zone cataclastiche e le zone fortemente fratturate; dovranno essere analizzati sia gli elementi strutturali di origine primaria (stratificazione, discontinuità stratigrafiche etc.) sia quelli di origine secondaria (sistemi di faglie e fratture, sovrascorrimenti, etc.).

natura e spessore delle coperture detritiche: oltre alla rappresentazione dei terreni del "substrato" deve essere privilegiata la rappresentazione dei terreni, comprendendo anche i suoli, in senso geopedologico, generalmente definiti come "Coperture del Quaternario", distinguendo i depositi sulla base della loro genesi, tessitura e classi di spessore, ricavando tale dato da osservazioni di campagna, da dati derivanti da indagini dirette pregresse e da fotointerpretazioni;

Relativamente agli aspetti geomorfologici, in questa fase è necessario disporre di un quadro complessivo dell'evoluzione geomorfologica dell'area, in particolare a partire dall'ultima espansione glaciale ed il corrispondente approfondimento eustatico del livello marino (*Low Glacial Maximum*), e in relazione ai suoi effetti e dei processi attuali (oltre ai processi fluviali, è importante individuare quali altri processi sono diffusi nel bacino, ad es. gravitativi, erosione accelerata, etc.).

In tale ambito sarà sviluppata un'analisi approfondita che consenta di descrivere:

- l'ordinamento gerarchico del reticolo idrografico secondo gli schemi ordinativi di Horton-Strahler (applicazione delle 4 leggi di Horton) e di Shreve (calcolo della funzione di larghezza);
- la caratterizzazione morfometrica e geomorfologica dei bacini e calcolo dei relativi indici morfometrici (rapporto di circolarità, fattore di forma, rapporto di allungamento, coefficiente di Gravelius);
- l'analisi delle caratteristiche altimetriche dei bacini:
 - ✓ sviluppo della curva ipsografica;
 - ✓ stima dell'altitudine media e dell'indice di maturità (a partire dalla curva ipsografica adimensionalizzata);
- la pendenza media del bacino, pendenza e lunghezza dell'asta principale;
- la definizione del grado e dell'indice di confinamento ($G_c - I_c$);
- la suddivisione in tratti fluviali.

2.1.1.3 Caratterizzazione sedimentologica e mineropetrografica

Contemporaneamente alla fase di rilevamento geomorfologico, e tenendo conto dei progressivi risultati dovrà essere condotta una campagna di analisi granulometriche finalizzata alla caratterizzazione ed allo studio della variabilità in senso spaziale (da monte verso valle) dei sedimenti presenti in alveo ed all'applicazione di opportuna modellistica idrologica per la valutazione del trasporto solido fluviale.

Saranno definiti i seguenti aspetti:

- a) unità fisiografica/sedimentaria in corrispondenza della quale si vuole campionare;
- b) metodo di campionamento;
- c) metodologia di analisi in laboratorio.

Per quanto riguarda l'unità fisiografica da campionare, si stabilisce di effettuare le misure sempre su porzioni dell'alveo emerse, cioè in corrispondenza di barre, aree in sovralluvionamento, sezioni significative per la presenza di opere idrauliche, foci, etc., avendo cura di distinguere l'eventuale corazzamento del fondo.

Sulla base delle informazioni acquisite nelle fasi precedenti (campo, rilievi aerofotogrammetrici, cartografia, etc) potranno essere adottati i seguenti metodi di analisi e/o campionamento (*Church et alii*, 2001):

- A. la griglia di campionamento;
- B. il campionamento con setacciatura preliminare in sito;
- C. il campionamento semplice.

La griglia di campionamento

La metodologia proposta è utilizzabile per sedimenti costituiti principalmente da ciottoli di dimensioni ultra decimetri (categoria A) e consiste nel posare una maglia regolare sulla superficie del terreno su cui effettuare l'analisi e quindi nel misurare il diametro dei clasti che cadono sui nodi di detta griglia

Il campionamento con setacciatura preliminare in sito

La metodologia proposta è utilizzabile per sedimenti costituiti principalmente da ghiaie con dimensioni inferiori al decimetro (categoria B). Seguendo la metodologia proposta da *Church et alii* si deve effettuare una setacciatura preliminare in sito utilizzando un setaccio con luce pari a 100 mm (mesh standard certificato ASTM 4" da 100 mm).

Il campionamento semplice

La metodologia proposta è utilizzabile per sedimenti costituiti principalmente da sabbie e ghiaie (categoria C). Il campionamento deve avvenire in singoli punti individuati opportunamente in alveo asciutto secondo diverse modalità:

- lungo una linea trasversale al letto del fiume, con spaziatura opportuna rispetto alla larghezza del deposito e alle caratteristiche granulometriche individuate macroscopicamente;
- individuando i punti di prelievo ai quattro angoli ed al centro del corpo sabbioso.

I singoli punti di prelievo saranno aliquote di uno stesso campione. Il campione dovrà essere prelevato per tutta la profondità del corpo sabbioso e fino alla profondità massima di 1 m;

Per tutti i tipi di campionatura dovrà essere compilata apposita scheda riportante:

- località di campionamento;
- coordinate geografiche;
- tipo di deposito;
- descrizione litologica speditiva del sedimento;

Analisi granulometrica di laboratorio

I campioni dovranno essere sottoposti, dopo essiccamento a 110°, a setacciatura secondo le

modalità previste dalle normative ASTM D421 e D422.

Le analisi granulometriche potranno essere eseguite anche utilizzando metodologie alternative all'utilizzo di setacci, quali granulometri ad analisi d'immagine, ma che dovranno assicurare la distribuzione granulometrica con risultati in uscita confrontabili e restituibili secondo tabelle di setacci.

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

Analisi minero-petrografica

I sedimenti sabbiosi campionati, sui quali sono state eseguite le analisi granulometriche, verranno sottoposti ad analisi minero-petrografica.

Le osservazioni ed analisi verranno effettuate principalmente con stereo microscopio al fine di determinare le forme dei singoli clasti (*Pettijohn, 1973*) e la loro natura petrografica individuando in prima approssimazione i frammenti di quarzo, di feldspati, di altri minerali o frammenti litici.

Le analisi di forma potranno essere studiate anche con il già citato granulometro ad analisi di immagine. L'analisi mineralogica può essere condotta anche attraverso l'utilizzo di un diffrattometro a raggi X per polveri che permette di eseguire analisi semiquantitative.

I sedimenti campionati dovranno essere inoltre caratterizzati da un punto di vista colorimetrico utilizzando le tavole di Munsell.

2.1.1.4 Inquadramento idrogeologico;

In ambito di pianura è importante la conoscenza dei rapporti fiume-falda. In ambito collinare/montano le conoscenze idrogeologiche sono generalmente più scarse, e sono probabilmente meno rilevanti ai fini del metodo. Tuttavia, studi esistenti che riportino schemi e meccanismi di circolazione idrica sotterranea possono fornire utili informazioni.

2.1.1.5 Inquadramento climatologico e idrologico

Si caratterizzano i principali aspetti climatici (temperature medie, minime e massime, etc.) nelle varie porzioni del bacino comprendendo il regime delle precipitazioni e delle portate liquide nelle varie porzioni del bacino. I dati pluviometrici e idrometrici possono essere sintetizzati ricavando i valori medi dei parametri più significativi (per es., precipitazione media, portate medie e massime a scala mensile e annuale) o possono permettere di costruire diagrammi relativi alle variazioni mensili o stagionali. Qualora ve ne fosse la necessità sarebbe auspicabile installare una stazione idrometrica per la stima del livello nelle sezioni significative scelte come riferimento e quindi ricostruire preliminarmente la scala delle portate.

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

In questa fase è utile dunque individuare i punti del sistema fluviale dove esistono sufficienti informazioni sulle portate liquide, vale a dire le stazioni di misura idrometrica per le quali sia disponibile un numero sufficiente di dati storici tale da poter delineare con sufficiente grado di dettaglio il regime idrologico. È noto in letteratura come le portate più significative per i processi morfologici siano quelle con tempi di ritorno relativamente bassi, compresi tra 1 e 3 anni circa. I valori più comunemente usati sono quelli con tempi di ritorno di 1,5 e 2 anni. Tali portate sono generalmente identificate con la portata dominante o formativa e con la portata ad alveo pieno del corso d'acqua. Oltre a tali portate con frequenza intermedia, ai fini di una più completa caratterizzazione dei campi di variabilità, è importante conoscere le portate più frequenti, identificabili con la portata (giornaliera) media annua, e l'occorrenza di eventi estremi durante il periodo di registrazione. Tali portate possono essere utili per meglio definire il regime del corso d'acqua, ad esempio in base al rapporto tra portata massima e portata media. Inoltre, la conoscenza degli eventi più significativi durante il periodo di registrazione può essere utile nell'interpretazione delle tendenze evolutive. Riepilogando, le informazioni richieste per una caratterizzazione di base delle portate significative per gli aspetti morfologici sono le seguenti:

- portata media annua (Qmed), che è ricavata sulla base delle portate giornaliere nell'intervallo di tempo disponibile;
- portata Q1.5, che è la portata con tempo di ritorno di 1.5 anni ricavata dall'analisi statistica delle portate al colmo massime annuali;
- portate massime verificatesi durante l'intervallo di tempo di registrazione, di cui è utile conoscere il valore della portata di picco e la data (o almeno l'anno) in cui si è verificata. Si possono considerare in questa analisi le portate con tempi di ritorno superiori a 10 anni.

Più nel dettaglio l'analisi fornisce:

- Calcolo del tempo di corrivazione dei bacini studio;
- Analisi statistiche dei dati di precipitazione e temperatura misurati nelle stazioni ARPAS interne e limitrofe ai bacini analizzati;
- Tecniche di interpolazione spaziale dei dati climatologici;
- Analisi dei trend di precipitazione e temperatura;
- Calcolo dell'onda di piena e della portata al colmo per fissati tempi di ritorno:
 - ✓ stima delle curve di probabilità pluviometrica (CPP) con il modello probabilistico a quattro parametri TCEV (*Two Component Extreme Value*) e la funzione GEV a tre parametri (*Generalized Extreme Value*);
 - ✓ costruzione dello letogramma Chicago;
 - ✓ determinazione del deflusso superficiale attraverso il metodo del *Curve Number* (CN) e/o del modello PDM (*Probability Distributed Model*);
 - ✓ trasferimento del deflusso superficiale e calcolo dell'onda di piena con il metodo della corrivazione e/o l'IUH (*Istantaneous Unit Hydrograph*) Geomorfologico (GIUH).

2.1.1.6 Uso del suolo e copertura vegetale

Analogamente al punto precedente, è importante avere alcune informazioni di carattere generale a scala di bacino relativamente all'uso del suolo prevalente e alla presenza di tratti fluviali fortemente artificializzati. A tal fine, è utile acquisire i dati sull'uso del suolo e sulla copertura

vegetale relativi al database CORINE Land Cover, aggiornato al più recente stato d'avanzamento (2008).

L'acquisizione di nuovi dati aggiornati del bacino idrografico alla scala 1:10.000 consentirà l'analisi delle variazioni degli ultimi 10 anni; in questa fase si raccolgono anche le informazioni disponibili (da catasti opere, etc.) relative alle opere esistenti nel bacino, con particolare riferimento alle opere trasversali che inducono discontinuità nel flusso di sedimenti e legname.

Successivamente alla suddivisione in tratti è necessario raccogliere e definire il quadro delle conoscenze disponibili:

2.1.1.7 Opere di alterazione delle portate liquide e solide nel bacino.

È opportuno procedere, in questa fase, a una raccolta delle informazioni esistenti riguardo alle opere di alterazione delle portate liquide a scala di bacino che saranno, infatti, indispensabili nella fase di valutazione dello stato attuale. Riguardo a tali opere, (dighe, casse di espansione, derivazioni, canali diversivi o scolmatori, etc.), oltre alla loro ubicazione, è opportuno raccogliere le informazioni disponibili riguardo all'anno di realizzazione, funzionamento (per es., diga per scopi solo idroelettrici o con effetti di laminazione delle portate di piena) ed entità delle alterazioni delle portate liquide.

Le opere di alterazione delle portate solide che occorre considerare sono, invece, quelle che sporgono dal fondo dell'alveo e che possono produrre una totale o parziale intercettazione del trasporto solido al fondo, ovvero dighe, briglie, soglie di fondo e traverse. Anche per tali opere è opportuno raccogliere informazioni riguardo ubicazione, epoca di realizzazione (quando disponibile), eventuale presenza di dispositivi di rilascio di sedimenti. Particolare attenzione va posta, in ambito montano, alla tipologia di briglia (di trattenuta, di consolidamento, filtrante) e al suo grado di riempimento, in modo da valutare se ha un effetto di intercettazione totale o parziale del trasporto solido al fondo oppure (nel caso di totale riempimento) se esercita solo un effetto indiretto di riduzione della capacità di trasporto (ad esempio a causa della riduzione di pendenza).

2.1.1.8 Il bilancio di sedimenti e la stima/valutazione del trasporto solido

In questa ultima parte della Fase 1 vengono approfonditi i principali aspetti che conducono a una caratterizzazione del sistema fluviale nelle sue condizioni attuali e in riferimento ai rapporti dei flussi sedimentari con le aree foci e costiere.

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

Parallelamente all'analisi sui versanti è necessario riconoscere e distinguere i tratti semiconfinati e non confinati della rete idrografica con più o meno forte propensione alla mobilità laterale (quindi all'erosione delle sponde). Tali processi hanno infatti la capacità di immettere ingenti volumi di sedimenti nel sistema. Inoltre, è necessario valutare la connettività di sedimenti all'interno della rete idrografica in base alla presenza o meno di elementi naturali (ad es., soglie rocciose) e soprattutto artificiali (ad es., dighe, briglie) che ostacolano o intercettano il trasporto solido al fondo. Questo può essere effettuato tramite metodi geomorfometrici come sopra descritti, attraverso interpretazione di immagini telerilevate recenti per la mappatura delle sorgenti

di sedimento, analisi di cartografia tematica e, multi temporali stereoscopica di set storici di foto aeree e/o con l'ausilio di DTM ad alta risoluzione.

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

La caratterizzazione geomorfologica "spinta" del sistema fluviale, consente l'applicazione, sia dell'approccio "geomorfologico", sia della modellistica idrologica che si avvarrà di dati e misure dirette così come acquisiti nelle fasi descritte precedentemente.

Il trasporto solido ha un ruolo determinante per la morfologia dei corsi d'acqua e per le variazioni morfologiche degli alvei e per le dinamiche di deflusso stesse. Entrambe le componenti principali del trasporto solido, quello in sospensione e quello al fondo, sono importanti. Tuttavia, ai fini delle modificazioni morfologiche dell'alveo, quello al fondo anche in caso dovesse rappresentare la frazione minore, è la più significativa anche in riferimento alle finalità progettuali.

La determinazione (misura) del trasporto solido, come noto, è molto complessa. Preliminarmente, ai fini di una corretta analisi morfologica, è importante verificare se esistano nel bacino misure pregresse, studi o valutazioni atte a quantificare il trasporto solido in una o più sezioni del sistema fluviale valutando l'opportunità di effettuare una stima basata su modelli idraulici empirici o teorici, e, a seconda della disponibilità di dati esistenti, la possibilità di realizzare bilanci di sedimenti con metodi geomorfologici.

L'approccio geomorfologico

Per effettuare un bilancio di sedimenti, oltre ai metodi idraulici tradizionali per la quantificazione del trasporto solido (attraverso l'impiego di equazioni che stimano la capacità di trasporto di un tratto di fiume in base alle sue caratteristiche idrauliche, morfologiche e sedimentologiche), si va sempre più affermando l'utilizzo di metodi geomorfologici, basati sulla misura delle variazioni volumetriche dell'alveo (da fotogrammetria, sezioni, profili) e sull'applicazione dell'equazione di continuità dei sedimenti. Tali metodi possono fornire stime più attendibili sulle portate solide nel medio termine (decine di anni).

Il bilancio di sedimenti consiste nell'uso di una sequenza di rilievi fotogrammetrici da cui ricavare le variazioni morfologiche dell'alveo, attraverso la seguente procedura:

- a) utilizzazione di GIS;
- b) suddivisione dell'alveo in celle di ampiezza adeguata;
- c) ottenimento del DTM relativo ad ogni singolo rilievo fotogrammetrico;
- d) ottenimento delle differenze volumetriche sovrapponendo DTM relativi a rilievi diversi;

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

Modellistica idrologica

Tra i modelli viene proposto lo sviluppo, in ambiente GIS, dell'applicativo denominato, (EPM_GIS_1) già in corso di sperimentazione da parte del gruppo di lavoro di UNICAL nell'ambito del Progetto SIGIEC (Sistema Informativo Gestione erosione costiera della Calabria).

Il plug-in permette di calcolare la stima di produzione di sedimenti dell'intero bacino idrografico utilizzando il modello multiparametrico di Gavrilović (*Gavrilović*, 1959; 1972), modificato da Zemljic (*Zemljic*, 1971). La scelta è ricaduta prioritariamente su questo metodo in quanto già sviluppato per corsi d'acqua a carattere torrentizio e in un contesto climatico di tipo mediterraneo, pertanto applicabile all'area transfrontaliera. Il modello consente un'estrema velocizzazione del calcolo e di operare calibrizioni e validazioni sulla base di dati diretti. Inoltre, il plug-in, sviluppato in ambiente PyQGIS permette di incrementare l'accuratezza del calcolo in quanto è possibile dettagliare i singoli parametri richiesti dal metodo di Gavrilović; ad esempio operando sulla distribuzione dei para-metri termo-pluviometri (*Cianflone et alii*, 2015) e sul coefficiente di erosione, facendo riferimento alla caratterizzazione quantitativa della resistenza all'erosione degli ammassi rocciosi.

Per consentire una mappatura di maggior dettaglio all'interno di ogni bacino idrografico è stata utilizzata una nuova metodologia di calcolo che consiste nel suddividere l'area di bacino in maglie quadrate con lato di 250 metri in modo da calcolare per singola cella il contributo sulla produzione di sedimenti, contrariamente al metodo di calcolo classico che non permette di individuare quali sono le aree del bacino caratterizzate da maggiore e minore produzione di sedimenti.

Tra i vari approcci modellistici, si propone di utilizzare, anche con l'ausilio di software specifici in dotazione presso l'Agenzia, diversi modelli idrologici - idraulici, allo scopo di operare confronti tra risultati e metodi differenti, di cui si fornisce una breve descrizione:

- Il Mike 21 è un modello numerico idraulico fisicamente basato e spazialmente distribuito per la simulazione di correnti, onde, trasporto solido e qualità delle acque in fiumi, laghi, baie, aree costiere e mare aperto. In esso sono presenti due moduli utili per la stima dell'erosione e del trasporto solido. Il modulo Sediment Transport (ST) è utilizzato per la stima del trasporto solido di materiale non coesivo generato da correnti o dall'azione combinata di onde e correnti. Il modulo ST include svariate formulazioni di trasporto e può essere utilizzato indistintamente in campo marittimo-costiero o fluviale. Mentre il modulo Mud Transport è in grado di descrivere l'erosione, il trasporto e la rideposizione di materiale coesivo e di sedimenti misti coesivi e non;
- Il modello HEC-RAS è un modello idraulico che permette di simulare la propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo idrografico e contiene in sé un modulo relativo al trasporto solido. Il trasporto di sedimenti è valutato in funzione delle varie granulometrie di materiale presenti sul fondo. Le principali caratteristiche includono la possibilità di modellare una rete di canali, l'escavazione di materiali litoidi, varie possibilità di arginature tramite l'uso di differenti tipi di equazioni per la valutazione del trasporto solido. Il modello è concepito per simulare tendenze d'erosione e di deposito in un corso d'acqua che derivano dalla variazione della frequenza e della durata del deflusso liquido e del livello;

- Il GEOWEPP (Water Erosion Prediction Project), sviluppato dall'USDA, è un modello fisicamente basato che simula i processi idrologici ed erosivi alla scansione temporale dell'evento e con tre differenti scale di applicazione spaziale:
 - la versione profile che stima l'erosione e/o la deposizione che avviene sul versante, a seguito dei processi di erosione rill interrill;
 - la versione watershed che permette applicazioni a scala di piccolo bacino;
 - la versione grid, più recente, con la quale l'area esaminata viene suddivisa in una serie di elementi all'interno dei quali viene applicata la versione profile.
- Lo SWAT è un modello idrologico, sviluppato dallo USDA Agricultural Research Service (USDA-ARS) e dal centro di ricerca AgriLife della Texas A&M University, che simula i più importanti processi di trasporto solido, ed è in grado di valutare gli impatti della gestione del territorio sulla qualità e disponibilità delle risorse idriche, a scala di bacino, per lunghi periodi di tempo.

L'approccio metodologico prevede la calibrazione e la successiva validazione del modello nella sua componente idrologica in termini di portata alla sezione di riferimento e nella sua componente morfologica in termini di trasporto solido in diverse sezioni caratteristiche. In particolare, la calibrazione della componente idrologica sarà eseguita per un periodo storico di cui si conoscono le misure di pioggia, temperatura e portata.

Una volta individuato il set di parametri che massimizza le prestazioni del modello (in termini di coefficiente di Nash-Sutcliffe), questo sarà usato in fase di validazione per lo stesso bacino. La calibrazione della componente morfologica sarà effettuata sulla base dei volumi di sedimento stimati in diverse sezioni caratteristiche attraverso l'utilizzo di rilievi disponibili effettuati ad intervalli temporali di qualche anno. In questo caso, la validazione del modello sarà eseguita in corrispondenza di altre sezioni caratteristiche diverse da quelle utilizzate in fase di calibrazione dei parametri del modello.

2.1.2 Evoluzione passata e valutazione delle condizioni attuali (Fase 2)

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

Si possono distinguere due sottofasi principali: la prima riguarda l'evoluzione passata del sistema fluviale e delle morfologie fluviali presenti e la ricostruzione delle tipologie fluviali che si osservano attualmente e quali possano essere i fattori che ne hanno condizionato l'evoluzione.

La successiva sottofase fornisce gli strumenti metodologici per valutare in parallelo, attraverso appositi indici (IQM, IDM, etc) i due aspetti che caratterizzano il sistema IDRAIM, ovvero la qualità morfologica e la dinamica morfologica.

La valutazione integrata di questi due aspetti permette di evidenziare le criticità esistenti nel sistema fluviale.

2.1.2.1 Misura degli indici morfologici (quota del fondo, sinuosità, intrecciamento, etc.) ed analisi storica della variazione della configurazione morfologica

In questa fase vengono ricostruite e classificate le variazioni morfologiche passate e recenti degli alvei e delle foci fluviali misurando i parametri morfologici principali, ossia quelli che determinano la classificazione della morfologia del corso d'acqua tra cui la larghezza e la quota del fondo gli indici di sinuosità, di intrecciamento e di anabranching.

Le fonti di dati per le analisi delle variazioni dei parametri morfologici sono rappresentate da: cartografia, foto aeree, immagini da satellite, rilievi topografici. Avendo a disposizione per un determinato anno sia la cartografia che le immagini telerilevate, queste ultime sono da preferirsi in quanto permettono un'interpretazione diretta della morfologia dell'alveo, mentre la cartografia riporta un'interpretazione/rappresentazione dell'alveo non necessariamente funzionale agli scopi dell'analisi.

Variazioni della larghezza dell'alveo

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

Variazioni della quota del fondo

Per quota del fondo si può intendere la quota di massimo fondo, ossia riferita al punto più basso ("thalweg"), oppure la quota media del fondo dell'alveo. Da rilievi topografici e dalla cartografia è possibile ricavare alcune informazioni sull'altimetria dell'alveo, generalmente però insufficienti per una caratterizzazione sufficientemente accurata del fondo. Per un confronto multitemporale dei profili longitudinali è essenziale conoscere se i dati si riferiscono al thalweg, al pelo libero o a qualche altro elemento.

Indice di sinuosità

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

Indice di intrecciamento

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

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

Indice di anabranching

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

Variazioni morfologiche

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

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

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

Tendenze evolutive e correlazioni con le variazioni della linea di costa

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

Informazioni dettagliate riguardo le opere e gli interventi a scala di bacino vengono acquisite in fasi successive. In questa fase è necessario approfondire le conoscenze riguardo ai tempi in cui sono stati realizzati i principali interventi (ad es., epoca di realizzazione di una diga, di una traversa o anche di opere di stabilizzazione dei versanti). Mettendo in relazione la sequenza temporale degli impatti antropici con le traiettorie di evoluzione, è in genere possibile evidenziare rapporti di causa-effetto piuttosto evidenti.

Oltre ai disturbi di tipo antropico, è importante raccogliere i dati disponibili relativi alle portate massime annuali e conoscere gli eventi di piena più intensi verificatisi nel periodo di indagine. Ciò può permettere ad esempio di comprendere se determinate fasi evolutive possano o meno essere state condizionate da eventi di piena di elevata magnitudo ed effettuare correlazioni con le modifiche della linea di riva.

2.1.2.2 La valutazione dello stato morfologico: l'Indice IQM

La struttura complessiva del sistema di valutazione comprende sia aspetti strettamente morfologici che aspetti idrologici e vegetazionali della fascia basati su tre componenti:

Funzionalità geomorfologica: si basa sull'osservazione delle forme e dei processi del corso d'acqua nelle condizioni attuali e sul confronto con le forme ed i processi attesi per la tipologia fluviale presente nel tratto in esame. In altri termini si valuta la funzionalità del corso d'acqua relativamente ai processi geomorfologici (l'assenza di determinate forme e processi tipici per una data tipologia può essere sintomo di condizioni morfologiche alterate).

Elementi artificiali: si valutano la presenza, frequenza e continuità delle opere o interventi antropici che possano avere effetti sui vari aspetti morfologici considerati. Alcuni elementi artificiali hanno effetti molteplici su diversi aspetti: essi verranno ovviamente rilevati una sola volta ma verranno valutati per ogni singolo aspetto.

Variazioni morfologiche: questa analisi riguarda soprattutto gli alvei non confinati e parzialmente confinati e solo alcuni aspetti (principalmente le variazioni di configurazione morfologica plano-altimetrica). Vengono valutate le variazioni morfologiche rispetto ad una situazione relativamente recente (scala temporale degli ultimi 50÷60 anni) in modo da verificare se il corso d'acqua abbia subito alterazioni fisiche (ad es., incisione, restringimento) e stia ancora modificandosi a causa di perturbazioni antropiche non necessariamente attuali.

La procedura complessiva prevede l'applicazione in sequenza delle tre precedenti fasi (inquadramento e suddivisione in tratti, valutazione, monitoraggio), con la valutazione dello stato attuale, indispensabile per interpretare complessivamente i trend e le cause di evoluzione. Per esigenze particolari, è possibile procedere all'inquadramento e suddivisione in tratti, alla valutazione e al monitoraggio di un singolo tratto o solo di alcuni tratti.

Rispetto alle tre componenti di valutazione dello stato attuale (funzionalità, artificialità, variazioni), il successivo monitoraggio (Fase 3) consentirà di valutare le tendenze evolutive attuali e future e di rapportarle alle modificazioni passate, in modo da giungere ad una valutazione del possibile recupero morfologico o dell'ulteriore allontanamento da condizioni meno alterate, aspetti fondamentali per le successive analisi degli impatti e per la definizione delle misure di mitigazione o ripristino morfologico dei corridoi fluviali.

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

Le fasi di analisi della funzionalità, artificialità e variazioni morfologiche vengono effettuate attraverso l'ausilio di apposite schede di valutazione, che consentono un'analisi guidata dei vari aspetti, attraverso l'impiego integrato di analisi GIS da immagini telerilevate e rilevamenti sul terreno. A tal fine vengono usati un certo numero di indicatori, intesi di seguito in senso lato, per indicare attributi o descrittori qualitativi dei vari aspetti considerati. Ogni indicatore è poi valutato attraverso una o più variabili quantitative o qualitative (per alcuni indicatori, soprattutto per la funzionalità, si fa ricorso a valutazioni interpretative piuttosto che a parametri).

2.1.3 Monitoraggio morfologico della rete idrografica, dell'alveo principale e del settore focivo (Fase 3)

La Fase 3 della metodologia riguarda l'evoluzione futura dei corsi d'acqua in esame ed ha per oggetto il monitoraggio morfologico della rete idrografica, dell'alveo principale e del settore focivo, al fine di seguire le tendenze evolutive complessive del corso d'acqua, sulla base delle sue caratteristiche attuali e delle traiettorie di evoluzione passate.

Tale fase si applica alla scala di tratto scelto sulla base di criteri di rappresentatività o criticità. Gli indicatori che possono essere oggetto di monitoraggio sono complessivamente 31 di cui 17 riferibili al sistema naturale, 12 agli elementi del sistema artificiale e 2 classificati come "ulteriori elementi per il monitoraggio".

2.1.3.1 Monitoraggio degli elementi morfologici naturali

Relativamente agli aspetti morfologici naturali, gli indicatori e i parametri che possono essere utili per il loro monitoraggio sono schematizzati nella tabella sottostante che evidenzia la scala temporale di analisi:

Elemento morfologico	Metodo di rilevamento/misura e relativa scala spaziale
<i>Indicatori e parametri planimetrici</i>	
1. Indice di sinuosità	Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)
2. Indice di intrecciamento	Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)
3. Indice di anabranching	Telerilevamento (tratto) - Misura terreno (solo sito)
4. Lunghezza sponde in arretramento e tassi di arretramento	Telerilevamento (tratto)
5. Ampiezza e continuità piana inondabile	Telerilevamento (tratto)
<i>Profilo longitudinale</i>	
6. Pendenza del fondo	Rilievo profilo di fondo, possibilmente esteso dal sito al tratto
7. Variazione di quota del fondo	Rilievo profilo di fondo esteso dal sito all'intero tratto
<i>Profilo trasversale</i>	
8. Larghezza alveo	Telerilevamento (tratto) - Rilievo sezioni (sito)
9. Profondità alveo	Rilievo sezioni: 2 o 3 sezioni nel sito (preferibilmente estremità monte, valle, centro)
10. Rapporto larghezza /profondità	Da valori misurati in base a rilievo sezioni (sito)
<i>Sedimenti del fondo</i>	
11. Dimensioni granulometriche sedimenti del fondo	Misura granulometrica (unità sedimentaria)
12. Struttura del fondo: grado di corazzamento e clogging	Valutazione qualitativa (sito), Misure granulometriche (unità sedimentaria) solo nei casi di corazzamento molto accentuato
<i>Materiale legnoso</i>	
13. Abbondanza di materiale legnoso di grandi dimensioni	Conteggio sul terreno (sito) Telerilevamento (sito)
<i>Vegetazione fascia perifluviale</i>	
14. Ampiezza delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Telerilevamento (tratto)
15. Estensione lineare delle formazioni funzionali presenti in fascia perifluviale	Telerilevamento (tratto)
<i>Indici rilevamento Unità Morfologiche</i>	
16. Indici S.U.M.	Rilievo sul terreno e/o telerilevamento (sottotratto)
<i>Parametri idrologici</i>	
17. Portate liquide	Misure idrometriche in corrispondenza di stazioni di misura esistenti (in continuo)

2.1.3.2 Monitoraggio degli elementi artificiali

Nel seguito si riporta l'elenco delle opere che possono avere interesse per il monitoraggio morfologico la cui scala temporale di analisi è quinquennale/stagionale/scala di evento:

- dighe
- altre opere di alterazione delle portate liquide e/o solide (canali diversivi e scolmatori, derivazioni, traverse, sifoni, chiaviche, casse di espansione, etc.);
- opere trasversali di regolazione (briglie; pennelli imbonitori etc.) e longitudinali di difesa spondale (rivestimenti in cemento, massi, gabbioni, materassi etc.)
- opere di attraversamento;
- argini;
- sovralti arginali;
- variazioni di tracciato o modifiche di forme fluviali nella pianura (Inalveamenti, rettifiche etc.);
- variazioni areali della fascia erodibile;
- rivestimenti del fondo;
- Interventi di gestione e rimozione dei sedimenti e/o ricalibratura dell'alveo;
- Interventi di rimozione del materiale legnoso in alveo;
- taglio di vegetazione nella fascia perifluviale.

2.1.3.3 Altri elementi per l'analisi ed il monitoraggio: le portate solide e l'uso del suolo

Le portate solide

Come già descritto in precedenza le portate solide possono essere misurate o stimate con metodi diretti o indiretti:

- con metodi diretti in corrispondenza di tratti e sezioni significative e misurata in un intervallo di tempo predefinito; (metodi strumentali e/o geomorfologici)
- con metodi indiretti e con l'ausilio della modellistica si ottengono stime della capacità di trasporto solido; in questo caso gli indicatori principali e necessari per la costruzione dei modelli sono:
 - ✓ indici morfometrici fluviali (lunghezza, pendenze, altimetrie, scabrezza, indice o densità di gerarchizzazione, cfr. Strahler, Horton, etc.)
 - ✓ indici idrologici e idraulici
 - ✓ indici termo pluviometrici
 - ✓ indici geolitologici
 - ✓ indici di erosione

L'uso del suolo

Un altro indicatore fondamentale da monitorare è rappresentato dalle variazioni dell'utilizzo del suolo soprattutto quando si opera a scala di bacino dato che queste variazioni hanno effetti importanti sia sulle portate solide che sulle portate liquide (ovviamente al netto di eventuali recenti introduzioni di norme tendenti al rispetto del principio dell'invarianza idraulica); per questo aspetto sarebbero da prevedere rilievi periodici almeno quinquennali soprattutto nei territori più sensibili e maggiormente soggetti a sviluppo antropico e a frequenti cambiamenti d'uso

2.1.4 La gestione dei sedimenti e il Piano degli interventi (Fase 4)

I sedimenti resi disponibili dai processi erosivi nei bacini idrografici e dal trasporto solido dei corsi d'acqua, rappresentano l'alimentazione naturale attuale delle spiagge e il principale fattore di bilancio dei sistemi costieri a contrasto dell'erosione.

Venendo a mancare o a ridursi l'apporto sedimentario dei corsi d'acqua, soprattutto quello derivante dal trasporto di fondo e di sospensione, il sistema litoraneo si riequilibra su assetti diversi e può entrare in crisi in tempi più o meno brevi, in funzione delle maggiori o minori "riserve" di sedimenti presenti lungo costa (oltre che delle maggiori o minori velocità di risalita relativa del livello del mare).

Per questa ragione, nell'ambito di una strategia di gestione degli effetti della dinamica costiera di più lungo termine, a fianco delle necessarie scelte di gestione degli effetti dell'erosione con apporti artificiali di sedimenti (litoranei o da depositi sottomarini) è opportuno che vengano introdotte politiche e azioni volte alla gestione del litorale anche mediante il ripristino o il miglioramento del trasporto solido fluviale, per quanto possibile in relazione a condizioni territoriali anche profondamente cambiate nel corso degli ultimi decenni.

Lo sviluppo delle tre Fasi della metodologia proposta su descritte conduce alla Fase 4 con la definizione di un "**Piano di gestione dei sedimenti fluviali e di definizione degli interventi**", ed il raggiungimento dell'obiettivo principale con l'individuazione di possibili azioni atte al miglioramento idromorfologico del corso d'acqua e quindi al ripristino dell'alimentazione del sistema litoraneo, qualora risulti evidente una cronicità del bilancio negativo della spiaggia o cella sedimentaria che lo sottende.

È evidente che tale fase, di pianificazione e governance andrà coordinata con i risultati dell'applicazione della metodologia complessiva adottata nell'ambito del Progetto in riferimento agli altri aspetti metodologici trattati (Clima ondoso, coste alte, habitat ed ecosistemi, gestione del rischio costiero).

Il Piano/programma di gestione dei sedimenti dovrà consentire l'identificazione degli eventuali interventi necessari al raggiungimento degli obiettivi, al loro monitoraggio e all'adeguamento nel tempo del quadro conoscitivo. La scelta delle misure più appropriate tra le diverse alternative possibili, incluso il non intervento, deve avvenire sulla base di un'adeguata valutazione e di un confronto degli effetti attesi in relazione ai diversi obiettivi, tenendo conto di un orizzonte temporale e spaziale sufficientemente esteso; tra gli interventi da valutare deve essere data priorità alle misure, anche gestionali, per il ripristino della continuità idromorfologica longitudinale, laterale e verticale, in particolare al ripristino del trasporto solido laddove vi siano significative interruzioni a monte di tratti incisi, alla riconnessione degli alvei con le pianure inondabili e al ripristino di più ampi spazi di mobilità laterale, nonché alle misure di rinaturazione e riqualificazione morfologica.