

# PROCESSI MORFODINAMICI CONSEGUENTI AD INTERVENTI DI RIATTIVAZIONE DELLE LANCHE IN ALVEI MEANDRIFORMI

*Lorenzo Durante<sup>1</sup> & Michele Bolla Pittaluga<sup>1</sup>*

*(1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale, Università di Genova, Genova, Italia.*

## ASPETTI CHIAVE:

- *Interventi di riattivazione delle lanche in alvei meandriformi possono influenzare l'equilibrio morfodinamico del sistema fluviale.*
- *Le caratteristiche della lanca e dello sfioratore laterale sono determinanti per valutare l'efficacia e gli impatti degli interventi di rinaturalizzazione.*
- *Le simulazioni numeriche indicano una tendenza alla sedimentazione nell'alveo principale a causa della deviazione di parte della portata verso le lanche.*

## 1 INTRODUZIONE

La maggior parte dei corsi d'acqua italiani ed europei sono stati soggetti nel corso del tempo a significativi interventi ingegneristici finalizzati allo sfruttamento del potenziale idroelettrico, alla navigabilità e/o al controllo dell'assetto plano-altimetrico. Nel corso dei secoli, tali interventi hanno comportato la realizzazione di argini per la gestione delle piene e la protezione delle aree urbane, nonché la deviazione completa di alcuni corsi d'acqua in casi estremi. Tra i fiumi più influenzati dall'attività antropica vi è il fiume Po e i suoi affluenti, che raccolgono le acque di gran parte del Nord Italia e rivestono un'importanza vitale per lo sviluppo delle attività produttive e degli insediamenti nella Pianura Padana. Nel corso dei decenni, soprattutto a metà del secolo scorso, sono state realizzate diverse opere di regolamentazione nel tratto vallivo, principalmente mirate alla chiusura dei rami laterali dei fiumi, conosciuti come "lanche", al fine di convogliare l'intera portata idrica nel canale principale allo scopo di consentire la navigabilità.

Recentemente, è stato redatto un imponente programma di interventi lungo l'asta del Po che prevede la riapertura di tali lanche al fine di ripristinare gli ecosistemi perduti, in un'ottica di rinaturalizzazione del corso d'acqua. Tuttavia, tali interventi comportano la formazione di nuovi sistemi di biforcazione e confluenza, che studi recenti hanno mostrato possono essere soggetti a fenomeni di instabilità e alla potenziale alterazione dell'assetto del fondo (Bolla Pittaluga et al., 2003, 2015; Ragno et al., 2021). Non è infrequente osservare una tendenza alla sedimentazione in uno dei rami, solitamente quello con capacità di trasporto inferiore, che può portare, nel lungo termine, alla completa avulsione verso il ramo favorito.

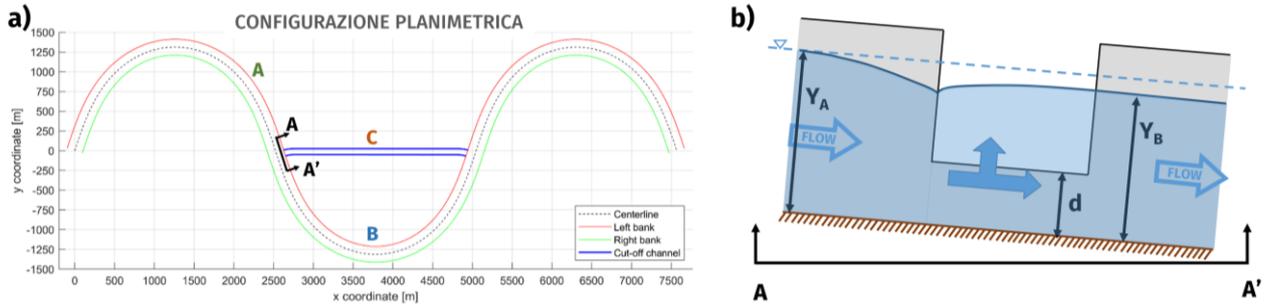
Le opere di rinaturalizzazione qui proposte si distinguono rispetto ai classici sistemi studiati, poiché la riattivazione delle lanche avviene tramite l'abbassamento dell'argine longitudinale (detto pennello) in modo tale da ridurre la portata liquida per cui l'argine viene sormontato e la lanca riattivata. Il deflusso dal canale principale alla lanca laterale può essere interpretato come quello che si verifica in uno sfioratore laterale, nel quale la distribuzione delle portate solide e liquide è direttamente influenzata dall'altezza della soglia, dalle caratteristiche geometriche del sistema e dall'eventuale rigurgito da valle.

È pertanto imprescindibile condurre uno studio approfondito sulla risposta del sistema a tale perturbazione. A tal fine è stato sviluppato un modello numerico in grado di descrivere l'evoluzione morfodinamica di un sistema costituito da un alveo principale meandriforme e da una lanca tale da costituire un sistema a 'loop' caratterizzato da una biforcazione a monte e una confluenza a valle. Le simulazioni numeriche hanno consentito di valutare l'impatto della riapertura delle lanche sull'equilibrio morfodinamico del sistema.

## 2 METODI

Per valutare l'efficacia della riapertura delle lanche previste in diversi tratti del fiume Po, è stata condotta una indagine numerica 2D, mediata sulla profondità, su una configurazione idealizzata di tratto meandriforme, caratterizzata da un andamento sinusoidale secondo l'equazione di Kinoshita (semplificata dai fattori di fattening e skewing come prima approssimazione), come illustrato nella Figura 1. Nel punto di flesso del

meandro, è stata introdotta la lanca tale da creare il loop in esame. Nel prosieguo, l'alveo principale di monte sarà definito con il pedice A, il tratto di canale principale compreso tra la biforcazione e la successiva confluenza sarà definito con il pedice B, mentre la lanca con il pedice C.



**Figura 1.** Sketch esemplificativi del sistema analizzato. (a) Planimetria del dominio computazionale con alveo meandriforme (linea verde e rossa), e la lanca (linea blu). (b) Sezione AA' dello sfioratore laterale e notazioni.

L'evoluzione morfodinamica del sistema è stata analizzata tramite una serie di simulazioni numeriche, mediate sulla profondità, condotte con il codice numerico D-Flow Flexible Mesh. Il modello è in grado di effettuare simulazioni idrodinamiche multi-dimensionali, calcolando moti non-stazionari e fenomeni di trasporto; tali equazioni sono discretizzate tramite un risolutore implicito ai volumi finiti applicati su una staggered grid di forma flessibile.

Considerando quindi, il dominio rappresentato in Figura 1, sono state analizzate diverse configurazioni variando le caratteristiche geometriche della lanca e dello sfioratore. I parametri fondamentali che governano la morfodinamica del dominio analizzato (Bolla Pittaluga et al., 2003; Durante et al., 2023) sono l'aspect ratio  $\beta_A$  del canale principale ( $\beta_A = W_A/2Y_A$ ), il parametro di Shields ( $\theta_A = \tau_A/(\rho_s - \rho)gd_s$ ), la lunghezza adimensionale del ramo principale ( $L = L_B if_A/Y_A$ ) e il rapporto delle lunghezze tra i due rami ( $\gamma_L = L_C/L_B$ ). Nelle relazioni precedenti  $W_i$  rappresenta la larghezza,  $Y_i$  la profondità,  $if_A$  la pendenza del canale di monte,  $\tau_A$  la tensione al fondo,  $\rho$  la densità dell'acqua,  $\rho_s$  la densità dei sedimenti,  $d_s$  il diametro dei sedimenti e  $L_i$  la lunghezza del ramo.

Inoltre, data la peculiarità del deflusso laterale e della geometria del canale, risulta necessario tenere in considerazione il rapporto di sfioro ( $\Delta_Y = \frac{d}{Y_A}$ ), dove  $d$  è l'altezza della soglia di sfioro e  $Y_A$  è la profondità di moto uniforme nel canale indisturbato. La quantità di portata sfiorata sarà anche dipendente dalla larghezza della lanca; quindi, si riscontra la dipendenza anche dal rapporto delle larghezze ( $\gamma_W = \frac{W_C}{W_B}$ ), dove  $W_C$  è la larghezza della lanca, mentre  $W_B$  è la larghezza del ramo meandriforme.

Nelle analisi numeriche condotte sono stati variati il rapporto di sfioro e il rapporto delle larghezze sul dominio presentato in Figura 1 (Tabella 1) mantenendo costanti la portata a monte, la scabrezza, la pendenza del fondo iniziale dell'alveo principale, il diametro dei sedimenti e la formula di trasporto (Engelund & Hansen, 1967).

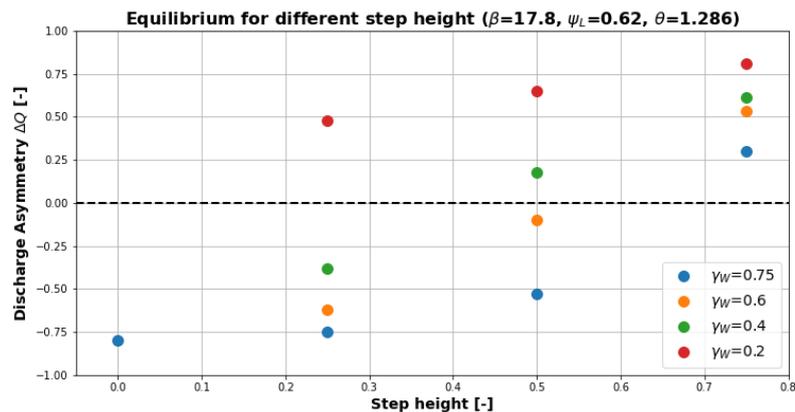
### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Il fondo di equilibrio locale di un tratto di fiume è inevitabilmente soggetto all'influenza degli interventi di riattivazione delle lanche precedentemente arginate. Tuttavia, l'entità di tale influenza varia in base alla specifica applicazione, con le caratteristiche della lanca e dello sfioratore laterale che giocano un ruolo cruciale nella determinazione della partizione delle portate  $\Delta Q$  tra lanca e alveo principale ( $\Delta Q = \frac{Q_B - Q_C}{Q_A}$ ) e il conseguente equilibrio del sistema. Le varie simulazioni numeriche in Tabella 1, modificate in base al rapporto di sfioro ( $\Delta_Y$ ) e al rapporto delle larghezze ( $\gamma_W$ ), consentono di valutare il  $\Delta Q$  risultante all'equilibrio, come evidenziato nella Figura 2.

ID	$\beta_A$	$\theta_A$	L	$\gamma_L$	$\gamma_w$	$\Delta_V$
Run00	17.8	1.29	0.13	0.62	0.75	0.5
Run01	17.8	1.29	0.13	0.62	0.75	0.75
Run02	17.8	1.29	0.13	0.62	0.75	0.25
Run03	17.8	1.29	0.13	0.62	0.75	0
Run04	17.8	1.29	0.13	0.62	0.6	0.75
Run05	17.8	1.29	0.13	0.62	0.6	0.5
Run06	17.8	1.29	0.13	0.62	0.6	0.25
Run07	17.8	1.29	0.13	0.62	0.4	0.75
Run08	17.8	1.29	0.13	0.62	0.4	0.5
Run09	17.8	1.29	0.13	0.62	0.4	0.25
Run10	17.8	1.29	0.13	0.62	0.2	0.75
Run11	17.8	1.29	0.13	0.62	0.2	0.5
Run12	17.8	1.29	0.13	0.62	0.2	0.25

**Tabella 1.** Simulazioni numeriche effettuate e valore dei parametri caratteristici.

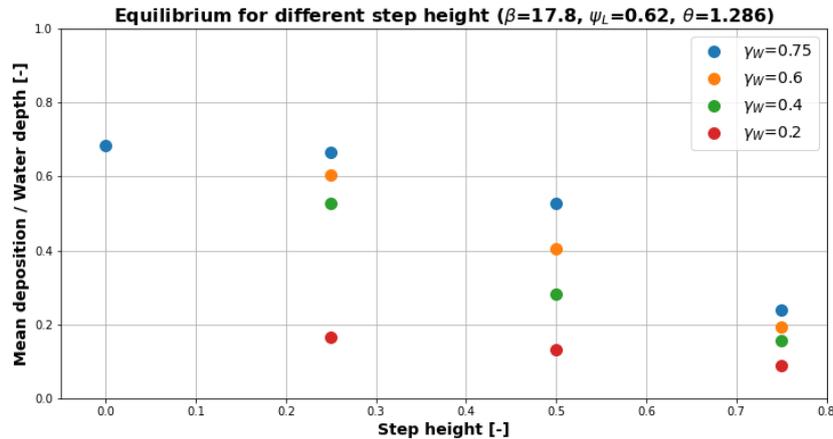
È chiaro che, con la riduzione del rapporto di sfioro (ottenuto con un abbassamento dell'argine), una maggiore portata viene deviata nella lanca e, in certi casi, questa diventa il ramo dominante per il passaggio della portata (quando  $\Delta Q < 0$ ). Allo stesso modo, mantenendo costante il rapporto di sfioro, all'aumentare della larghezza della lanca, il  $\Delta Q$  diminuisce.



**Figura 2.** Asimmetria delle portate liquide corrispondenti alla configurazione di equilibrio risultante dalle simulazioni numeriche effettuate per diversi valori del rapporto di sfioro  $\Delta_V$  e del rapporto delle larghezze  $\gamma_w$  tra la lanca e il canale principale.

È evidente che le dimensioni dello sfioratore laterale favoriscano il passaggio di una maggiore portata nella lanca, la quale è quindi in grado di trasportare una quantità superiore di sedimenti. In tal modo, la lanca sarà soggetta ad erosione dato il vantaggio nel gradiente della superficie libera nel tratto, dato dall'inferiore lunghezza (avendo in questo caso il rapporto delle lunghezze  $\gamma_L = 0.62$ ). Tale meccanismo genera un feedback positivo nel quale la portata sfiorata aumenta, riducendo progressivamente quella nel canale principale e portando a un accumulo graduale di sedimenti a causa della ridotta capacità di trasporto rispetto all'apporto di sedimenti da monte.

Analogamente a quanto evidenziato nella Figura 2, il deposito medio risultante nel canale originale è riportato in Figura 3. I risultati delle simulazioni sono esposti normalizzando il deposito medio con il tirante idrico precedente alla riapertura della lanca. Evidentemente, quando la portata sfiorata risulta eccessiva, si osserva una riduzione significativa del tirante idrico nel ramo originale, che può superare il 50%. È rilevante notare che anche in configurazioni in cui la portata sfiorata è modesta, si osserva comunque un deposito nell'alveo principale. Tale fenomeno è coerentemente spiegato considerando il sistema nella sua totalità: la riattivazione della lanca può essere concepita come un allargamento generale del tratto in questione, che, conseguentemente, riduce la velocità media nell'alveo e la conseguente capacità di trasporto, favorendo un accumulo di sedimenti generalizzato.



**Figura 3.** Valori del rapporto tra il deposito medio e la profondità iniziale nel canale principale corrispondenti alla configurazione di equilibrio risultante dalle simulazioni numeriche effettuate per diversi valori del rapporto di sfioro  $\Delta Y$  e del rapporto delle larghezze  $\gamma_w$  tra la lanca e il canale principale.

## 4 CONCLUSIONI

Le simulazioni numeriche effettuate hanno consentito di prevedere la risposta morfodinamica di un sistema idealizzato caratterizzato da un alveo fluviale meandriforme, in cui è stata prevista la riapertura di una lanca, creando così un sistema a loop con una biforcazione a monte e una confluenza a valle. In corrispondenza della biforcazione di monte è stata posta una soglia di sfioro inerodibile in linea con quanto previsto in diversi tratti lungo il Fiume Po.

Il fondo di equilibrio locale di un tratto di fiume è inevitabilmente soggetto all'influenza degli interventi di riattivazione delle lanche precedentemente arginate. Tuttavia, l'entità di tale influenza varia in base a ciascuna specifica applicazione, dove le caratteristiche della lanca e dello sfioratore laterale (qui indicate rispettivamente con i parametri  $\gamma_w$  e  $\Delta Y$ ) rivestono particolare importanza nella determinazione della partizione delle portate ( $\Delta Q$ ) e il conseguente equilibrio del sistema.

Tutte le simulazioni hanno rivelato come l'apertura della lanca comporti una tendenza alla sedimentazione nell'alveo principale, associata alla diminuzione della portata liquida attraverso lo sfioratore laterale rispetto al tratto a monte. Solo una frazione minima della portata solida viene deviata nella lanca attraverso lo sfioratore; di conseguenza, nel tratto situato a valle della biforcazione, si verifica un eccesso di portata solida rispetto alla capacità di trasporto della corrente, determinando una tendenza al deposito. Un secondo aspetto altrettanto rilevante che contribuisce alla sedimentazione dell'alveo principale è legato all'aumento della larghezza complessiva del corso d'acqua derivante dalla riapertura della lanca. È noto che gli allargamenti della sezione del corso d'acqua comportano un rallentamento della corrente e una tendenza al deposito, aspetto che può essere previsto all'interno di un modello morfodinamico monodimensionale. I risultati numerici confermano tale comportamento, mostrando come la tendenza al deposito nel canale principale diminuisca con l'aumentare dell'altezza della soglia di sfioro e con la diminuzione della larghezza della lanca.

## 5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bolla Pittaluga, M., Repetto, R. & M. Tubino (2003), *Channel bifurcation in braided rivers: Equilibrium configurations and stability*, *Water Resources Research*, 39(3), 1046.
- Bolla Pittaluga, M., G. Coco, & M. G. Kleinhans (2015), *A unified framework for stability of channel bifurcations in gravel and sand fluvial systems*, *Geophys. Res. Lett.*, 42.
- Durante, L., Bolla Pittaluga, M., Tambroni, N. (2023), *Equilibrium and stability of asymmetrical river bifurcations*, 13th *Symposium on River, Coastal, and Estuarine Morphodynamics – Urbana, Illinois 2023*.
- Engelund, F. & E. Hansen (1967), *A monograph on sediment transport*, *Technical University of Denmark, Technisk Forlag, Copenhagen, Denmark*.
- Ragno, N., Redolfi, M., & Tubino, M (2021), *Coupled morphodynamics of river bifurcations and confluences*, *Water Resources Research*, 57, e2020WR028515.