



**AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO**

**STUDIO DI FATTIBILITA' DELLA SISTEMAZIONE  
IDRAULICA DEL FIUME \_\_\_\_\_**

**Attività 3.1.6 Definizione delle tendenze  
evolutive dell'alveo e delle forme fluviali  
riattivabili**

---

**Criteria di indirizzo**

## **NOTA METODOLOGICA**

### **ATTIVITÀ 3.1.6 - DEFINIZIONE DELLE TENDENZE EVOLUTIVE DELL'ALVEO E DELLE FORME FLUVIALI RIATTIVABILI**

#### **1. PREMESSA**

E' richiesta la valutazione delle modificazioni geometriche e morfologiche dell'alveo allo scopo di caratterizzarne, per tratti omogenei del corso d'acqua, l'evoluzione storica, anche in relazione agli interventi di sistemazione eseguiti.

Sulla base delle modificazioni intercorse e dei fenomeni morfologici in atto deve essere stimata la tendenza evolutiva dell'alveo e il grado di stabilità dello stesso, con particolare riferimento ai fenomeni che sono correlati agli eventi di piena in relazione soprattutto a possibili riattivazioni di forme fluviali relitte.

Tale analisi fornirà un quadro della dinamica evolutiva in atto in termini di tipologia prevalente dell'alveo, indici morfometrici (quali ad esempio: larghezza della sezione incisa d'alveo, lunghezza dell'asse della valle, lunghezza della linea di thalweg, indice di ramificazione, indice di sinuosità) di stabilità delle sponde e del fondo.

L'analisi deve essere particolarmente approfondita in corrispondenza della confluenza in Po, che presenta caratteri di instabilità.

#### **2. METODOLOGIA OPERATIVA**

##### **Caratterizzazione del corso d'acqua (alveotipo)**

La caratterizzazione dell'alveotipo è la prima attività a essere condotta, in quanto funzionale alla definizione del piano di indagine relativo al campionamento per analisi granulometriche di cui all'attività 3.1.3, secondo la specifica tecnica di capitolato.

La definizione dell'alveotipo viene effettuata preliminarmente sulla base dei rilievi aerofotogrammetrici 2001 predisposti nell'ambito dell'attività 3.1., se non disponibili sulla base delle più recenti riprese aeree, per poi successivamente essere approfondita sulla base dei rilievi delle sezioni trasversali di cui all'attività 3.1.2 e dei rilievi delle caratteristiche granulometriche di cui all'attività 3.1.3 al fine di giungere alla definizione

dell'alveo tipo secondo la classificazione di Rosgen ( A classification of natural river, 1994 Catena).

## **Definizione della stabilità morfologica della fascia fluvio-golenale**

### *Evoluzione planimetrica storica*

La valutazione delle modificazioni geometriche e morfologiche del corso d'acqua verrà effettuata a partire dal confronto dei seguenti elaborati cartografici ed aerofotogrammetrici storici:

- cartografia IGM in scala 1:25.000, prima levata anno 1885;
- cartografia IGM in scala 1:25.000 \_\_\_\_\_;
- fotogrammi volo GAI, anno 1954;
- fotogrammi voli Autorità di Bacino del Po, anni \_\_\_\_\_;
- fotogrammi volo Italia, 1994;
- ortofotogrammi georeferenziati volo AIMA, anno 1995;
- fotogrammi volo IGM 1995-96;
- fotogrammi volo alluvione 2000;
- ortoimmagini e fotogrammi relativi al rilievo aereo di cui all'attività 3.1.1.

Oltre agli elaborati di cui sopra il confronto verrà effettuato, laddove opportuno per una migliore comprensione della dinamica evolutiva del corso d'acqua, tra quelli disponibili presso l'archivio CNR-IRPI di Torino o di altre amministrazioni o Istituti.

Tutti gli elaborati suindicati saranno utilizzati per un confronto almeno qualitativo delle variazioni morfologiche storiche del corso d'acqua e della regione fluviale. A partire da tale esame verranno selezionati gli elaborati maggiormente significativi ai fini della ricostruzione di dettaglio della storia evolutiva, e per il cui confronto, su basi quantitative, si opererà acquisendo le immagini in ambiente GIS.

Quanto sopra comporterà le seguenti attività:

- scannerizzazione e raddrizzamento digitale delle immagini aerofotografiche, mediante opportuno software;
- georeferenziazione di tutte le immagini fotografiche ed elaborati cartografici secondo il medesimo sistema di riferimento;
- predisposizione di una banca dati cartografica in ambiente GIS costituita da tutte le immagini e cartografie raddrizzate, georeferenziate e opportunamente sovrapponibili.

Il raddrizzamento digitale verrà effettuato al fine di ottenere la migliore sovrapposizione possibile ai punti fissi presenti sulla CTR in scala 1:10.000, almeno nel settore di fascia

fluviale. Distorsioni e imprecisioni dovute a forti ingrandimenti dei fotogrammi di riprese aeree a piccola scala dovranno comunque essere minimizzate

Il Dbase GIS farà parte dei prodotti consegnati all'Autorità e sarà pertanto strutturato come elaborato autonomo, in forma agevolmente fruibile e consultabile.

Operando su tale banca dati cartografica sarà possibile georeferenziare correttamente gli andamenti morfologici pregressi, eseguire calcoli morfometrici ed evidenziare le correlazioni tra gli stessi andamenti morfologici e le attuali forme relitte, evitando imprecisioni ed errori di sovrapposizione.

Sulla base del confronto tra elaborati multitemporali verranno desunti i seguenti elementi:

- andamento degli alvei di magra e full banks;
- variazione degli indici morfometrici del corso d'acqua, da definire in corso d'opera, quali: lunghezza, sinuosità, indice di ramificazione, larghezza d'alveo,  $\Sigma$  e % sponde in erosione, ampiezza e interasse medi delle anse nei tratti meandrici;
- variazioni e trasformazioni dell'alveotipo, con particolare riferimento ai processi di canalizzazione e trasformazione monocursale, entità di deriva degli assi di meandro e dell'arretramento delle sponde in erosione, sia media (m/a) sia contestuale ai principali eventi di piena;
- esame comparato qualitativo di particolari caratteristiche locali, indicative della tendenza altimetrica dell'alveo, quali reincisione dei depositi di barra con trasformazione in golene stabili, disattivazione di canali laterali, disattivazione di prese e derivazioni;
- cronologia di realizzazione delle opere in alveo longitudinali e trasversali (a integrazione di quanto previsto al punto 3.1.5 del C.T. e dove desumibile dal confronto fra aerofoto storiche) per la correlazione con le tendenze evolutive di cui ai punti precedenti.

L'attività di confronto, consentirà, oltre alla ricostruzione delle condizioni evolutive "storiche" del corso d'acqua, di evidenziare l'evoluzione in atto, ovvero il trend definito dall'esame dei fotogrammi e della cartografia riferita agli ultimi 10-15 anni, per i quali si ha tra l'altro maggiore disponibilità di documentazione.

### Processi di erosione spondale

Per quanto riguarda il trend di evoluzione planimetrica in atto, si deve definire per quanto possibile le superfici golenali soggette ad asportazione per erosione laterale del corso d'acqua, nell'eventualità di nuovi eventi di piena significativi.

Tali settori verranno definiti sulla base dei seguenti elementi:

- localizzazione degli attuali settori in erosione;
- entità dell'erosione spondale, ovvero arretramento medio della linea di sponda nel corso degli ultimi eventi di piena;
- possibilità di evoluzione legata a cambiamenti di percorso del corso d'acqua, quali attivazione alvei secondari, tagli di meandro.

- fenomeni di “disturbo” (rispetto al comportamento evolutivo ideale del corso d’acqua non sistemato) determinati dalle opere di difesa, quali ad esempio riflessione delle linee di corrente e trasferimento a valle della tendenza erosiva;
- presenza di limiti laterali naturali (affioramenti rocciosi)

La delimitazione verrà effettuata, dove possibile, in riferimento a periodi temporali definiti, possibilmente, per tratti monocursali meandriiformi una prospettiva 20-50ennale, secondo l’approccio proposto dall’ Agence de l’Eau Rhone-Méditerranée-Corse<sup>1</sup> . Tale metodo prevede la delimitazione attraverso le seguenti tre tappe:

- la sovrapposizione cartografica, all’alveo attuale (comprensivo dell’area compresa tra l’alveo di magra e la sponda incisa) di rilievi precedenti di 20-50 anni (secondo disponibilità di tali documenti);
- il calcolo del tasso di erosione in riferimento a questo periodo, per tratto o sotto-tratto omogeneo;
- la cartografia delle zone erodibili tenendo conto dei tassi di erosione e delle protezioni attuali. Le zone di erosione a 50 anni devono tenere conto del tasso di erosione media (a partire dai tassi di erosione calcolati) ma anche, dove possibile, dei tagli di meandro potenziali.

Inoltre, a supporto delle valutazioni riguardo la potenzialità erosiva del corso d’acqua verrà considerata l’eventuale influenza dei fattori:

- presenza di vegetazione stabilizzante (vegetazione fitta con apparato radicale profondo), sulla base dell’attività 3.1.7;
- granulometrie di sponda, sulla base dell’attività 3.1.3.

### Stabilità morfologica del profilo di fondo del corso d’acqua

L’evoluzione altimetrica del profilo di fondo, verrà valutata attraverso l’esame comparato dei seguenti elementi:

1. *evidenze indirette* (planimetriche) quali modificazioni dell’alveotipo, tendenza alla canalizzazione del corso d’acqua, o viceversa ad un andamento ramificato e instabile in alveo sovralluvionato.
2. *confronto tra le sezioni* rilevate nell’ambito del presente studio e quelle rilevate in anni precedenti e fornite dall’Autorità di Bacino, in riferimento ai medesimi capisaldi;
3. *serie storiche di livelli idrometrici di magra* (in termini di quote assolute);
4. *riscontri diretti* relativi allo stato di scalzamento o viceversa di interrimento delle fondazioni di opere in alveo (pile, difese), di cui all’attività 3.1.5.

1. Le evidenze indirette forniscono indicazioni non quantitative, consentendo però di estendere l’analisi a tratti del corso d’acqua e periodi per i quali non sono disponibili sezioni d’alveo confrontabili.

---

<sup>1</sup> Bassin Rhone Méditerranée-Corse. Guide technique n°2 “Détermination de l’espace de liberté de cours d’eau”, Novembre 1998.

Peraltro risultando molto esigua la disponibilità di rilievi storici riconducibili con certezza a medesimi capisaldi, le evidenze indirette, derivanti dall'analisi planimetrica precedentemente descritta, costituirà la principale metodologia di riferimento per la valutazione della tendenza evolutiva pregressa e in atto del profilo di fondo.

2. Il confronto tra rilievi eseguiti in epoche diverse, dove disponibili, consentirà di quantificare l'evoluzione del profilo di fondo attraverso la variazione di alcuni parametri caratteristici delle sezioni d'alveo, quali:
  - a - la quota minima di fondo;
  - b - la quota media di fondo;
  - c - la superficie della sezione (a partire dalla quota di riferimento corrispondente alla sommità arginale o alla sponda a bordi pieni)

La tendenza evolutiva del profilo di fondo verrà pertanto evidenziata, anche dove disponibili sezioni ripetute nel tempo, esclusivamente a partire dall'esame comparato dei tre indici oltre che dall'esame delle trasformazioni planimetriche nel medesimo periodo di riferimento.

3. Serie storiche di livelli idrometrici di magra (in termini di quote assolute), in riferimento alle stazioni di misura con serie significative.
4. L'analisi verrà inoltre integrata, in riferimento alla tendenza attuale e recente, dall'esame diretto delle fondazioni di opere in alveo (pile ponti, difese), per evidenziare fenomeni di sottoscalzamento o viceversa di interrimento delle fondazioni stesse. Anche in questo caso, occorrerà distinguere sulla base dell'analisi generale, tra fenomeni esclusivamente locali, determinati dall'interazione locale tra corso d'acqua e opere e indicatori generali della tendenza evolutiva del profilo di fondo.

Pertanto a partire dalla sintesi tra evidenze indirette (indici morfometrici), confronto tra sezioni d'alveo, serie storiche di livelli di magra, condizioni delle opere in alveo, ovvero di tutti gli elementi indicatori disponibili, verrà operata una caratterizzazione del corso d'acqua per tratti omogenei dal punto di vista della tendenza evolutiva del profilo di fondo. Quanto sopra sia in riferimento alla tendenza recente ed attuale, sia per periodi storici caratterizzati da trend omogeneo.

### **Forme fluviali relitte: definizione degli elementi di morfologia fluviale riattivabili e non riattivabili**

La classificazione delle forme relitte in funzione della capacità di riconnettersi all'ambiente fluviale o viceversa alla condizione di non riattivabilità, verrà effettuata sulla base di:

- interpretazione delle immagini e delle ricostruzioni relative alle più recenti piene storiche (\_\_\_\_\_);

- ricorrenza dei livelli idrici in grado di riattivare le forme relitte medesime, in base allo studio idrologico-idraulico;
- tendenza evolutiva della sezione d'alveo.

Il quadro relativo alle modificazioni planimetriche e altimetriche dell'alveo, e delle forme relitte, verrà correlata per quanto possibile con la cronologia di realizzazione delle opere in alveo (da attività 3.1.5), oltre che, dove disponibili in forma aggregata da studi pregressi (in particolare da Autorità di Bacino, Sottoprogetto SP4). Quanto sopra al fine di evidenziare sia l'influenza dei fattori antropici sull'attuale stato di fatto, sia la prevedibile evoluzione dell'alveo nello scenario di rinaturalizzazione con dismissione, dove non funzionali o necessarie, delle opere in alveo.

Per l'individuazione di "classi di pericolosità" riguardo la possibilità di riattivazione di forme relitte, si propone uno schema di classificazione basato su:

- probabilità statistica di accadimento, legato alla ricorrenza del fenomeno (riattivazione per eventi con tempo di ritorno  $T_r < 20$  anni,  $20 \div 100$  anni,  $> 100$  anni),
- "energia" del fenomeno di riattivazione, in riferimento ai più recenti e gravosi eventi di piena (\_\_\_\_\_).

Entrambi i parametri deriveranno sia dallo studio idrologico-idraulico sia dalla ricostruzione storica degli eventi di piena recenti.

Le classi di pericolosità elevate riguarderanno evidentemente fenomeni di riattivazione ad elevata frequenza di accadimento e con transito di correnti veloci per elevati battenti idrici, mentre le classi inferiori riguarderanno forme riattivate per eventi a bassissima frequenza ed interessate esclusivamente da lenta espansione delle acque di piena.

Alla classe di pericolosità più elevata apparterranno inoltre quelle forme per cui sussiste un rischio di riattivazione permanente in relazione alla dinamica evolutiva in atto, ovvero soggette a essere ricomprese nel sistema attuale di deflusso in regime idrologico ordinario.

Tali forme verranno definite "incrociando" i dati relativi alle forme relitte riattivabili con elevati battenti idrici e transito di correnti veloci (da studio idraulico e interpretazione dei fenomeni di piena pregressi), con le tipologie di associazioni vegetazionali che offrono minore protezione sulle superfici golenali (seminativi, vegetazione erbacea, ecc.), derivanti dall'attività 3.1.7.

## **Conclusioni – Sintesi dei risultati**

Dalla sintesi degli elementi derivanti dalle elaborazioni sopra descritte, deriveranno i seguenti elementi:

- l'attuale stabilità planimetrica del corso d'acqua: definizione delle zone di mobilità potenziale
- l'attuale stabilità ed eventuale trend di variazione altimetrica del profilo di fondo, per tratti d'alveo omogenei (in erosione, stabili, in sovralluvionamento)
- le condizioni di riattivabilità delle forme relitte.

### 3. CONTENUTO DEGLI ELABORATI

#### Relazione metodologica e di analisi (elaborato 3.1.6/1)

La sezione relativa all'impostazione metodologica dell'attività di studio, riprendendo quanto riportato in precedenza, deve affrontare i seguenti argomenti.

- Illustrazione della documentazione esistente presso gli enti di competenza e resa disponibile per le finalità dello studio.
- Descrizione dell'attività svolta (periodo di attività, risultati ottenuti e limiti di indagine, raffronto tra l'attività svolta e i contenuti delle specifiche).
- Interazioni con le altre attività di studio.
- Criteri utilizzati per la caratterizzazione delle forme di modellamento fluviale e delle tendenze evolutive in atto e pregresse della regione fluviale.
- Criteri utilizzati, e relativi limiti, per l'elaborazione di scenari previsionali circa la probabile evoluzione del corso d'acqua e della fascia golenale a breve e medio termine.
- Descrizione dell'"Atlante cartografico".

Per ciascuno degli elaborati prodotti verranno messi in luce gli obiettivi raggiunti e i limiti degli stessi. La descrizione avrà inoltre lo scopo di facilitare la lettura e interpretazione degli stessi nonché di chiarire i motivi delle scelte metodologiche, anche alla luce degli effettivi risultati ottenuti.

La parte di analisi fornirà un quadro di riferimento esaustivo sulle tendenze evolutive dell'alveo e delle forme riattivabili; in particolare tratterà i seguenti argomenti:

- Valutazione della riattivabilità delle forme fluviali relitte, in funzione di eventi di piena a diverso tempo di ritorno.
- Effetti degli di piena sulla fascia fluvio golenale, in riferimento alle aree esondate (modalità di allagamento, battenti idrici, propagazione delle correnti di piena) e all'azione morfodinamica del corso d'acqua (trasformazioni idrografiche, riattivazione di alvei abbandonati, fenomeni erosivi).
- Evoluzione pregressa e in atto del corso d'acqua, attraverso la ricostruzione storica dell'evoluzione morfologica del corso d'acqua, nell'ultimo secolo, e con particolare dettaglio in riferimento agli ultimi 10-20 anni.
- Evoluzione del profilo di fondo, attraverso evidenze indirette desunte dal confronto dell'andamento planimetrico e dell'alveotipo storico, confronto di sezioni multitemporali, evidenze di scalzamento / interrimento delle fondazioni di opere in alveo.



- Correlazione e influenza della realizzazione delle opere idrauliche sull'evoluzione morfologica pregressa e in atto della fascia fluvio-golenale.
- Definizione, con i necessari limiti ed approssimazioni, di scenari previsionali (a breve-medio termine) sull'evoluzione della fascia fluvio-golenale.

Per tutte le elaborazioni, e in particolare per gli scenari a breve-medio termine, la relazione evidenzierà sia gli obiettivi raggiunti, sia, per tratti e settori omogenei, le incertezze ed approssimazioni del quadro conoscitivo e previsionale.

### **Relazione di sintesi (elaborato 3.1.6/4)**

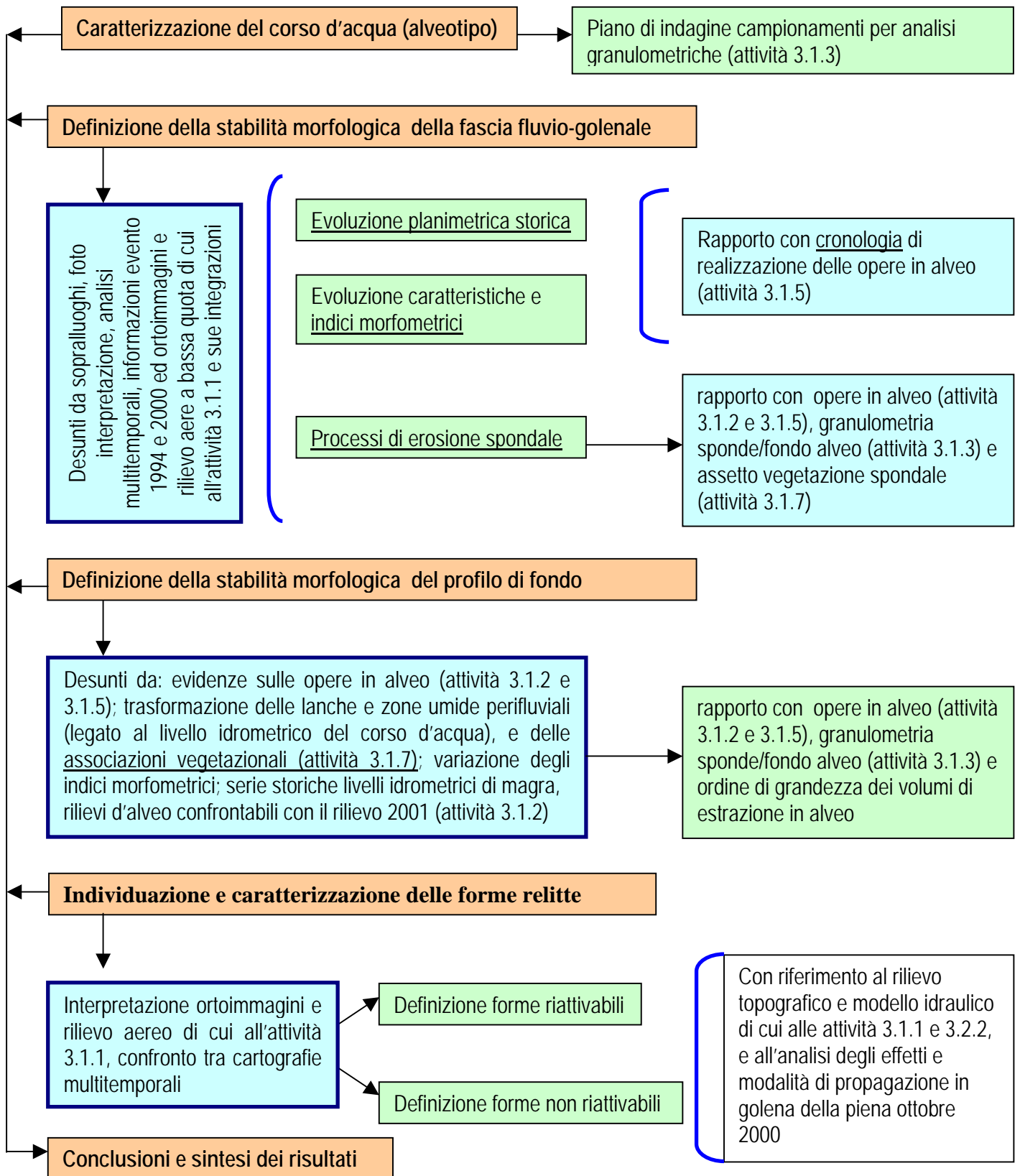
Sulla base della precedente attività di analisi, l'elaborato deve fornire, per tratti e settori omogenei della fascia fluvio-golenale, un quadro di sintesi circa l'evoluzione morfodinamica in atto e gli scenari prospettabili, in riferimento all'attuale assetto delle opere in alveo.

In particolare il quadro di sintesi riguarderà i seguenti aspetti:

- Evoluzione planimetrica in atto, con particolare riferimento all'individuazione di settori probabilmente soggetti a essere ricompresi nell'alveo attivo, per erosione laterale o riattivazione permanente di rami abbandonati;
- Evoluzione del profilo di fondo alveo (erosione / ripascimento / stabilità);
- Riattivabilità delle forme relitte, per eventi a diverso tempo di ritorno.

**ALLEGATO 1**

**Schema attività**



## **ALLEGATO 2**

### **Legenda cartografica**

**- carta di analisi 3.1.6/2/1C**

**- carta di sintesi 3.1.6/2/2C**

## ATTIVITA' 3.1.6 DEFINIZIONE DELLE TENDENZE EVOLUTIVE DELL'ALVEO E DELL FORME FLUVIALI RIATTIVABILI

### CARTA DI ANALISI - ELABORATO 3.1.6/2/1C

#### LEGENDA

##### OPERE IN ALVEO


Opere di difesa longitudinali

 Difese di sponda longitudinali

Opere trasversali

 Traverse

 Briglie/soglie

 Pennelli, difese di sponda trasversali

Argini




 Muri arginali

 Argini in terra

 Rilevati minori con funzione arginale

##### FORME FLUVIALI RELITTE

Paleovalvei e lanche connessi all'ambiente fluviale

-  riattivabili per eventi di piena con Tr < 20 anni
-  riattivabili per eventi di piena con Tr di 20-100 anni
-  riattivabili per eventi di piena con Tr > 100 anni



 Asse di alvei e canali secondari attivi in regime di morbida

Paleovalvei non connessi all'ambiente fluviale

-  non riattivabili

##### EVENTI DI PIENA DELL'OCTOBRE 2000: EFFETTI SULLA FASCE FLUVIO-COLENALE


Settore golendale interessato dalle acque

-  Area inondata/alluvionata dal corso d'acqua principale
-  Area inondata anche per apporti provenienti dalla rete idrografica minore e da canali irrigui


**2.5 #** Altezza idrometrica massima, in m sul p.c. raggiunta nel corso dell'evento

Effetti della propagazione delle correnti di piena e trasformazioni idrografiche




 Canali da taglio di meandro

 Evidenze di transito di correnti veloci (solchi di erosione, depositi orientati)

 Ventaglio di rotta fluviale (crevasse)

 Rotta arginale

Fenomeni torrentizi e di versante con effetti sul fondovalle e sull'asta principale

-  Prevalente debris-flow
-  Plena torrentizia (esonazione tributari, alluvionamento)
-  Frana per colata

##### EVOLUZIONE PLANIMETRICA IN ATTO E PREGRESSA DEL CORSO D'ACQUA

Sponde in erosione




-  intensa
-  moderata

Evolutione storica dell'alveo

-  Alveo di magra anno 2001
-  Alveo "full banks" anno 2001
-  Alveo di magra anno 1995
-  Alveo "full banks" anno 1995
-  Alveo di magra anno 1990
-  Alveo "full banks" anno 1990
-  Alveo di magra anno 1930
-  Alveo "full banks" anno 1930
-  Alveo di magra anno 1882
-  Alveo "full banks" anno 1882

##### EVOLUZIONE DEL PROFILO DI FONDO



Evidenze da confronto di sezioni multitemporali

-  Fondo alveo in abbassamento
-  Fondo alveo stabile
-  Fondo alveo in innalzamento

Evidenze sulle opere in alveo: fondazioni delle opere longitudinali

-  Scalzamento elevato
-  Scalzamento moderato
-  Interrimento elevato
-  Interrimento moderato
-  Assenza di scalzamento / interrimento

Evidenze sulle opere in alveo: pile di fondazioni di ponti e attraversamenti

-  Scalzamento elevato
-  Scalzamento moderato

