

*“La Dinamica fluviale. La conoscenza del Fiume per la pianificazione e la salvaguardia del territorio”*

a cura di C. Cencetti, L. Di Matteo

*Culture Territori Linguaggi*, 24, 2023, pp. 192-205

ISBN 9788894469783

Massimo RINALDI<sup>1</sup>

## LE APPLICAZIONI DELLA DINAMICA FLUVIALE ALLA GESTIONE DEI CORSI D'ACQUA

**Introduzione.** – La dinamica fluviale è un settore di comune interesse per diverse discipline scientifiche, sia nel campo delle Scienze della Terra che di altri settori ingegneristici (Idrologia e Idraulica Fluviale) e naturalistici (Scienze Biologiche, Naturali e Forestali). Ciò spiega la molteplicità di aspetti di interesse, approcci e metodologie e la varietà di applicazioni nel campo della gestione dei corsi d'acqua. Di conseguenza, anche gli obiettivi nel campo della gestione sono molteplici, con l'obiettivo della sicurezza idraulica che occupa un posto preponderante, seguito da altri obiettivi di carattere più naturalistico-ambientale o di fruizione degli spazi fluviali.

Sulla base delle esperienze di ricerca dello scrivente, la presente nota ha come obiettivo quello di ripercorrere alcuni sviluppi nel campo della dinamica fluviale avvenuti negli ultimi decenni, con riferimento alle discipline delle Scienze della Terra, e metterne in evidenza alcune delle principali applicazioni alla gestione dei corsi d'acqua.

**Studio dei caratteri morfologico-sedimentari e antropici di un alveo fluviale.** – Agli inizi degli anni '90, lo sviluppo di una metodologia complessiva di studio dei caratteri morfologico-sedimentari e antropici di un alveo ha rappresentato un argomento di notevole originalità e interesse nel campo della dinamica fluviale. L'applicazione principale di tale metodologia è stata quella che ha interessato il F. Arno. La metodologia complessiva comprende vari aspetti: 1) studio dell'evoluzione attraverso mappe storiche; 2) campionamento e analisi dei sedimenti d'alveo; 3) sviluppo di una cartografia tematica specifica dei caratteri morfologici dell'alveo e

---

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze, Firenze, massimo.rinaldi@unifi.it

della sua pianura.

L'analisi dell'evoluzione passata del F. Arno è stata realizzata attraverso l'archiviazione sistematica e l'osservazione di 320 mappe storiche reperite presso Archivi di Stato e biblioteche (Canuti et al., 1994). Lo studio dei caratteri sedimentari condotto lungo il F. Arno, comprendente 75 punti di misura, rimane ad oggi l'unico campionamento sistematico che riguarda tale fiume (Tacconi et al., 1994). Infine, la cartografia tematica - in scala 1: 10.000 - è stata sviluppata e testata lungo un tratto di fiume nel Valdarno Superiore (Cencetti et al., 1994), attraverso la messa a punto di una specifica legenda comprendente vari aspetti morfologici, idrogeologici e antropici (Canuti e Tacconi, 1992).

***Processi di erosione di sponde fluviali.*** – Dalla fine degli anni '90, numerose ricerche hanno fornito importanti e accurate conoscenze dei processi di arretramento di sponde fluviali attraverso una combinazione di attività di monitoraggio, modellazione numerica e sperimentazione fisica. Una delle principali novità di tali studi è stata quella di applicare concetti e metodologie della geotecnica, con particolare riferimento alle analisi di stabilità di pendii, nel campo della dinamica fluviale, essendo le sponde fluviali trattabili a tutti gli effetti come pendii, soprattutto nel caso di alvei incisi dove si creano scarpate anche di alcuni metri formate da sedimenti alluvionali relativamente fini (prevalentemente sabbie limose) che separano l'alveo da superfici terrazzate recenti. Il primo lavoro che ha integrato un approccio geomorfologico e geotecnico è quello di Rinaldi e Casagli (1999), dove si ricostruisce un diagramma altezza - pendenza delle sponde, con curve all'equilibrio limite per diversi valori dei parametri di resistenza al taglio che separano sponde classificate come stabili o instabili in base ad evidenze di campo. La novità assoluta è quella di mettere in evidenza e quantificare il ruolo rilevante, e in genere determinante nell'innescare di movimenti di massa durante le piene, della coesione apparente. Tale aspetto è stato dimostrato e quantificato attraverso un monitoraggio sistematico delle pressioni interstiziali all'interno di una sponda fluviale (Casagli et al., 1999), a cui è successivamente seguita una modellazione dei flussi saturi e insaturi e dei meccanismi di instabilità alla scala dei singoli eventi di piena e del profilo di sponda (Rinaldi et al., 2004).

Lo sviluppo di tali ricerche è consistito nell'accoppiare un modello idrodinamico e di erosione di sponda alla modellazione del flusso sotterraneo e dei movimenti di massa, in modo tale che tutti i principali processi coinvolti fossero quantificati (Rinaldi et al., 2008a; Luppi et al., 2009). In Figura 1 è rappresentato schematicamente il diagramma di flusso della modellazione dei vari processi responsabili dell'arretramento di una sponda fluviale.

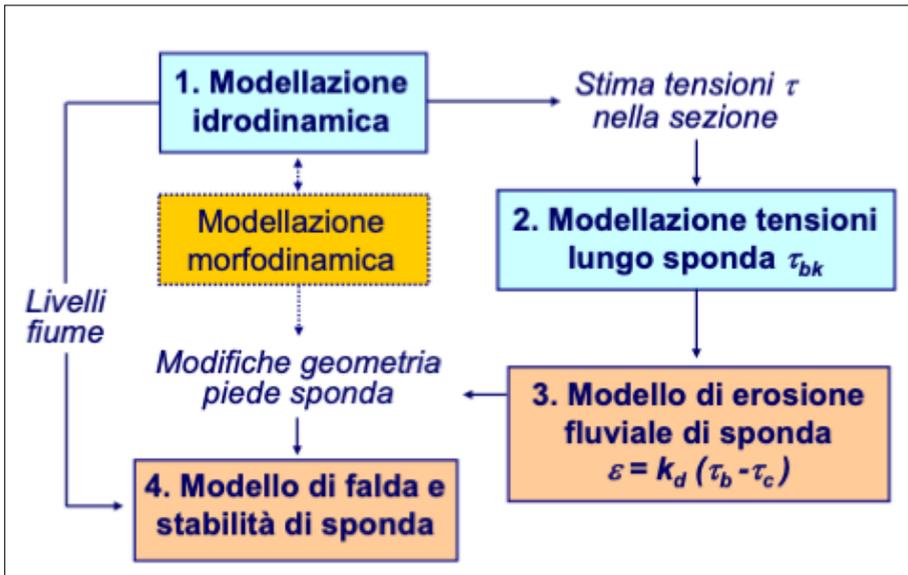


Fig. 1 - Diagramma di flusso della modellazione dei vari processi responsabili dell'arretramento di una sponda fluviale.

Negli anni successivi, l'attenzione è stata rivolta anche alla sperimentazione fisica, ossia alla riproduzione in laboratorio di una sponda in scala e al monitoraggio e quantificazione dei processi di instabilità sotto determinate condizioni fisiche controllate (proprietà del materiale, livelli del fiume e pressioni interstiziali). Tra gli studi che hanno utilizzato l'approccio della sperimentazione fisica, si segnalano quello di Nardi et al. (2012), avente come obiettivo l'analisi dei processi che avvengono in sponde costituite da sedimenti prevalentemente ghiaiosi, e quello di Francalanci et al. (2013), finalizzato allo studio del ruolo della vegetazione su sponde lagunari coesive.

**Fasce di mobilità fluviale.** – Un aspetto di forte interesse per la gestione dei corsi d'acqua è quello di delimitare le aree adiacenti a un fiume che potrebbero essere soggette a erosione laterale. Gli approcci modellistici descritti nel precedente paragrafo trovano, tuttavia, una scarsa applicazione pratica per tale finalità, in quanto si tratta di modelli generalmente utilizzabili per quantificare i processi che avvengono alla scala spaziale del singolo profilo di sponda e alla scala temporale del singolo evento di piena. Ai fini gestionali, invece, cambiano notevolmente le scale spazio-temporali di analisi. Proprio agli inizi degli anni '90 si va affermando il concetto di *fascia di pertinenza fluviale*, indicato successivamente da altri termini e approcci (Tab. 1) utilizzati, in alcuni casi, con una finalità prevalente di prevenzione del rischio da erosione, in altri

casi aventi un significato più generale e implicazioni anche dal punto di vista della salvaguardia ambientale. Tra questi si segnala il concetto di *fascia di mobilità funzionale* (Rinaldi e Simoncini, 2006) o *functional mobility corridor* (Rinaldi et al., 2009), intesa come quello spazio minimo che dovrebbe essere garantito al corso d'acqua affinché espliciti correttamente la sua funzionalità morfologica e ricostruita sulla base di analisi multi-temporale di foto aeree riguardante gli ultimi 50-100 anni circa.

Nome	Finalità	Riferimenti
Fascia di pertinenza fluviale	Pianificazione: pericolosità e tutela ambientale	Govi & Turitto (1994), Dutto (1994), Surian (1998), Baruffi et al. (2004)
<i>Espace de liberté</i>	Favorire dinamica morfologica naturale	Malavoi et al. (1998)
<i>Channel migration zone</i>	Pericolosità geomorfologica	Rapp & Abbe (2003), Lagasse et al. (2004)
<i>Erodible corridor</i>	Gestione erosioni di sponda	Piégay et al. (2005)
Fascia di mobilità funzionale o <i>Functional mobility corridor</i>	Gestione sedimenti a scala di bacino	Rinaldi & Simoncini (2006), Rinaldi et al. (2009)
Fasce fluviali di dinamica morfologica	Pericolosità da dinamica morfologica	ISPRA (2016)

Tab. 1 - Concetto di fasce fluviali utilizzato con termini differenti in Italia e in altri paesi.

**Le variazioni morfologiche degli alvei fluviali.** – Dalla fine degli anni '90, un argomento che si è andato progressivamente affermando come quello di maggiore attenzione nel campo della dinamica fluviale è stato senza dubbio rappresentato dalle variazioni morfologiche dei corsi d'acqua nell'arco degli ultimi 100-200 anni. Le implicazioni nel campo della gestione dei corsi d'acqua sono molteplici, riguardando non solo gli aspetti legati ai rischi da dinamica fluviale (danni prodotti da incisione, alluvionamento, erosione laterale, nonché rischi di esondazione indotti dalle modifiche della geometria dell'alveo), ma anche quelli legati alla qualità morfologico-ambientale (si pensi ad esempio alla degradazione fisica di fiumi incisi con la perdita di continuità laterale, oppure alle drastiche variazioni di habitat indotte da fenomeni di restringimento o di variazione della morfologia del fondo).

Rinaldi (2003) e Surian e Rinaldi (2003) hanno delineato le principali variazioni morfologiche che hanno caratterizzato gran parte dei fiumi di pianura a scala regionale e nazionale

rispettivamente. Tali studi hanno senza dubbio stimolato nuove ricerche che hanno permesso di incrementare il numero di casi di studio e dettagliare le variazioni morfologiche avvenute nel recente passato, soprattutto in risposta a disturbi di tipo antropico. A tale rapido progresso hanno fortemente contribuito anche due progetti PRIN (PRIN 2005 *“Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali in Italia centro-settentrionale: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative”* e PRIN 2007 *“Tendenza evolutiva attuale e possibile dinamica futura degli alvei fluviali in Italia centro-settentrionale”*). Sulla base di numerosi studi (si veda ad es. Rinaldi et al., 2008b; Pellegrini et al., 2008; Surian et al., 2009a), è stato possibile delineare le principali fasi di evoluzione plano-altimetrica di corsi d’acqua dell’Italia centro-settentrionale, sviluppare modelli geomorfologici evolutivi concettuali (si veda ad es. Ziliani e Surian, 2012; Bollati et al., 2014) e definire linee guida per l’analisi geomorfologica dei corsi d’acqua e delle loro tendenze evolutive (Surian et al., 2009b).

Le analisi delle variazioni di larghezza dell’alveo condotte attraverso serie multi-temporali di foto aeree su numerosi casi di studio hanno ad esempio evidenziato l’esistenza di due fasi di restringimento (analogamente alle due fasi di abbassamento del fondo già precedentemente individuate da Surian e Rinaldi, 2003), seguite in alcuni casi da una fase di parziale allargamento, manifestatasi a partire tra fine anni ‘90 e inizi anni 2000 (Fig. 2).

Successivamente ai prima citati progetti PRIN, gli studi delle variazioni morfologiche sono stati estesi a numerosi altri fiumi dell’Italia centro-meridionale, dettagliando con ulteriori casi di studio ed estendendo i risultati precedentemente raggiunti (si veda ad es. Cencetti e Fredduzzi, 2008; Scorpio et al., 2015; Scorpio e Roskopf, 2016; Cencetti et al., 2017).

Uno studio recente (Rinaldi, 2021) ha ricavato uno schema evolutivo riassuntivo che rappresenta un’applicazione del modello originario di Surian e Rinaldi (2003) ai corsi d’acqua alluvionali del bacino del F. Po (Fig. 3).

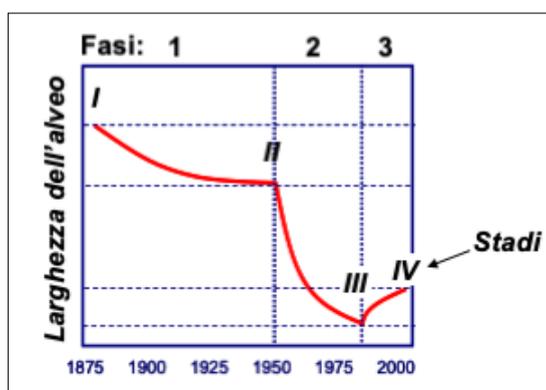


Fig. 2 - Schema delle fasi evolutive della larghezza dell'alveo così come risultante dai numerosi studi riguardanti fiumi dell'Italia centro-settentrionale.

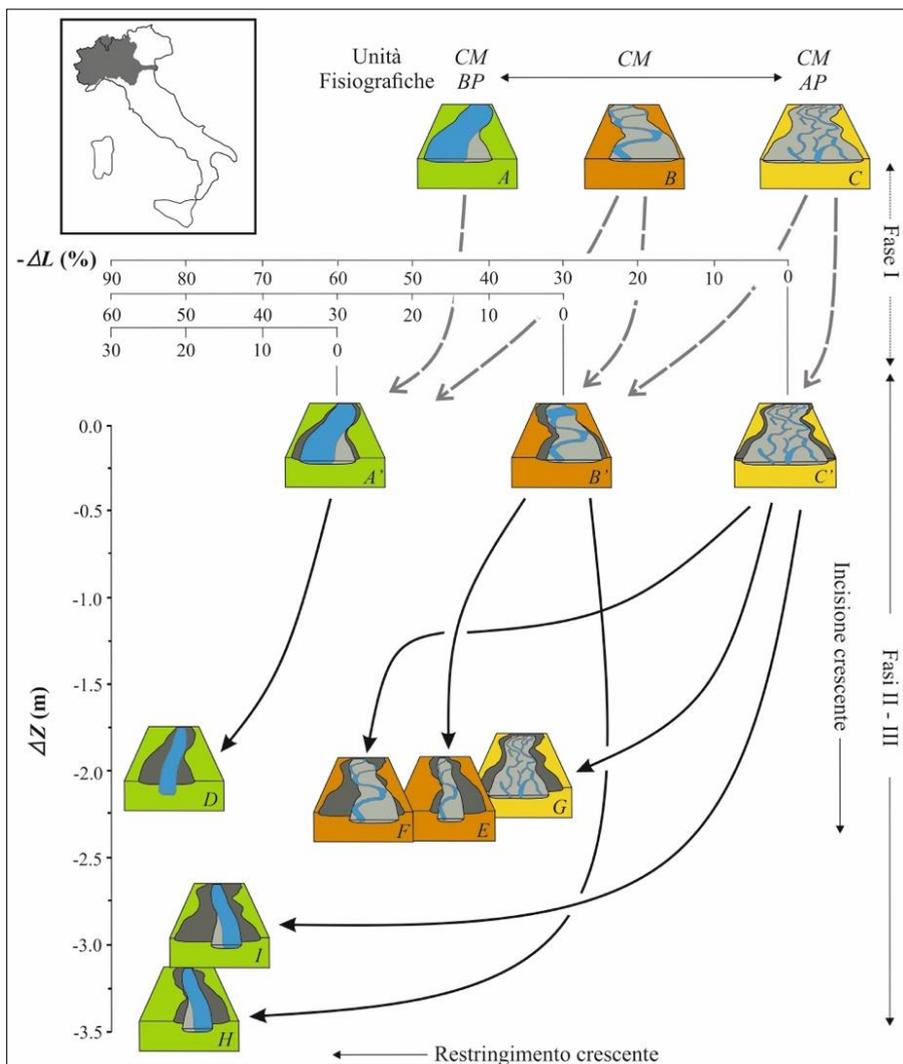


Fig. 3 - Modello evolutivo dei principali corsi d'acqua nel bacino del F. Po (modificato da Rinaldi, 2021). Unità Fisiografiche: CM = Collinare-Montuosa; BP = Bassa Pianura; AP = Alta Pianura. DL = Variazioni di larghezza dell'alveo; DZ = Variazioni di quota del fondo. A = Alvei inizialmente a canale singolo (sinuosi o meandriformi); B = Alvei inizialmente transizionali (wandering o sinuosi a barre alternate); C = alvei inizialmente a canali intrecciati.

**Impatti geomorfologici di eventi di piena di forte intensità.** – L'aumento progressivo di eventi idrologici localizzati denominati *flash floods*, di breve durata e forte intensità, ha portato all'attenzione di geomorfologi e geologi applicati lo studio degli effetti morfologici sui corsi d'acqua di tali eventi. L'argomento, ovviamente, ha forti implicazioni nel campo della preven-

zione e mitigazione del rischio, in quanto tali eventi, oltre a provocare esondazioni, comportano intensi fenomeni erosivi o di alluvionamento con conseguenti ingenti danni.

Il rilevamento degli aspetti idrologici relativi alle *flash floods* era già da tempo studiato con la messa a punto di specifiche metodologie (si veda ad es. Borgia et al., 2008; Gaume e Borgia, 2008), mentre l'integrazione di tali metodi con aspetti e approcci più prettamente geomorfologici e sedimentologici è stata per la prima volta implementata in occasione del post-evento del 2011 nel bacino del F. Magra (Rinaldi et al., 2016). Durante tali piene di forte intensità, si osservano variazioni della larghezza dell'alveo, alluvionamento, possibili avulsioni, trasporto e deposito di ingenti quantità di materiale legnoso, trasporto solido sotto forma di piene di detrito con messa in posto di depositi di sedimento grossolano (del tipo *boulder berms* o *boulder bars*). L'allargamento dell'alveo è particolarmente intenso lungo alvei di piccole dimensioni e pendenze relativamente elevate lungo i tratti torrentizi confinati o semi-confinati (Surian et al., 2016). Le variazioni morfologiche che si verificano lungo i tratti non confinati di pianura sono generalmente inferiori. Lungo i tratti di pianura del F. Magra è stato osservato (Nardi e Rinaldi, 2015) un allargamento dell'alveo compreso tra il 3% e il 90% della larghezza pre-evento; tuttavia, è stato osservato che tali variazioni rientrano ampiamente nel range di variabilità degli ultimi 150 anni e la larghezza post-evento è risultata generalmente inferiore alla larghezza che aveva il corso d'acqua negli anni '50. Questo risultato conferma l'importanza dell'analisi storica e soprattutto della situazione degli anni '50 come riferimento per la definizione della fascia di mobilità funzionale.

In alcuni casi, la dinamica d'alveo è andata a interferire con aree urbanizzate, innescando erosioni-alluvionamenti e fenomeni di esondazione indotta. È il caso del F. Magra nel tratto di attraversamento del centro abitato di Aulla, dove la sequenza multi-temporale di foto aeree dimostra chiaramente che, a partire dagli anni '70, la realizzazione di argini ha dato il via alla realizzazione di un nuovo quartiere, il quale è andato a occupare parzialmente l'alveo che negli anni '50 aveva una morfologia a canali intrecciati. La Figura 4 illustra schematicamente questo tipo di processo, molto comune nelle aree di pianura italiane: la realizzazione di argini e l'intensa escavazione di sedimenti a partire dagli anni '60-'70, con conseguente approfondimento dell'alveo (stadi evolutivi II e III), hanno generato una falsa percezione di sicurezza e la conseguente occupazione di aree immediatamente adiacenti o che addirittura erano parte dell'alveo. Le piene di forte intensità che si stanno verificando con frequenza crescente negli ultimi decenni causano locali alluvionamenti del fondo ed eventuale allargamento dell'alveo (stadio evolutivo IV), favorendo fenomeni locali di esondazione e andando a causare una quantità enorme di danni in aree precedentemente di pertinenza fluviale.

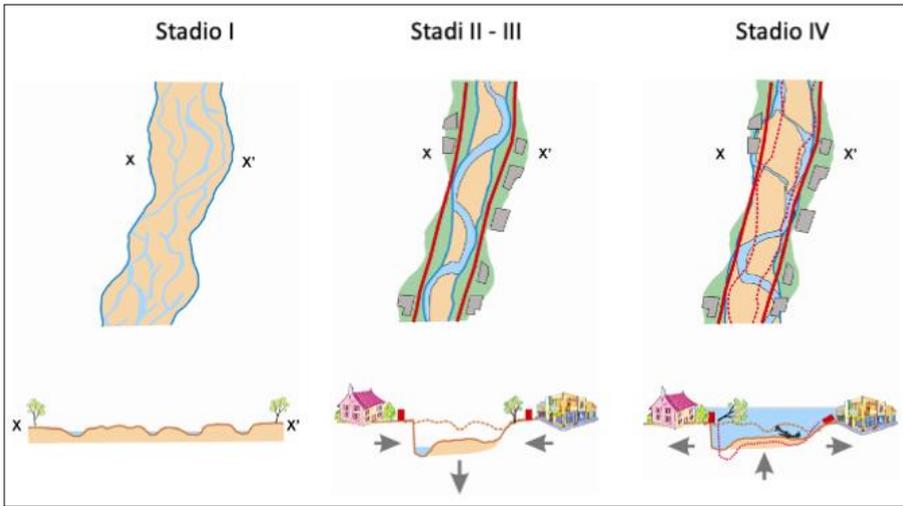


Fig. 4 - Modello schematico concettuale che evidenzia l'aumento del rischio in relazione all'occupazione di spazi fluviali e all'evoluzione morfologica del corso d'acqua.

**Idromorfologia, Direttiva Quadro Acque e Direttiva Alluvioni.** – La Direttiva Quadro Acque 2000/60 ha rappresentato una tappa importante nella gestione integrata dei corsi d'acqua, introducendo la cosiddetta *Idromorfologia fluviale*, intesa come studio dei processi idrologici e geomorfologici, delle loro interazioni con le pressioni antropiche e delle implicazioni sui processi ecologici. Lo sviluppo di metodologie per la “diagnosi” geomorfologica delle condizioni di un corso d'acqua ha quindi spostato l'interesse da problematiche legate ai rischi da dinamica fluviale verso aspetti di qualità ambientale. Un esempio è l'introduzione del concetto di *qualità morfologica*, derivante dalla funzionalità dei processi e dalla limitata artificialità come condizioni necessarie per promuovere il corretto funzionamento del corso d'acqua da un punto di vista morfologico ed ecologico. In tale contesto, viene sviluppato e ampiamente applicato a scala nazionale l'*Indice di Qualità Morfologica* (Rinaldi et al., 2013; ISPRA, 2016), strumento diagnostico per valutare lo stato idromorfologico di un corso d'acqua.

La Direttiva Alluvioni 2007/60 ha peraltro riaffermato la problematica del rischio idraulico come aspetto preponderante nella gestione dei corsi d'acqua, riconoscendo altresì i processi di trasporto solido e modificazioni d'alveo come aspetti di cui tenere conto. In questo contesto viene sviluppata la metodologia *IDRAIM*, un sistema complessivo di diagnosi delle condizioni morfologiche di un corso d'acqua e di supporto a una gestione integrata degli obiettivi di sicurezza e di qualità ambientale (Rinaldi et al., 2015; ISPRA, 2016).

**Conclusioni.** – La nota ha ripercorso alcuni degli argomenti chiave, sui quali lo scrivente ha avuto esperienza diretta, per i quali si sono registrati i maggiori sviluppi conoscitivi e metodologici negli ultimi decenni nel campo della dinamica fluviale in ambito nazionale.

In Tab. 2 si riporta una sintesi degli aspetti trattati e dei relativi campi di applicazione. Per concludere, si mette in evidenza come, in questi ultimi tre decenni, l'efficacia degli studi di dinamica fluviale sia aumentata significativamente, con sviluppo di metodologie specifiche e applicazioni concrete nel campo della gestione dei corsi d'acqua e con la progressiva inclusione di tematiche riguardanti gli aspetti di qualità ambientale.

Argomento	Ricerca	Gestione: Rischio	Gestione: Ambiente
<b>Cartografia Dinamica Fluviale</b>			
<b>Instabilità sponde fluviali</b>			
Modellazione processi			
Sperimentazione fisica			
<b>Fascia di Mobilità Funzionale</b>			
<b>Variazioni morfologiche</b>			
Lungo termine			
Evento di piena			
<b>Metodologia IDRAIM</b>			
Indice di Qualità Morfologica			
Indice di Dinamica Morfologica			
Gestione			

Tab. 3 - Sintesi degli argomenti trattati e delle relative finalità (in verde è indicata la finalità principale, in giallo la finalità secondaria).

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BARUFFI F., RUSCONI A., SURIAN N., “Le fasce di pertinenza fluviale nella pianificazione dei bacini idrografici: aspetti metodologici ed applicazioni. Atti del Convegno “Interpraevent 2004”, Riva del Garda, maggio 2004.
- BOLLATI I.M., PELLEGRINI L., RINALDI M., DUCI G., PELFINI M., “Reach-scale morphological adjustments and stages of channel evolution: the case of the Trebbia River (Northern Italy)”, *Geomorphology*, 2014, 221, pp. 176-186.
- BORGA M., GAUME E., CREUTIN J.D., MARCHI L., “Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes”, *Hydrol. Proc.*, 2008, 22, 18, pp. 3883-3885.

- CANUTI P., TACCONI P., “Carta dei caratteri morfologico-sedimentari ed antropici dell’alveo e della pianura del Fiume Arno (scala 1:10.000). Legenda”, 1992, Tip. S.EL.CA, Firenze.
- CANUTI P., CENCETTI C., RINALDI M., TACCONI P., “The fluvial dynamics of the Arno River. 2. Historical evolution of the Arno River bed”, *Mem. Soc. Geol. It.*, 1994, 48, pp. 851-864.
- CASAGLI N., RINALDI M., GARGINI A., CURINI A., “Pore water pressure and streambank stability: results from a monitoring site on the Sieve River, Italy”, *Earth Surf. Proc. Landf.*, 1999, 24, 12, pp. 1095-1114.
- CENCETTI C., FREDDUZZI A., “Analisi attraverso metodologia GIS delle variazioni dei caratteri morfologico-sedimentari nella bassa valle del F. Sinni (Basilicata)”, *Il Quaternario*, 2008, 21, 1B, pp. 147-160.
- CENCETTI C., CANUTI P., RINALDI M., TACCONI P., “The fluvial dynamics of the Arno River. 4. Map of the morphological-sedimentary and human characteristics of the Arno River bed and alluvial plain (TAB. 7 - Montevarchi)”, *Mem. Soc. Geol. It.*, 1994, 48, pp. 891-908.
- CENCETTI C., DE ROSA P., FREDDUZZI A., “Geoinformatics in morphological study of River Paglia, Tiber River basin, Central Italy”, *Environ. Earth Sc.*, 2017, 76, 3, 128.
- DUTTO F., “Proposta metodologica per la definizione della fascia di pertinenza fluviale (FPF) lungo il tratto piemontese del Po. Approccio geomorfologico”, In: *Atti del IV Convegno Internazionale di Geoingegneria “Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi”*, Torino, 10-11 marzo 1994, pp. 243-248.
- FRANCALANCI S., BENDONI M., RINALDI M., SOLARI L., “Ecomorphodynamic evolution of salt marshes: Experimental observations of bank retreat processes”, *Geomorphology*, 2013, 195, pp. 53-65.
- GAUME E., BORGA M., “Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. *Journ. Flood Risk Manag.*, 2008, 1, 4, pp. 175-189.
- GOVI M., TURITTO O., “Problemi di riconoscimento delle fasce di pertinenza fluviale”, In: *Atti del IV Convegno Internazionale di Geoingegneria “Difesa e valorizzazione del suolo e degli acquiferi”*, Torino, 10-11 marzo 1994, pp. 161-172.
- ISPRA - ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE, “IDRAIM: Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d’acqua”, ISPRA, Manuali e Linee Guida, 131/2016, Roma, 258 pp.
- LAGASSE P.F., ZEVENBERGEN L.V., SPITZ W.J., THORNE C.R., “Methodology for Predicting Channel Migration”, National Cooperative Highway Research Program, Web-Only Document, 2004, 67 (Project 24-16).
- LUPPI L., RINALDI M., TERUGGI L.B., DARBY S.E., NARDI L. “Monitoring and numerical modelling of riverbank erosion processes: a case study along the Cecina River (Central Italy)”, *Earth Surf. Proc. Landf.*, 2009, 34, 4, pp. 530-546.
- MALAVOI J.R., BRAVARD J.P., PIEGAY H., HEROUIN E., RAMEZ P., “Détermination de l’espace de liberté des cours d’eau”, *Guide technique no. 2*, 1998, SDAGE RMC, 39 pp.

- NARDI L., RINALDI M., "Spatio-temporal patterns of channel changes in response to a major flood event: the case of the Magra River (central-northern Italy). *Earth Surf. Proc. Landf.*, 2015, 40, pp. 326-339.
- NARDI L., RINALDI M., SOLARI L., "An experimental investigation on mass failures occurring in a riverbank composed of sandy gravel", *Geomorphology*, 2012, 163-164, pp. 56-69.
- PELLEGRINI L., MARAGA F., TURITTO O., AUDISIO C., DUCI G., "Evoluzione morfologica di alvei fluviali mobili nel settore occidentale del Bacino Padano", *Il Quaternario*, 2008, 21, 1B, pp. 251-266.
- PIÉGAY H., DARBY S.E., MOSSELMAN E., SURIAN N., "A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion", *River Res. Appl.*, 2005, 21, pp. 773-789.
- RAPP C.F., ABBE T.A., "A framework for delineating channel migration zones", *Ecology Publication #03-06-027 (Final Draft)*, Washington State Department of Ecology, Washington State Department of Transportation, 2003, 135 pp.
- RINALDI M., "Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, Central Italy", *Earth Surf. Proc. Landf.*, 2003, 28, 6, pp. 587-608.
- RINALDI M., "Bed-level adjustments in the Po River catchment (Northern Italy)", *It. Journ. Eng. Geol. Environ.*, 2021, 2, pp. 41-50.
- RINALDI M., CASAGLI N., "Stability of streambanks formed in partially saturated soils and effects of negative pore water pressures: the Sieve River (Italy)", *Geomorphology*, 1999, 26, 4, pp. 253-277.
- RINALDI M., SIMONCINI C., "Studio geomorfologico del Fiume Magra e del Fiume Vara finalizzato alla gestione dei sedimenti e della fascia di mobilità", *Atti Giornate di Studio "Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti. Applicazioni nel bacino del Magra"*, Sarzana, 24-25 ottobre 2006, Autorità di Bacino del Fiume Magra, 2006, pp. 93-109.
- RINALDI M., CASAGLI N., DAPPORTO S., GARGINI A., "Monitoring and modelling of pore water pressure changes and riverbank stability during flow events", *Earth Surf. Proc. Landf.*, 2004, 29, 2, pp. 237-254.
- RINALDI M., MENGONI B., LUPPI L., DARBY S.E., MOSSELMAN E., "Numerical simulation of hydrodynamics and bank erosion in a river bend", *Water Resour. Res.*, 2008, 44, W09429.
- RINALDI M., TERUGGI L.B., SIMONCINI C., NARDI L., "Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale", *Il Quaternario*, 2008b, 21, 1B, pp. 291-302.
- RINALDI M., SIMONCINI C., PIÉGAY H., "Scientific strategy design for promoting a sustainable sediment management: the case of the Magra River (Central-Northern Italy)", *River Res. Appl.*, 2009, 25, pp. 607-625.
- RINALDI M., SURIAN N., COMITI F., BUSSETTINI M., "A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: the Morphological Quality Index (MQI)", *Geomorphology*, 2013, 180-181, pp. 96-108.

- RINALDI M., SURIAN N., COMITI F., BUSSETTINI M., "A methodological framework for hydromorphological assessment, analysis and monitoring (IDRAIM) aimed at promoting integrated river management", *Geomorphology*, 2015, 251, pp. 122-136.
- RINALDI M., AMPONSAH W., BENVENUTI M., BORGA M., COMITI F., LUCIA A., MARCHI L., NARDI L., RIGHINI M., SURIAN N., "An integrated approach for investigating geomorphic response to extreme events: methodological framework and application to the October 2011 flood in the Magra River catchment, Italy", *Earth Surf. Proc. Landf.*, 2016, 41, pp. 835-846.
- SCORPIO V., ROSSKOPF C.M., "Channel adjustments in a Mediterranean river over the last 150 years in the context of anthropic and natural controls", *Geomorphology*, 2016, 275, pp. 94-104.
- SCORPIO V., AUCELLI P., GIANO S.I., PISANO L., ROBUSTELLI G., ROSSKOPF C.M., SCHIATTARELLA M., "River channel adjustments in Southern Italy over the past 150 years and implications for channel recovery", *Geomorphology*, 2015, 251, pp. 77-90.
- SURIAN N., "Studio finalizzato alla definizione geomorfologica della fascia di pertinenza fluviale del Fiume Piave tra Perarolo e Falzè e del Torrente Cordevole tra Mas e Santa Giustina", Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, Studi finalizzati alla redazione del Piano di Bacino, 1998, 38 pp.
- SURIAN N., RINALDI M., "Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy", *Geomorphology*, 2003, 50, 4, pp. 307-326.
- SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., AUDISIO C., MARAGA F., TERUGGI L.B., TURITTO O., ZILIANI L., "Channel adjustments in northern and central Italy over the last 200 years", In: James L.A., Rathburn S.L., Whittecar G.R. (Eds.), "Management and Restoration of Fluvial Systems with Broad Historical Changes and Human Impacts", Geological Society of America, 2009a, Special Paper 451, pp. 83-95.
- SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L. con il contributo di AUDISIO C., BARBERO G., CIBIEN L., CISOTTO A., DUCI G., MARAGA F., NARDI L., SIMONCINI C., TERUGGI L.B., TURITTO O., ZILIANI L., "Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive", 2009b, Casa Editrice CLEUP, Padova, 78 pp.
- SURIAN N., RIGHINI M., LUCIA A., NARDI L., AMPONSAH W., BENVENUTI M., BORGA M., CAVALLI M., COMITI F., MARCHI L., RINALDI M., VIERO A., "Channel response to extreme floods: insights on controlling factors from six mountain rivers in northern Apennines, Italy", *Geomorphology*, 2016, 272, pp. 78-91.
- TACCONI P., CANUTI P., CENCETTI C., RINALDI M., "The fluvial dynamics of the Arno River. 3. Sedimentary characteristics of the Arno River bed", *Mem. Soc. Geol. It.*, 1994, 48, pp. 943-956.
- ZILIANI L., SURIAN N., "Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river", *Geomorphology*, 2012, 173-174, pp. 104-117.

### *Applications of fluvial dynamics to rivers management.*

Fluvial dynamics is a topic of common interest for various scientific disciplines, both in the field of Earth Sciences and other engineering and naturalistic sectors, also considering its numerous implications for the management of the rivers. Based on personal research experiences, the note aims to retrace some developments in the field of fluvial dynamics that have occurred in recent decades and their applications to rivers management. Starting from the beginning of the 90s, the development of a thematic cartography of morphological-sedimentary and anthropic characters, as well as the systematization of the sampling and analysis procedures of riverbed sediments, have overall provided an interesting contribution to the knowledge of the river and its plain. Since the end of the 1990s, numerous researches have provided important and accurate knowledge of the local processes of river bank retreat (at the bank profile scale and at the time scale of the single flood event), through monitoring, numerical modeling and physical experimentation activities. At the same time, in the field of rivers management, the concept of functional mobility zone is gaining ground, aimed at identifying the necessary space adjacent to the stream and reconstructed on the basis of multi-temporal analysis of aerial photos. In the same period, a topic of considerable development was undoubtedly represented by the morphological variations of rivers over the last 100-200 years, above all in relation to the various anthropic activities and disturbances. On the basis of numerous studies, it has been possible to outline the main phases of plano-altimetric evolution of rivers on a national scale and to develop conceptual evolutionary geomorphological models, with obvious applications in the field of management of erosion-deposit processes and induced risks. The Framework Directive “Water” 2000/60 represented an important step in the integrated management of rivers, introducing the so-called *Fluvial Hydromorphology*, understood as the study of hydrological and geomorphological processes, their interactions with human pressures and the implications on ecological processes. The development of methodologies for the geomorphological “diagnosis” of the conditions of a river has therefore shifted the interest from problems related to risks from fluvial dynamics towards aspects of environmental quality. An example is the introduction of the concept of *morphological quality*, deriving from the functionality of the processes and the limited artificiality as necessary conditions to promote the correct functioning of the river from a morphological and ecological point of view. The Framework Directive “Floods” 2007/60 has also reaffirmed the problem of hydraulic risk as a preponderant aspect in the management of the rivers, also recognizing solid transport processes and riverbed modifications as aspects to be taken into account. In this context, the IDRAIM methodology was developed, an overall system for diagnosing the morphological conditions of a stream and supporting integrated management of safety and environmental quality objectives. In conclusion, it is highlighted how, in the last three

decades, the effectiveness of fluvial dynamics studies has significantly increased, with the development of specific methodologies and tangible applications in the field of river management and with the progressive inclusion of issues concerning environmental quality aspects.

*Keywords* - river management, fluvial hydromorphology, guidelines, risk.

*“La Dinamica fluviale. La conoscenza del Fiume per la pianificazione e la salvaguardia del territorio”*

a cura di C. Cencetti, L. Di Matteo

*Culture Territori Linguaggi*, 24, 2023, pp. 206-210

ISBN 9788894469783

Nicola SCIARRA<sup>1</sup>

## STABILITÀ SPONDALE DI UN TRATTO IN FORTE EROSIONE DEL F. VOMANO (TE) CON APPROCCIO ALLE DIFFERENZE FINITE

**Introduzione.** – Questa sintetica nota illustra le risultanze di un’analisi numerica eseguita per lo studio della stabilità di alcune sponde del F. Vomano, in provincia di Teramo (Abruzzo), soggetto a una forte erosione (Fig. 1) che ha determinato notevoli problematiche alla sicurezza di opere infrastrutturali.



Fig. 1 - Particolari degli effetti dell'erosione in alveo nel F. Vomano.

---

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Psicologiche, della Salute e del Territorio (DiSPuTer), Università di Chieti-Pescara, Chieti, nicola.sciarra@unich.it

***Caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area di studio.*** – L'area di studio si presenta geologicamente costituita da un substrato argilloso fortemente inciso, affiorante lungo buona parte dell'asta fluviale, e da una copertura alluvionale, rimasta pensile rispetto all'attuale corso d'acqua, costituita da terrazzi ghiaioso-limosi fortemente eterogenei. Il sito presenta una morfologia in continua evoluzione. Le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi coinvolti, ottenute da prove di laboratorio, sono state utilizzate per la parametrizzazione del modello fisico.

L'attenzione per il F. Vomano nasce dalla natura complessa del sistema e dall'intreccio di cause ed effetti che hanno innescato intensi fenomeni erosivi lungo un tratto d'alveo esteso oltre 14 km. Risalendo il corso del fiume, l'entità dell'escavazione dell'alveo diviene sempre più accentuata; il dissesto raggiunge verso la costa il ponte autostradale della A14 (Fig. 1), mettendo a giorno gli spiccati di fondazione delle pile. A causa dell'incisione dell'alveo, si è avuto un costante e problematico incremento dell'altezza e dell'acclività delle sponde; queste sono più facilmente soggette a fenomeni d'instabilità in caso di eventi particolarmente intensi di piena, con l'incremento dell'erosione laterale e l'aggravamento e il danneggiamento delle opere di attraversamento e di difesa idraulica presenti nel tratto d'alveo. Una situazione morfologica così compromessa ha danneggiato l'intero sistema idrico: i fossi secondari risentono, a partire dalla confluenza, dell'effetto della variazione del livello di base locale, innescando anch'essi fenomeni erosivi affini.

***Le simulazioni numeriche.*** – L'area su cui sono state eseguite le simulazioni numeriche è stata rilevata topograficamente con l'ausilio di una stazione totale e di un sistema GPS a lettura differenziale che hanno permesso di ricostruire un modello DTM di alta precisione (Fig. 2). Al modello DTM è stato associato un sottosuolo costituito dai due litotipi caratteristici presenti (argille di base e alluvioni ghiaiose superficiali). Il modello geometrico ottenuto è stato quindi discretizzato (Fig. 3) ai fini della successiva analisi numerica. Per le simulazioni è stato utilizzato il codice di calcolo FLAC\_3D che ha consentito di ottenere una serie di informazioni che hanno facilitato la comprensione dei cinatismi accaduti e in atto, in funzione delle peculiarità geometriche, fisiche e meccaniche dei terreni presenti.

***Risultati.*** – I risultati della modellazione numerica sono in parte visibili in Figura 4, nella quale, per motivi di sintesi, si evidenziano unicamente le zone di plasticizzazione relative alla sponda sinistra. Comunque, gli spostamenti calcolati lungo gli assi Y e Z hanno mostrato una buona correlazione con quelli effettivamente verificatisi, evidenziando una prevalente componente di spostamento verticale nelle zone di testata delle sponde.

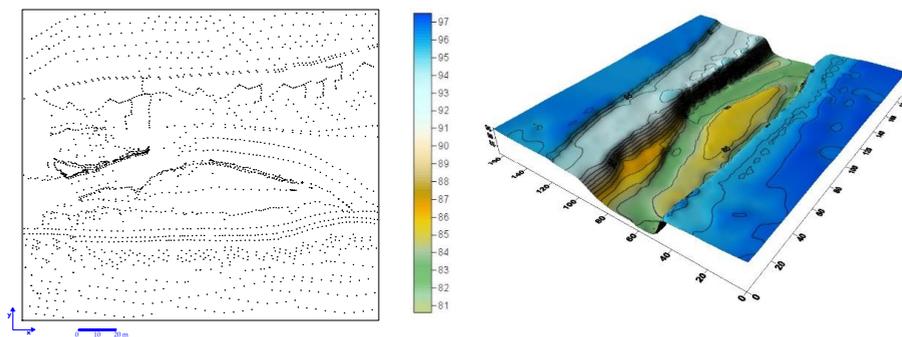


Fig. 2 - Ricostruzione del modello DTM della zona indagata; a sinistra la nuvola di punti estratta tramite rilievo GPS.

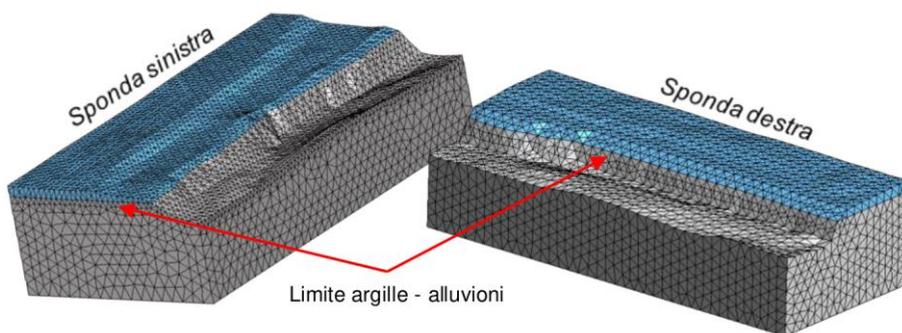


Fig. 3 - Ricostruzione della griglia di discretizzazione del modello fisico indagato.

La distribuzione areale delle maglie in condizioni prossime alla rottura per tagli e per trazione è del tutto analoga a quella facilmente riscontrabile direttamente sul sito. Il sistema spondale subisce meccanismi di rottura procedendo a continui arretramenti.

Questa è una condizione critica permanente, dovuta principalmente alle caratteristiche di resistenza e di fragilità dei materiali coinvolti. In particolare, il substrato argilloso è soggetto a un forte peggioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche, a seguito dei cicli di imbibizione ed essiccazione e dello scalzamento al piede dovuto al transito giornaliero di piene antropicamente indotte; i continui giornalieri momenti di imbibizione ed essiccazione in concomitanza di escursioni termiche importanti (soprattutto nel periodo estivo), comportano un ulteriore decadimento delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni, contribuendo all'evoluzione dello stato di instabilità spondale e dell'arretramento dei cigli di sponda.

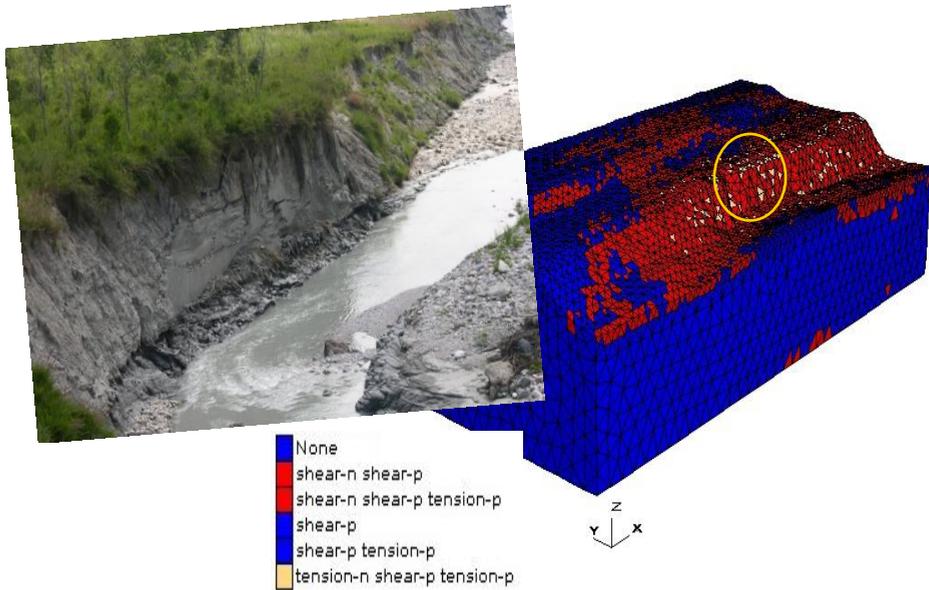


Fig. 4 - Diagramma delle zone di plasticizzazione relative alla sola sponda sinistra dell'alveo del F. Vomano. Cerchiate in giallo le zone in trazione.

*Bank stability of a heavily eroded section of the Vomano River (TE) with a finite-difference approach.*

The note illustrates the results of a numerical analysis carried out to study the stability of some banks of the Vomano River, in the province of Teramo (Abruzzo), subject to strong erosion which has caused significant problems for the safety of infrastructural works. The area on which the numerical simulations were performed was topographically surveyed with the aid of a total station and a differential reading GPS system which made it possible to reconstruct a high precision DTM model. The DTM model was associated with a subsoil consisting of the two characteristic lithotypes present (clays and superficial gravels). The geometric model obtained was then discretized for the purposes of the subsequent numerical analysis. For the simulations, the calculation code FLAC\_3D was used, which made it possible to obtain a series of information that facilitated the understanding of the kinematics that occurred and were in progress, according to the geometric, physical and mechanical peculiarities of the terrains present. The results highlight a prevalent component of vertical displacement in the bank head areas. The areal distribution of the meshes in conditions close to breaking due to cuts and traction is completely analogous to that which can be easily found directly on site. The

bank system undergoes breakage mechanisms proceeding to continuous retreats. This is a permanent critical condition, mainly due to the characteristics of resistance and fragility of the materials involved (especially clays), subject to a strong deterioration of the physical-mechanical characteristics, following the cycles of imbibition and drying and the undermining of the foot due to the daily transit of anthropically induced floods.

*Keywords* - geomorphological evolution, finite-difference method, Vomano River.

*“La Dinamica fluviale. La conoscenza del Fiume per la pianificazione e la salvaguardia del territorio”*

a cura di C. Cencetti, L. Di Matteo

*Culture Territori Linguaggi*, 24, 2023, pp. 211-214

ISBN 9788894469783

Nicola SURIAN<sup>1</sup>

## DINAMICA D’ALVEO IN RISPOSTA AD EVENTI DI ELEVATA MAGNITUDO: COMPrensIONE DEI PROCESSI E IMPLICAZIONI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

**Riassunto.** – Durante eventi di piena di elevata magnitudo, un corso d’acqua può essere soggetto a processi geomorfologici e a una dinamica complessiva che si possono discostare in modo rilevante rispetto a quelli osservabili in condizioni idrologiche “ordinarie”, ossia in relazione a eventi con elevata probabilità di accadimento. Intensi processi di erosione spondale e di trasporto, sia di sedimenti che di materiale legnoso, possono modificare in modo sostanziale l’assetto morfologico dell’alveo, sia in termini planimetrici che altimetrici.

Se, da una parte, gli eventi di elevata magnitudo hanno attratto l’attenzione di molti ricercatori per comprendere il loro ruolo nella dinamica complessiva di un corso d’acqua (e.g. in che modo e per quanto tempo tali eventi condizionano la traiettoria evolutiva di un corso d’acqua), è evidente che tali processi e modificazioni morfologiche hanno delle implicazioni molto rilevanti in termini di pericolosità e rischio. Soprattutto in ambito montano, la dinamica morfologica degli alvei può rivelarsi l’aspetto cruciale per la mappatura della pericolosità e la mitigazione del rischio da eventi alluvionali. Sono infatti gli intensi processi di allargamento, che talvolta possono interessare l’intero fondovalle, e il trasporto solido, che si può verificare anche in forma di *debris flood* o *debris flow*, che determinano i danni maggiori.

La presente nota si prefigge di approfondire due aspetti: (i) gli sviluppi più recenti, in ambito di ricerca scientifica, nella comprensione della dinamica d’alveo in relazione a eventi alluvionali di elevata magnitudo; (ii) quanto la dinamica d’alveo viene considerata nell’analisi e nella mappatura della pericolosità da eventi alluvionali.

---

<sup>1</sup> Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, Padova, nicola.surian@unipd.it

A partire dal lavoro di Costa e O'Connor (1995), fondamentale nel concettualizzare il ruolo della magnitudo e della durata di un evento di piena, molte ricerche si sono concentrate sui diversi fattori che possono controllare la risposta geomorfologica di un corso d'acqua a eventi alluvionali di elevata magnitudo (Langhammer, 2010; Dean e Schmidt, 2013; Thompson e Croke, 2013; Buraas et al., 2014). Quello che emerge da queste ricerche, infatti, è che la componente idraulica, ad esempio la potenza della corrente, non è sufficiente per spiegare, e quindi prevedere, la risposta di un corso d'acqua. Solo considerando altri aspetti, come il confinamento, la disponibilità di sedimenti, la presenza di opere di difesa, si può ottenere una migliore comprensione di tale risposta. Ad esempio, recenti studi condotti nel contesto italiano (Surian et al., 2016; Scorpio et al., 2018) evidenziano come l'allargamento dell'alveo sia controllato principalmente da due fattori: la potenza unitaria della corrente e il confinamento. Se da una parte si è consolidato il fatto che sia necessario un approccio integrato (e.g. idrologia, idraulica, geomorfologia e impiego di diverse tecniche e dati) per analizzare la risposta geomorfologica di un corso d'acqua (Rinaldi et al., 2016), l'aspetto che generalmente è più difficile da approfondire e ricostruire riguarda la tipologia di flusso. Come evidenziato da Brenna et al. (2023), la tipologia di flusso può risultare un fattore chiave nella comprensione della risposta geomorfologica. Nello specifico, l'individuazione dei tratti del reticolo idrografico dove si verificano *debris floods*, ossia flussi idrici caratterizzati da elevato trasporto al fondo, è cruciale nell'interpretazione di allargamenti particolarmente intensi dell'alveo.

Quanto queste conoscenze in ambito scientifico trovano applicazione in ambito di pianificazione e gestione dei corsi d'acqua? La risposta è piuttosto semplice, considerando sia il contesto europeo (Direttiva "Alluvioni") sia un contesto più ampio: le applicazioni sono molto limitate e la mappatura della pericolosità alluvionale rimane basata solo su approcci idraulici, ossia di valutazione delle aree allagabili. Da ciò deriva una forte lacuna nella valutazione della pericolosità e del rischio, soprattutto in quelle porzioni del reticolo idrografico (ad esempio nei corsi d'acqua montani e in alvei a canali intrecciati) dove la dinamica d'alveo riveste un ruolo dominante, o almeno paritario, rispetto ai processi strettamente idraulici, ossia ai processi di esondazione. Questa criticità nella valutazione del rischio, in particolare per contesti fortemente antropizzati come quello italiano, potrebbe ulteriormente accentuarsi nel breve termine, in relazione a una maggiore frequenza di eventi estremi.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

BRENNA A., MARCHI L., BORGA M., ZARAMELLA M., SURIAN N., "What drives major channel widening in mountain rivers during floods? The role of debris floods during a high-magnitude event", *Geomorphology*, 2023, 430, 108650.

- BURAAS E.M., RENSHAW C.E., MAGILLIGAN F.J., DADE W.B., "Impact of reach geometry on stream channel sensitivity to extreme floods", *Earth Surf. Proc. Landf.*, 2014, 39, 13, pp. 1778-1789.
- COSTA J.E., O'CONNOR J.E., "Geomorphically effective floods", *Geophys. Monogr.*, 1995, 89, pp. 45-45.
- DEAN D.J., SCHMIDT J.C., "The geomorphic effectiveness of a large flood on the Rio Grande in the big Bend region: insights on geomorphic controls and post-flood geomorphic response", *Geomorphology*, 2013, 201, pp. 183-198..
- LANGHAMMER J., "Analysis of the relationship between the stream regulations and the geomorphologic effects of floods", *Nat. Hazards*, 2010, 54, 1, pp. 121-139.
- RINALDI M., AMPONSAH W., BENVENUTI M., BORGA M., COMITI F., LUCIA A., MARCHI L., NARDI L., RIGHINI M., SURIAN N., "An integrated approach for investigating geomorphic response to extreme events: methodological framework and application to the October 2011 flood in the Magra River catchment, Italy", *Earth Surf. Proc. Landf.*, 2016, 41, pp. 835-846.
- SCORPIO V., CREMA S., MARRA F., RIGHINI M., CICCARESE G., BORGA M., CAVALLI M., CORSINI A., MARCHI L., SURIAN N., COMITI F., "Basin-scale analysis of the geomorphic effectiveness of flash floods: A study in the northern Apennines (Italy)", *Sc. Tot. Environ.*, 2018, 640-641, pp. 337-351.
- SURIAN N., RIGHINI M., LUCIA A., NARDI L., AMPONSAH W., BENVENUTI M., BORGA M., CAVALLI M., COMITI F., MARCHI L., RINALDI M., VIERO A., "Channel response to extreme floods: Insights on controlling factors from six mountain rivers in northern Apennines, Italy", *Geomorphology*, 2016, 272, pp. 78-91.
- THOMPSON C., CROKE J., "Geomorphic effects, flood power, and channel competence of a catastrophic flood in confined and unconfined reaches of the upper Lockyer valley, Southeast Queensland, Australia", *Geomorphology*, 2013, 197, pp. 156-169.

*Riverbed dynamics in response to high magnitude events: understanding processes and implications for risk mitigation.*

During high-magnitude flood events, a river can be subject to geomorphological processes and to an overall dynamics that can differ significantly from those observable in "ordinary" hydrological conditions, i.e. in relation to events with a high probability of occurrence. Intense processes of bank erosion and transport, both of sediments and of woody material, can substantially modify the morphological structure of the riverbed, both in planimetric and altimetric terms. While high magnitude events have attracted the attention of many researchers to understand their role in the overall dynamics of a river (i.e. how and for how long these events condition the evolutionary trajectory of a river), it is evident that these processes and morphological modifications have very significant implications in terms of hazard and risk. Especially in the mountain environments, the morphological dynamics of the riverbeds can prove to be the crucial aspect for mapping the hazard and mitigating the risk from flooding events. In fact,

the intense widening processes, which can sometimes affect the entire valley floor, and solid transport, which can also occur in the form of debris flood or debris flow, are responsible of the greatest damages. This note aims to investigate two aspects: (i) the most recent developments, in the field of scientific research, in the understanding of riverbed dynamics in relation to high-magnitude flood events; (ii) how much the riverbed dynamics is considered in the analysis and mapping of the hazard from flood events. Starting from the work of Costa and O'Connor (1995), fundamental in conceptualizing the role of the magnitude and duration of a flood event, much research has focused on the various factors that can control the geomorphological response of a river to high magnitude flood events (Langhammer, 2010; Dean & Schmidt, 2013; Thompson & Croke, 2013; Buraas et al., 2014). What emerges from these researches, in fact, is that the hydraulic component, for example the stream power, is not sufficient to explain, and therefore predict, the response of a river. Only by considering other aspects, such as confinement, the availability of sediments, the presence of defense works, can we obtain a better understanding of this response. For example, recent studies conducted in the Italian context (Surian et al., 2016; Scorpio et al., 2018) show that the widening of the riverbed is mainly controlled by two factors: the unit stream power and the confinement. While on the one hand it has been established that an integrated approach is needed (e.g. hydrology, hydraulics, geomorphology and the use of different techniques and data) to analyze the geomorphological response of a stream (Rinaldi et al., 2016), the aspect that is generally more difficult to investigate and reconstruct concerns the type of flow. As highlighted by Brenna et al. (2023), the flow typology can be a key factor in understanding the geomorphological response. Specifically, the identification of the sections of the hydrographic net where debris floods occur, i.e. water flows characterized by high bedload transport, is crucial in the interpretation of particularly intense widening of the riverbed. To what extent does this knowledge in the scientific field find application in the planning and management of rivers? The answer is quite simple, considering both the European context ("Floods" Directive) and a broader context: the applications are very limited and the mapping of the flood hazard remains based only on hydraulic approaches, i.e. the evaluation of floodable areas. From this derives a strong gap in the assessment of hazard and risk, above all in those portions of the hydrographic net (for example in mountain streams and in braided rivers) where the dynamics of the riverbed plays a dominant role, or at least equal, compared to strictly hydraulic processes, i.e. flooding processes. This criticality in risk assessment, especially for highly anthropized environments such as the Italian one, could further accentuate in the short term in relation to a greater frequency of extreme events.

*Keywords* - riverbed dynamics, high magnitude events, risk mitigation.



ISBN 9788894469783