

## SESSIONE 1

### RIASSUNTO

Gli “approcci base” di studio che definiscono i processi in atto nei sistemi fluviali, che definiscono il loro comportamento e che concorrono alla definizione del rischio idraulico, sono due: l'approccio idrologico-idraulico (tipico dell'Ingegneria Idraulica) e quello morfologico-sedimentario (proprio delle Scienze della Terra) che, tuttavia, non sono alternativi tra loro, ma si completano a vicenda. La nota descrive sinteticamente i metodi e le tecniche proprie dell'approccio morfologico-sedimentario, applicandole a un caso di studio (il F. Paglia, nell'Umbria meridionale). Il fiume versa in uno stato di evidente instabilità, soprattutto indotto da una passata errata “gestione” del sistema che ha causato un forte deficit sedimentario e il conseguente innesco di processi di erosione verticale e laterale. Questo stato di disequilibrio è alla base delle criticità, dal punto di vista del rischio idraulico, come evidenziato dai recenti eventi alluvionali.

### INTRODUZIONE

Il sistema fluviale, oggetto dei Contratti di Fiume, in tutte le sue componenti ambientali (fisiche, biologiche e antropiche) non può essere “gestito” correttamente, prescindendo dall'acquisizione di un adeguato livello di **conoscenza** dei processi che agiscono sul sistema stesso (dinamica fluviale) e del suo comportamento in risposta agli *input*, naturali e/o artificiali, che lo interessano. Gli studi condotti sul fiume, a causa della complessità dei fenomeni, possono essere molteplici, in relazione ai diversi campi e obiettivi. Per quanto riguarda i problemi relativi ai rischi idraulici (rischio idraulico s.s. e rischio da dinamica d'alveo, quest'ultimo dovuto ai processi di erosione, trasporto solido e sedimentazione), vi sono due “approcci base” sempre utili, se non necessari: l'approccio **idrologico-idraulico** e l'approccio **morfologico-sedimentario**. I due non si pongono in alternativa tra loro, ma in parallelo e si completano a vicenda.

L'approccio idrologico-idraulico, classico dell'Ingegneria Idraulica, utilizza metodi statistici, serie storiche di dati idrologici (afflussi e deflussi) e le leggi dell'Idraulica per definire i rapporti fra alveo, sedimenti e corrente idrica; il fine è la progettazione di opere e interventi tesi alla mitigazione del rischio idraulico. Per la complessità dei fenomeni, talora si utilizzano anche modelli fisici in scala.

Nell'approccio morfologico-sedimentario (quello tipico delle Scienze della Terra) non si considerano serie storiche, statisticamente valide e attendibili, di dati di afflussi o di deflussi (idrici e di trasporto solido), ma si considerano i loro “effetti formativi”, caratteristici del sistema fiume, a diverse scale spaziali e temporali. Tali effetti formativi sono definibili dai loro “indizi” (forme, processi, vegetazione, ecc.) che permangono ancora rilevabili nel sistema fluviale, inteso come binomio inscindibile tra alveo e pianura alluvionale. Lo studio morfologico-sedimentario di un alveo viene condotto anche attraverso un'approfondita ricerca di documenti storici disponibili (es. cartografie, foto aeree), che permettono di analizzare la sua variabilità nel tempo. Ciò rende possibile studiare un problema e risolverlo in qualsiasi fiume in tempi compatibili con quelli di norma disponibili per le attività di pianificazione o di progettazione.

La nota descrive i metodi e le tecniche che caratterizzano l'approccio morfologico-sedimentario, applicandoli a un caso di studio (il Fiume Paglia, nell'Umbria meridionale) che, per la sua specificità, ben si presta a valutazioni sul suo stato e sulle problematiche di rischio conseguenti ai processi in atto che possono essere bene evidenziate proprio grazie ai metodi classici delle Scienze della Terra.

### I METODI DELL'APPROCCIO MORFOLOGICO-SEDIMENTARIO: SCALE DI STUDIO E PARAMETRI ANALIZZATI

L'approccio morfologico-sedimentario per lo studio dei corsi d'acqua si esprime, per quanto possibile, con un linguaggio quantitativo e si sviluppa attraverso tre scale spazio-temporali: la **piccola scala**, in cui si considerano i caratteri a livello di **bacino idrografico** (reticolo idrografico, clima) e le loro variazioni in **tempi geologici**; la **media scala**, in cui si considerano **tratti omogenei** del sistema alveo - pianura fluviale e le loro variazioni in **tempi storici**; la **grande scala**, che riguarda le diverse **componenti dell'alveo e della pianura fluviale** e le variazioni che avvengono durante i singoli eventi, quindi in **tempo reale**. Le tre scale di studio costituiscono un mezzo di analisi parallelo all'analisi statistica dell'approccio idrologico-idraulico e corrispondono a tre livelli conoscitivi di dettaglio crescente. La conoscenza del sistema, ottenuta attraverso l'analisi alle diverse scale spazio-temporali, consente di definire i caratteri naturali del sistema alveo-pianura fluviale, l'effetto di opere o azioni attuate in passato, il comportamento attuale dell'alveo e la sua variabilità, le sue tendenze evolutive e le reazioni caratteristiche dello stesso fiume di fronte a eventuali ulteriori *input* naturali (es. eventi meteorici estremi) o indotti (es. realizzazione di opere idrauliche).

I **caratteri morfologico-sedimentari** del sistema alveo-pianura fluviale rappresentano un elemento importante di questo processo di conoscenza. Essi sono il frutto della “storia” del sistema, cioè dei processi morfologici e idraulici che hanno agito in passato e di quelli che agiscono tuttora nel sistema stesso, condizionandone l'evoluzione futura. L'osservazione, il rilevamento e soprattutto la corretta interpretazione del dato morfologico-sedimentario diventano così gli strumenti essenziali di questo processo di conoscenza.

Gli alvei a fondo mobile, nei quali il fenomeno del trasporto solido è sicuramente più importante ai fini del modellamento dell'alveo, sono quelli dei quali è più interessante lo studio dei caratteri morfologici e sedimentari. Questi sono: il/i **canale/i di magra**, il cui numero varia a seconda della tipologia di alveo (unicanale o multicanale); le **sponde** dell'“alveo pieno” (alte o basse, in erosione o in accrescimento); i corpi sedimentari, cioè le **barre** che vengono distinte in base alla loro posizione all'interno dell'alveo e al loro stato vegetativo che ne condiziona la stabilità; le altre **forme di fondo minori**; le **granulometrie** dei sedimenti presenti nell'alveo e nelle barre, utili per la caratterizzazione sedimentaria, soprattutto in assenza di misure dirette di trasporto solido; le **confluenze** e i loro rapporti con l'alveo principale, soprattutto in termini di apporto sedimentario; le **componenti biotiche** e, in particolare, la **vegetazione ripariale**, che può contribuire alla stabilizzazione delle sponde, ma può anche diventare un pericolo se ostacola il normale deflusso della corrente; le **opere trasversali** e **longitudinali** che documentano quale era lo stato dell'alveo al momento della loro realizzazione ed evidenziano le tendenze evolutive attuali dell'alveo (es. quando sono scalzate alla base, indiziando processi di erosione in atto); le **attività** che influiscono **direttamente** sulla dinamica fluviale (estrazione di inerti, sistemazioni d'alveo) e quelle che influiscono **indirettamente** sui processi (si pensi al modo in cui si è modificata nel tempo l'attività agricola che condiziona l'apporto di materiale ai

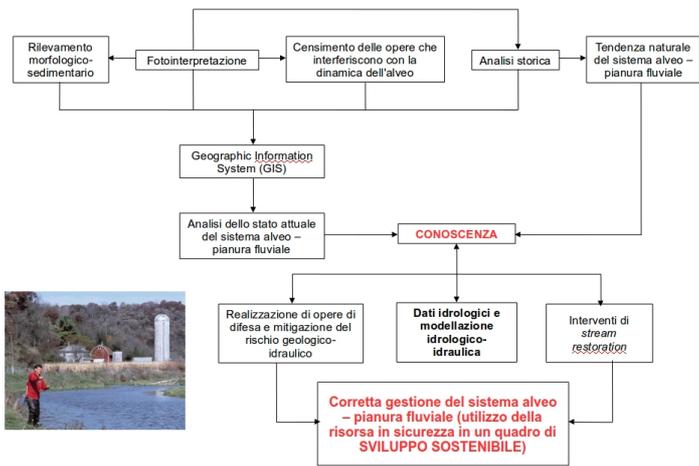


Fig. 1 - Analisi dei sistemi alveo - pianura fluviale. Schema metodologico.

confinamento degli alvei stessi; dall'altra, al forte deficit di trasporto solido (anche questo spesso indotto da attività antropiche, quali ad esempio l'eccessiva estrazione di inerti e la realizzazione di dighe e briglie che funzionano da "trappole" sedimentarie), a cui i fiumi hanno reagito accentuando i processi di erosione lineare e laterale e, in molti casi, aumentando sensibilmente la pericolosità di esondazione e alluvionamento.

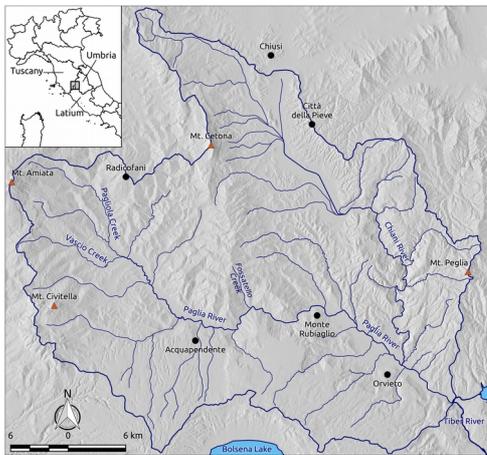


Fig. 2 - Il bacino del F. Paglia



Fig. 3 - L'erosione verticale del F. Paglia ha raggiunto il substrato argilloso.



Fig. 4 - Le fondazioni dei ponti, scalzate alla base, manifestano l'entità del processo di erosione verticale.

### CAUSE DELLO STATO DI DISEQUILIBRIO

Hanno certamente contribuito alla situazione di disequilibrio del sistema fluviale del Paglia: 1) la riduzione artificiale di larghezza dell'alveo, per il recupero di terreni a fini agricoli, che ha costretto l'alveo in sezioni di deflusso più strette, aumentando la velocità della

fiumi). In fig. 1 viene definito il percorso metodologico da utilizzare per l'analisi dei sistemi alveo - pianura fluviale.

### IL FIUME PAGLIA

L'analisi morfologico-sedimentaria dei corsi d'acqua dell'Italia peninsulare ha messo in evidenza come questi siano, ormai da tempo, interessati da un processo di approfondimento dell'alveo che si accompagna, in uno stretto rapporto di causa-effetto, a una sensibile riduzione della loro larghezza. Sono numerosi in letteratura i lavori scientifici che si sono interessati di tale argomento (tra gli altri: Canuti et alii, 1991; Tacconi et alii, 1994; Cencetti et alii, 2002; Cencetti & Fredduzzi, 2008; Rinaldi et alii, 2008; Surian & Rinaldi, 2008; Surian et alii, 2009; Cencetti & Tacconi, 2011). Le cause principali di questa evoluzione, che ha caratterizzato gli ultimi decenni, dal dopoguerra in poi, sono da ricercare, da una parte, nelle opere idrauliche di "sistemazione d'alveo" che hanno spesso comportato rettifiche, arginature e

Il F. Paglia, uno dei principali affluenti in destra idrografica del Tevere nella sua media valle (fig. 2), rappresenta un caso emblematico, in quanto appaiono evidenti gran parte delle cause suddette che hanno prodotto il deficit sedimentario. Utilizzando i risultati dell'approccio morfologico-sedimentario, è stato analizzato lo stato attuale dell'alveo, evidenziando l'evoluzione che lo ha interessato in tempi storici recenti e le cause che lo hanno portato a uno stato di forte instabilità, contribuendo ad accrescere il livello di rischio idraulico, soprattutto nella parte bassa del suo corso (Cencetti et alii, 2017). Il Paglia registra portate molto variabili, come si conviene a un corso d'acqua con alveo naturalmente di tipo *braided* (intrecciato), con valori minimi di  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$  in periodo di magra, fino a  $800 \text{ m}^3/\text{s}$  in piena ordinaria, valori che, in condizioni di piene eccezionali con tempi di ritorno più elevati (100-200 anni) possono raggiungere livelli ben più alti: la piena del 2012, ad esempio, ha fatto registrare  $2300 \text{ m}^3/\text{s}$  alla stazione di Ponte Adunata, presso Orvieto, poco prima della confluenza con il Tevere. Il tratto corrispondente alla bassa valle del Paglia, da Monte Rubiaglio fino alla confluenza con il Tevere (fig. 2), è caratterizzato da un'ampia pianura fluviale, dove i caratteri morfologico-sedimentari evidenziano la notevole mobilità dell'alveo. Questo, tuttavia, si trova attualmente in uno stato di forte disequilibrio, caratterizzato da un'intensa erosione che ha superato la base dei sedimenti alluvionali e interessa il *bedrock* costituito da argille marine sovraconsolidate (fig. 3). Il processo è relativamente recente, come testimoniato sia dalle condizioni delle opere (es. ponti) che interferiscono con la dinamica dell'alveo e che presentano fondazioni scalzate alla base (fig. 4), sia dal confronto tra rilievi topografici di sezioni d'alveo effettuati in epoche diverse (fig. 5). Fino alla metà del '900 (fig. 6), il Paglia presentava un alveo moderatamente intrecciato ed era molto mobile, assumendo le caratteristiche di un alveo *wandering* ("divagante"). Il fatto che i fenomeni di erosione, approfondimento e restringimento delle sezioni d'alveo si siano manifestati in tempi recenti e rapidamente fa propendere per una condizione di disequilibrio indotta da cause antropiche.

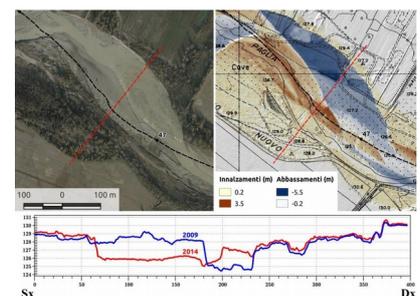


Fig. 5 - Anche il confronto tra sezioni d'alveo rilevate in differenti epoche evidenzia il processo di erosione verticale subito dal Paglia negli ultimi decenni.

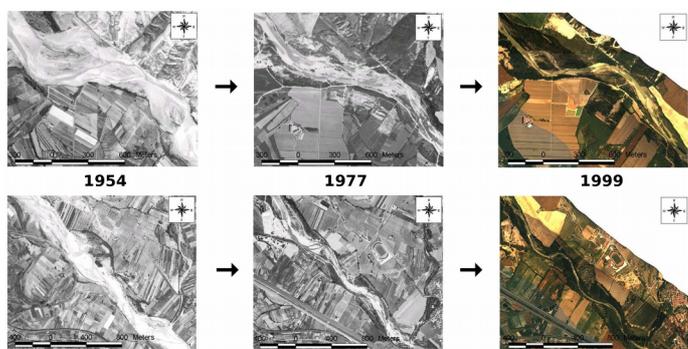


Fig. 6 – L'evoluzione storica recente dell'alveo del Paglia, come testimoniato da foto aeree realizzate in periodi diversi, mostra la progressiva riduzione di larghezza dell'alveo attivo, accompagnata dal processo di approfondimento.

del nostro territorio è veramente da imputare alla maggiore frequenza e intensità degli eventi meteorici e quindi ai "cambiamenti climatici" della nostra epoca? O è piuttosto da ricercare nel modo in cui sono stati gestiti in tempi storici recenti i sistemi alveo - pianura fluviale? Attività estrattiva, rimboschimenti, canalizzazioni, rettifiche, riduzioni di larghezza, etc. (in genere: le "sistemazioni d'alveo"), hanno prodotto, nel tempo, sia la riduzione del *budget* sedimentario a disposizione dei corsi d'acqua e, di converso, un'accentuazione del deficit di trasporto solido, sia un aumento della velocità della corrente e quindi un suo maggior potere erosivo. A ciò si aggiunge l'effetto della **mancata laminazione delle portate di piena**, conseguenti a una maggiore efficienza idraulica delle sezioni d'alveo poste più a monte, oggi più approfondite rispetto a un tempo, che ha comportato un sensibile aumento delle portate transittanti nei settori vallivi inferiori dei corsi d'acqua, che risultano quindi più soggetti a fenomeni di inondazione e alluvionamento. All'aumento di *pericolosità* è corrisposto un aumento della *vulnerabilità territoriale*, a causa dell'urbanizzazione delle aree di pertinenza fluviale e quindi dell'esposizione di beni immobili, strutture abitative e infrastrutture ai fenomeni calamitosi. È noto come il binomio *pericolosità x vulnerabilità territoriale* non possa che generare condizioni di "rischio", come quelle attualmente riscontrate.

## CONCLUSIONI

La mitigazione del rischio idraulico ha come base la comprensione dei processi fisici che regolano la dinamica dei sistemi alveo – pianura fluviale, per poter prevedere le reazioni dei sistemi stessi a qualsiasi "perturbazione", naturale o artificiale, a cui sono sottoposti. L'approccio morfologico-sedimentario allo studio dei corsi d'acqua si pone, parallelamente a quello idrologico-idraulico, come imprescindibile per la comprensione di tali processi, tramite l'analisi delle forme che derivano dallo sviluppo dei processi stessi. I corsi d'acqua dell'Italia peninsulare sono attualmente, in generale, in condizioni di disequilibrio, legate soprattutto al deficit di trasporto solido che, indotto prevalentemente da cause antropiche, ha innescato processi di erosione verticale e laterale diffusi. Il F. Paglia, nell'Umbria meridionale, rappresenta un esempio emblematico di tale situazione. L'alveo, naturalmente di tipo intrecciato (*braided*), si trova oggi in uno stato di forte deficit sedimentario, causato soprattutto dall'intensa attività estrattiva di inerti (perpetrata fin dalla metà del secolo scorso e tuttora presente, per sistemazioni d'alveo) che ha comportato un processo di trinceramento, accompagnato da una sensibile riduzione della sua larghezza. Il risultato è la mancata laminazione delle portate di massima piena (queste riescono a transitare nei settori di monte, dove l'efficienza idraulica delle sezioni di deflusso è sensibilmente aumentata) che ha comportato un aumento della pericolosità di esondazione e alluvionamento nel settore vallivo inferiore, prossimo alla confluenza con il F. Tevere. In aggiunta, proprio nella sua bassa valle, il sistema alveo – pianura alluvionale è stato interessato da un'intensa urbanizzazione che ha aumentato l'esposizione e quindi la vulnerabilità territoriale. Ne consegue un aumento generalizzato del rischio geologico-idraulico, come testimoniato dai due importanti eventi di piena registrati nel 2010 e nel 2012. Con quanto detto, si evidenzia che le condizioni di rischio non sono da imputare solo all'aumento dell'intensità e della frequenza di eventi meteorici estremi, ma anche a un'errata gestione "storica" dell'intero sistema alveo – pianura alluvionale nel F. Paglia.

La mitigazione del rischio, comunque di difficile soluzione, potrebbe essere affrontata (nell'ottica di un *Master Plan*, che consideri l'intero corso d'acqua come un'entità unica e indissolubile, evitando interventi "spot"), tramite l'interruzione del prelievo di inerti dall'alveo, la stabilizzazione altimetrica del thalweg (interrompendo il processo di approfondimento dell'alveo, anche tramite la realizzazione di opere trasversali) e il ripristino, nei settori di monte e ove possibile, delle aree di espansione naturale delle piene, tramite la realizzazione di casse di ritenuta che potrebbero contribuire alla laminazione dei picchi di piena oggi registrati nel settore vallivo inferiore, ripristinando al contempo, pur nei limiti imposti dalla situazione attuale, le condizioni di naturalità del sistema.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Canuti P., Cencetti C., Conversini P., Rinaldi M. & Tacconi P. (1991) - *Dinamica fluviale recente di alcuni tratti dei Fiumi Arno e Tevere*. Atti del Convegno: "Fenomeni di erosione e alluvionamenti degli alvei fluviali" (Ancona, 14-15 ottobre 1991), 21-35.
- Cencetti C., De Rosa P. & Fredduzzi A. (2017) - *Geoinformatics in morphological study of River Paglia, Tiber River basin, Central Italy*. Environmental Earth Sciences, 76 (3), 1-20 (Springer-Verlag Berlin Heidelberg). DOI:10.1007/s12665-017-6448-5. Print ISSN 1866-6280 - Online ISSN 1866-6299.
- Cencetti C. & Fredduzzi A. (2008) - *Analisi attraverso metodologia GIS delle variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari nella bassa valle del F. Sinni (Basilicata)*. Il Quaternario, 21 (1B), 147-160. ISSN: 0394-3356.
- Cencetti C., Fredduzzi A. & Marchesini I. (2002) - *Evoluzione e dinamica dell'alveo del torrente Chiani (Umbria): problemi di rischio geologico-idraulico e di conservazione dell'ambiente fisico*. Atti del Convegno "Conservazione dell'ambiente e rischio idrogeologico" (Assisi, 11-12 dicembre 2002). CNR-GNDI, Pubbl. n. 2830, 108-120.
- Cencetti C. & Tacconi P. (2011) *L'approccio morfologico-sedimentario nello studio della dinamica fluviale*. in: M. Bastiani (a cura di) "Contratti di fiume. Pianificazione strategica e partecipata dei bacini idrografici. Approcci-Esperienze-Casi studio". Collana SIGEA di Geologia Ambientale (Flaccovio Editore, Palermo), 44-60.
- Rinaldi M., Teruggi L.B., Simoncini C. & Nardi L. (2008) - *Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale*. Il Quaternario, 21 (1B), 291-302.
- Surian N. & Rinaldi M. (2008) - *Variazioni morfologiche degli alvei fluviali in Italia: stato dell'arte e prospettive*. Il Quaternario, 21 (1B), 233-240.
- Tacconi P., Canuti P., Cencetti C. & Rinaldi M. (1994) - *The fluvial dynamics of the Arno River - 3. Sedimentary characteristics*. Mem. Soc. Geol. It., 48, 943-956.

corrente e, di conseguenza, il suo potere erosivo (fig. 6); 2) l'attività estrattiva di inerti dall'alveo, perpetrata per decenni nel secolo scorso e finalizzata alla realizzazione dei vicini rilevati stradali e ferroviari; attività continuata anche in seguito, magari giustificata da "sistemazioni d'alveo" che vedono nelle "sovralluvioni" (come spesso sono definiti i depositi presenti in alveo, attribuendo implicitamente al fiume un errato status di *surplus* sedimentario) un ostacolo al normale deflusso idrico e, come tali, semplicemente asportabili; 3) la realizzazione di argini e difese spondali secondo criteri emergenziali, in assenza di una sufficiente conoscenza dei caratteri di dinamica fluviale e di un "Master Plan" che li consideri.

## DISCUSSIONE

Viene da chiedersi: la causa della maggiore tendenza all'esondazione e all'alluvionamento, rispetto al passato, dei fiumi