

4 Risposta dei corsi d'acqua principali alla derivazione delle piene nelle zone golenali

Le opere di derivazione laterale dei corsi d'acqua sono misure comuni utilizzate per deviare parte della portata durante gli eventi di piena. L'esonazione laterale riduce la portata e quindi la capacità di trasporto del materiale solido di fondo nel corso d'acqua principale, con conseguente deposito di sedimenti. Il presente capitolo analizza e illustra le interazioni tra la portata laterale e le variazioni del livello dell'alveo utilizzando modelli 1D e 2D e formula raccomandazioni per la loro applicazione pratica. Presenta inoltre brevemente aspetti di carattere ecologico dell'inondazione delle aree di ritenzione.

Seline Frei, Eva Gerke, Robert Boes e David Vetsch

4.1 Introduzione

Le opere di derivazione laterale nei corsi d'acqua, come gli stramazzi laterali e gli argini tracimabili, sono comuni misure utilizzate per deviare parte della portata in un'area di ritenzione laterale o in un corridoio di deflusso durante i grandi eventi di piena, riducendo il rischio di piena delle zone a valle. Esistono opere di derivazione laterale regolate e non, in Svizzera la maggior parte non è regolata (Bühlmann e Boes 2014).

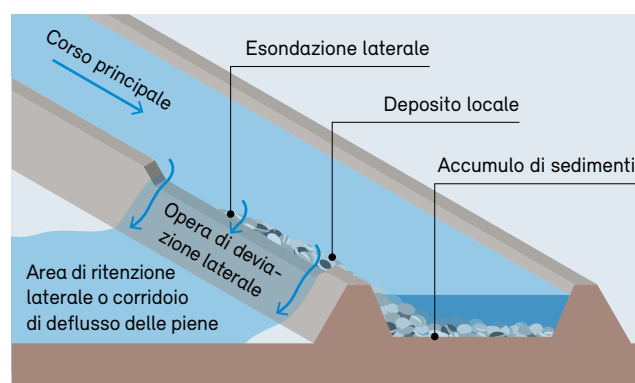
L'esonazione laterale si verifica non appena il livello dell'acqua raggiunge la corona dello sbarramento o dello stramazzo. L'altezza della corona deve essere progettata in base agli obiettivi idrologici e di protezione contro le piene; in Svizzera quest'ultimo obiettivo si basa su una valutazione del rischio ed è determinato in base al potenziale di danno della zona soggetta a piene (UFAM 2005). La portata di esonazione del progetto è quindi un valore specifico. Le opere di derivazione laterale sono utilizzate nella protezione contro le piene come parte della progettazione e per la sicurezza del sistema durante eventi estremi (scenario di sovraccarico). L'esonazione laterale è tipicamente considerata a monte delle zone ad alta vulnerabilità, come gli insediamenti e gli impianti industriali, a condizione che siano disponibili aree di ritenzione adeguate o corridoi di deflusso delle piene. L'esonazione laterale comporta una riduzione della portata e quindi una minore capacità di trasporto del materiale solido di fondo nel corso d'acqua principale. Di conseguenza possono verificarsi depositi locali in prossimità dell'opera di

derivazione laterale e un deposito dei sedimenti nel corso d'acqua a valle (fig. 22). L'innalzamento del livello dell'alveo può ampliare notevolmente l'esonazione laterale rispetto alla situazione senza trasporto di materiale solido di fondo.

Con l'aumentare della durata della piena, il deposito continua a espandersi verso il corso d'acqua principale a valle. Durante la fase di discesa dell'onda di piena si verifica nuovamente l'erosione dove si erano verificati il deposito locale e accumulati i sedimenti. L'interazione tra l'esonazione

Figura 22

Opera di derivazione laterale con deposito locale dovuto al trasporto di materiale solido di fondo e accumulo di sedimenti a causa dell'esonazione laterale durante un evento di piena. Figura adattata da Rosier (2007).



Fonte: VAW, ETH Zurich

laterale e i cambiamenti nella dinamica del trasporto del materiale solido di fondo non va tuttavia trascurata nella progettazione delle opere di derivazione laterale. Linee guida per la progettazione di opere di derivazione laterale che non considerano il deposito dei sedimenti sono disponibili in Bühlmann e Boes (2014), Giesecke *et al.* (2014) e Jäggi *et al.* (2015). Per tenere conto dell'effetto dell'innalzamento del livello dell'alveo sull'esondazione laterale, Rosier (2007) ha condotto diversi esperimenti presso la piattaforma PL-LCH dell'EPFL.

I modelli numerici comunemente utilizzati per la sistemazione dei corsi d'acqua e la valutazione del rischio di piene, ossia i modelli 1D e 2D basati sulle equazioni delle acque basse, possono essere utilizzati come strumenti per la progettazione di opere di derivazione laterale considerando le variazioni del livello dell'alveo. Il software di simulazione BASEMENT (Vetsch *et al.* 2020) è stato usato per analizzare l'interazione tra l'esondazione laterale e le variazioni del livello dell'alveo, utilizzando le conclusioni tratte dagli esperimenti (Rosier 2007) per convalidare i risultati. Il presente capitolo illustra le capacità e i requisiti del modello e formula raccomandazioni.

Un altro aspetto piuttosto nuovo in Svizzera è l'uso dell'esondazione laterale per migliorare le condizioni ecologiche nelle aree di ritenzione, in quella che è stata definita «inondazione ecologica» (cfr. riquadro 7). In questo sistema, l'acqua viene deviata nelle aree di ritenzione non solo durante i grandi eventi di piena, ma anche durante quelli piccoli. Ciò può favorire la formazione di biotopi

golenali dinamici. In Germania, l'inondazione ecologica è stata utilizzata con successo, ad esempio nel polder di Altenheim, lungo il fiume Reno, dal 1987 (Pfarr *et al.* 2014).

4.2 Stima dell'esondazione laterale

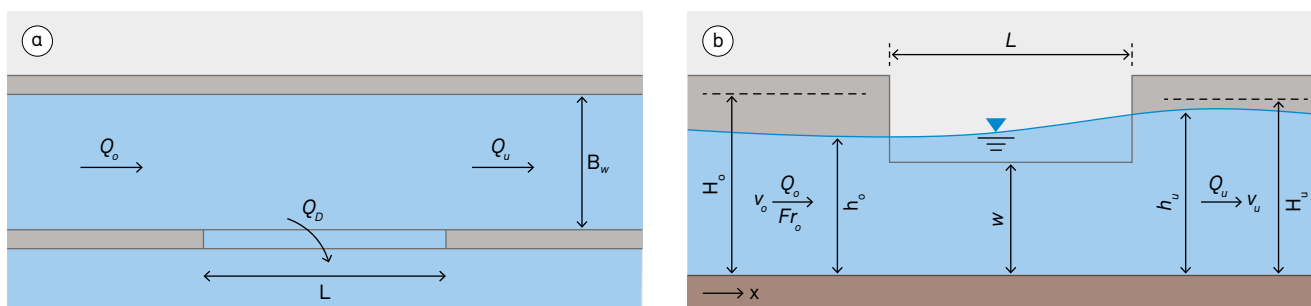
4.2.1 Approcci comuni

Le classiche equazioni relative agli stramazzi per la stima della portata presuppongono che la corrente si avvicini allo stramazzo perpendicolarmente al suo asse. Nelle opere di derivazione laterale, invece, la corrente si avvicina con un angolo inferiore a 90° . La figura 23 mostra la vista dall'alto e laterale di un'opera di derivazione laterale in un corso d'acqua con condizioni di corrente subcritica, in cui il flusso viene deviato verso un'area di ritenzione laterale o un corridoio di deflusso delle piene. Nella figura 23 sono rappresentate tutte le variabili descritte sotto.

La profondità dell'acqua lungo l'opera di derivazione laterale aumenta in condizioni subcritiche (velocità della corrente < velocità di propagazione dell'onda; fig. 23b) e diminuisce in condizioni supercritiche (velocità della corrente > velocità di propagazione dell'onda). L'esondazione laterale unitaria per la corrente supercritica è pertanto nettamente inferiore a quella per la corrente subcritica e quasi impossibile da prevedere (Jäggi *et al.* 2015). Le opere di derivazione laterale non sono raccomandate per la corrente supercritica (Hager 2010) e quindi dovrebbero essere prese in considerazione solo nei tratti subcritici con un numero di Froude a monte $Fr_o = v_o / (g \cdot A / B_w)^{0.5} < 0,75$ (Hager 2010;

Figura 23

Vista dall'alto (a) e vista laterale (b) di un'opera di derivazione laterale, che mostra il profilo dell'acqua in condizioni di corrente subcritica. Tutte le variabili sono definite nel testo principale. Figura adattata da Bollich 2013.



Giesecke *et al.* 2014), dove $v_o = Q_o/A$ = velocità della corrente in avvicinamento mediata sulla sezione trasversale, Q_o = portata in avvicinamento, A = area di deflusso trasversale, g = accelerazione di gravità e B_w = larghezza del canale calcolata all'altezza della superficie d'acqua. Nella letteratura sono disponibili diversi approcci per stimare la portata di esondazione laterale Q_D , che in genere si basano sull'ipotesi di assenza di perdita di energia attraverso l'opera di derivazione laterale.

Per calcolare l'esondazione laterale in un canale rettangolare orizzontale con uno stramazzo laterale a corona alta, De Marchi (1934) propone l'equazione:

$$\frac{dQ_D}{dx} = \frac{2}{3} \cdot C_M \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_w - w)^{2/3} \quad (1)$$

$\frac{dQ_D}{dx}$ tasso di variazione della portata lungo l'opera di derivazione laterale [$m^3 (m^{-1} s^{-1})$]

C_M coefficiente di deflusso dello stramazzo laterale [-]

Q_D esondazione laterale [$m^3 s^{-1}$]

$h_w = h_w(x)$ profondità dell'acqua lungo l'opera di derivazione laterale [m]

w altezza della corona dell'opera di derivazione laterale [m]

g accelerazione di gravità [$m s^{-2}$]

L'approccio di De Marchi si basa sulla soluzione di un'equazione dinamica 1D di correnti gradualmente variate con portata non uniforme e profondità dell'acqua $h_w(x)$ non costante lungo l'opera (Di Bacco e Scorzini 2019). Per gli stramazzi in parete sottile in canali rettangolari e trapezoidali in condizioni subcritiche, il coefficiente di deflusso C_M può essere determinato secondo l'approccio semplificato di Hager (1987) (equazione 2). Esiste poca letteratura sui coefficienti di deflusso degli stramazzi laterali per le opere di derivazione laterale a corona larga (p. es. Ranga Raju 1979), a corona rotonda (p. es. Izadinia e Heidarpour 2016) o a tetto. Il coefficiente di deflusso dello stramazzo laterale influenza sensibilmente il calcolo

dell'esondazione laterale. Qui è utilizzato l'approccio di De Marchi con C_M definito da Hager (1987):

$$C_M = 0.728 \sqrt{\frac{2+Fr_o^2}{2+3Fr_o^2}} \quad (2)$$

Per molte situazioni, è possibile definire la portata a monte Q_o , la portata a valle Q_u e le condizioni di deflusso nel corso d'acqua a valle (velocità a valle v_u , profondità dell'acqua h_u , livello piezometrico H_u e larghezza del canale B). Ipotizzando che non vi siano perdite di energia lungo l'opera di derivazione laterale, le condizioni di deflusso a monte (velocità a monte v_o , profondità dell'acqua h_o e livello piezometrico H_o) possono essere calcolate utilizzando l'equazione di Bernoulli. Di Bacco e Scorzini (2019) hanno proposto la seguente equazione per calcolare la lunghezza necessaria dell'opera di derivazione laterale L per ridurre Q_o a Q_u :

$$L = \frac{3B}{2C_M} \cdot (\Phi_u - \Phi_o) \quad (3)$$

dove $\Phi_i = \frac{2H_i - 3w}{H_i - w} \cdot \sqrt{\frac{H_i - h_i}{h_i - w}} - 3 \cdot \arcsin\left(\frac{H_i - h_i}{h_i - w}\right)$ e $i = o, u$

4.2.2 Impatto della morfodinamica

L'esondazione laterale durante un evento di piena riduce la capacità di trasporto del materiale solido di fondo nel corso d'acqua principale. Possono pertanto verificarsi depositi locali in prossimità dell'opera di derivazione laterale e un accumulo dei sedimenti nel corso d'acqua principale a valle dell'opera di derivazione laterale (fig. 22). Il deposito locale comincia all'inizio dell'opera di derivazione laterale (stramazzo) e raggiunge l'altezza massima all'estremità a valle dello stramazzo. L'esondazione laterale potrebbe aumentare fino a tre volte a causa dell'accumulo dei sedimenti (Rosier 2007).

Rosier (2007) ha presentato un metodo empirico e iterativo, basato su esperimenti fisici, per stimare il deposito locale causato da un'opera di derivazione laterale (cfr. anche Rosier *et al.* 2008). La stima iterativa è piuttosto complessa e richiede la messa a punto di un modello numerico e di una simulazione idrodinamica per ogni fase di iterazione. Per progettare opere di derivazione laterale è tuttavia raccomandata una stima dettagliata dell'accumulo dei sedimenti e dell'esondazione laterale utilizzando simulazioni di modelli numerici, compreso il trasporto del materiale solido di fondo, come descritto qui di seguito.

4.3 Modellizzazione numerica delle opere di derivazione laterale

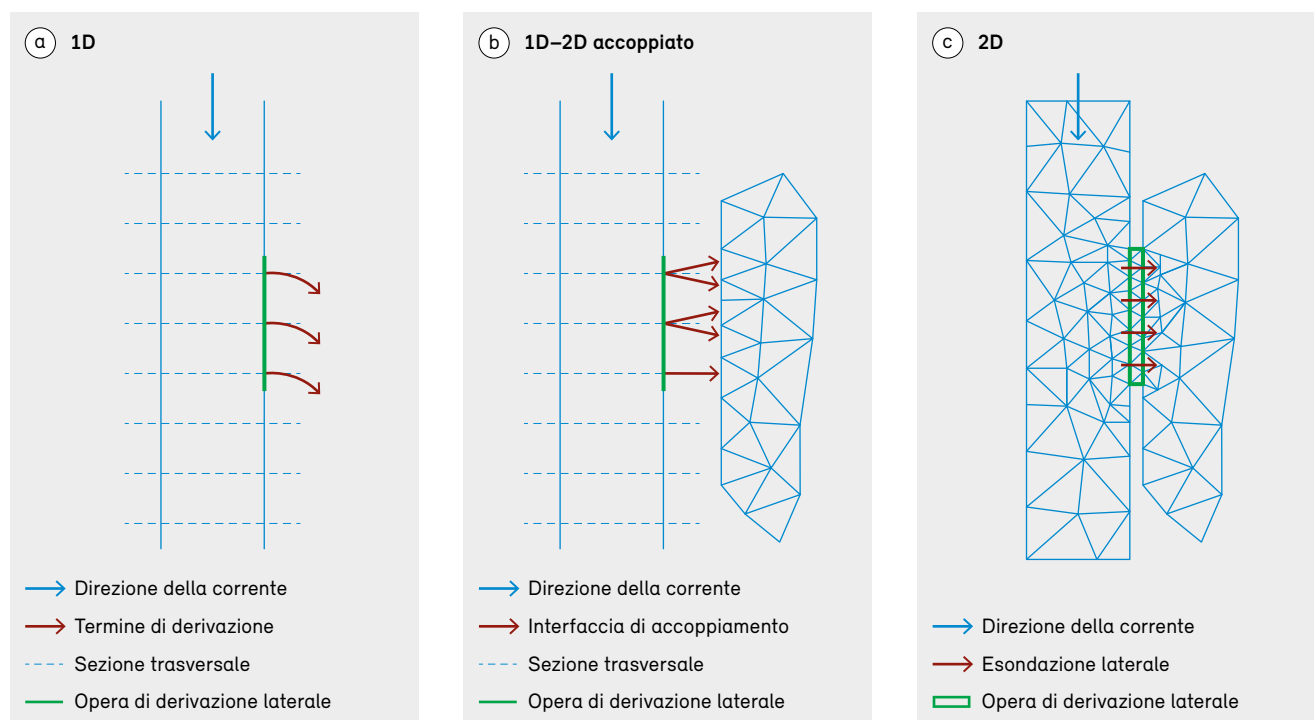
4.3.1 Approcci di modellizzazione

Per valutare l'impatto delle dinamiche di deposito dei sedimenti sull'esondazione laterale, sono stati valutati diversi approcci di modellizzazione numerica utilizzando il software BASEMENT versione 2.8.2, un freeware per la simulazione dell'idrodinamica e della morfodinamica fluviale sviluppato presso il VAW del ETH Zurich (www.basement.ethz.ch). Sono state eseguite diverse simulazioni idrodinamiche (alveo fisso, nessun trasporto di materiale solido di fondo) e morfodinamiche considerando i diversi approcci di modellizzazione e i risultati sono stati confrontati con i dati sperimentali osservati da Rosier (2007). Sono stati simulati in particolare canali trapezoidali e rettangolari con opere di derivazione laterale e testati quattro diversi approcci di modellizzazione numerica, tre dei quali sono stati selezionati (fig. 24):

- (a) **1D**: l'esondazione laterale causata da un'opera di derivazione laterale è implementata in un modello BASEMENT 1D, che considera la diminuzione dell'acqua con termini di derivazione specifici (equazione 1) in ogni sezione trasversale lungo l'opera di derivazione laterale. I valori specifici di C_M devono essere definiti per i termini di derivazione specifici. BASEMENT considera la perdita di quantità di moto in direzione della corrente dovuta alla portata laterale.
- (b) **1D-2D accoppiato**: il modello accoppiato lateralmente in BASEMENT comprende un corso d'acqua 1D e una zona golenale 2D. L'esondazione laterale viene calcolata utilizzando l'equazione 1 e deve essere definito un valore specifico di C_M . BASEMENT tiene conto della riduzione della quantità di moto in direzione della corrente dovuta alla portata laterale.
- (c) **2D**: è modellata la geometria dell'opera di derivazione laterale e della topografia della sezione di esondazione circostante. Per questa simulazione non è necessario specificare C_M .

Figura 24

Approcci 1D (a), 1D-2D accoppiato (b) e 2D (c) utilizzati nel software BASEMENT per modellizzare l'esondazione laterale in corrispondenza di un'opera di derivazione laterale.



Esempi di questi approcci sono disponibili sul sito web di BASEMENT (www.basement.ethz.ch > Download > Test cases).

4.3.2 Confronto tra i diversi approcci di modellizzazione

I modelli 1D o 1D–2D accoppiato sono più adatti per i corsi d'acqua rettilinei. Di solito, questi modelli richiedono meno dati topografici e hanno tempi di calcolo ridotti. Non mostrano però la deviazione del deflusso nel corso d'acqua principale e nella zona golenale. L'approccio del modello 1D–2D accoppiato può essere utile quando il campo di moto nella zona golenale è importante. Per quanto riguarda l'esondazione laterale, il coefficiente di deflusso dello stramazzo laterale

è il parametro più sensibile e si raccomanda un'analisi di sensibilità corrispondente. Il coefficiente di deflusso dello stramazzo laterale di Hager (1987) consente di ottenere buoni risultati per i canali rettangolari con uno stramazzo in parete sottile e per i canali trapezoidali con uno stramazzo in parete grossa (equazione 2). Nella tabella 3, le simulazioni 1D e 1D–2D accoppiata sono confrontate con la simulazione 2D, dove non è necessario il valore C_M , e con l'esperimento di laboratorio condotto da Rosier (2007).

Per il modello 2D è necessario fornire la topografia e specificare la scabrezza idraulica sulla corona dello stramazzo. La sensibilità dell'esondazione laterale alla scabrezza idraulica è tuttavia inferiore a quella dei modelli 1D o 1D–2D accoppiato

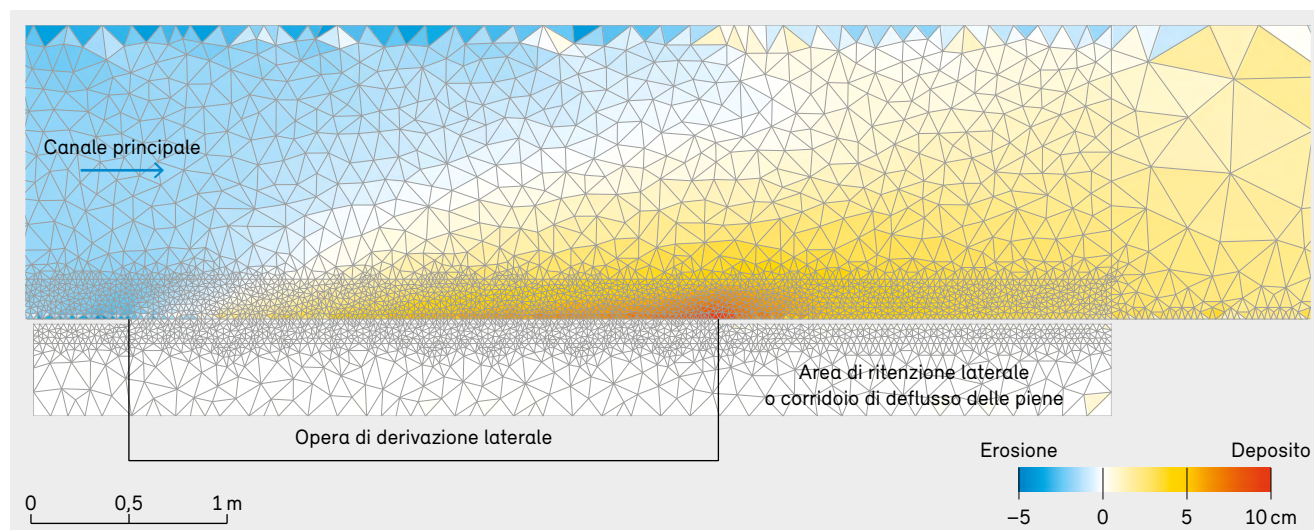
Tabella 3

Confronto dell'esondazione laterale (Q_D in $l s^{-1}$) tra le simulazioni idrodinamiche e morfodinamiche e l'esperimento fisico B02 di Rosier (2007). Il canale rettangolare ha le seguenti dimensioni: larghezza = 1,5 m, pendenza del fondo = 0,2 %, lunghezza dell'opera di derivazione laterale $L = 3$ m, altezza dello stramazzo $w = 10$ cm, portata costante $Q_0 = 181$ $l s^{-1}$.

	Idrodinamica	Morfodinamica	Morfodinamica (con pietrame sciolto gettato alla rinfusa)
Esperimento di laboratorio condotto da Rosier (2007)	–	52	–
Modello 1D ($C_M = 0.6$ per gli 11 termini di derivazione)	33	48	43
Modello 1D–2D accoppiato ($C_M = 0.6$)	33	47	43
Modello 2D con esondazione	32	42	40

Figura 25

Deposito locale lungo l'opera di derivazione laterale e accumulo di sedimenti nel corso principale a valle (modello 2D dell'esperimento B02 di Rosier (2007), lunghezza dell'opera di derivazione laterale $L = 3$ m).



al coefficiente di deflusso dello stramazzo laterale. Il modello 2D fornisce la deviazione del deflusso nel corso d'acqua principale e nella zona golenale.

4.3.3 Impatto della morfodinamica

Per la progettazione di opere di derivazione laterale in corsi d'acqua con trasporto del materiale solido di fondo si raccomandano le simulazioni morfodinamiche. L'accumulo dei sedimenti a valle dell'opera di derivazione laterale e il conseguente aumento dell'esonazione laterale possono essere simulati con tutti e tre gli approcci di modellizzazione. L'estensione spaziale del deposito locale vicino all'opera di derivazione laterale non può tuttavia essere stimata con un modello 1D. L'esonazione laterale, l'accumulo dei sedimenti nonché la geometria e la posizione del deposito locale calcolati nel modello morfodinamico 2D (fig. 25) sono in linea con gli esperimenti di laboratorio condotti da Rosier (2007).

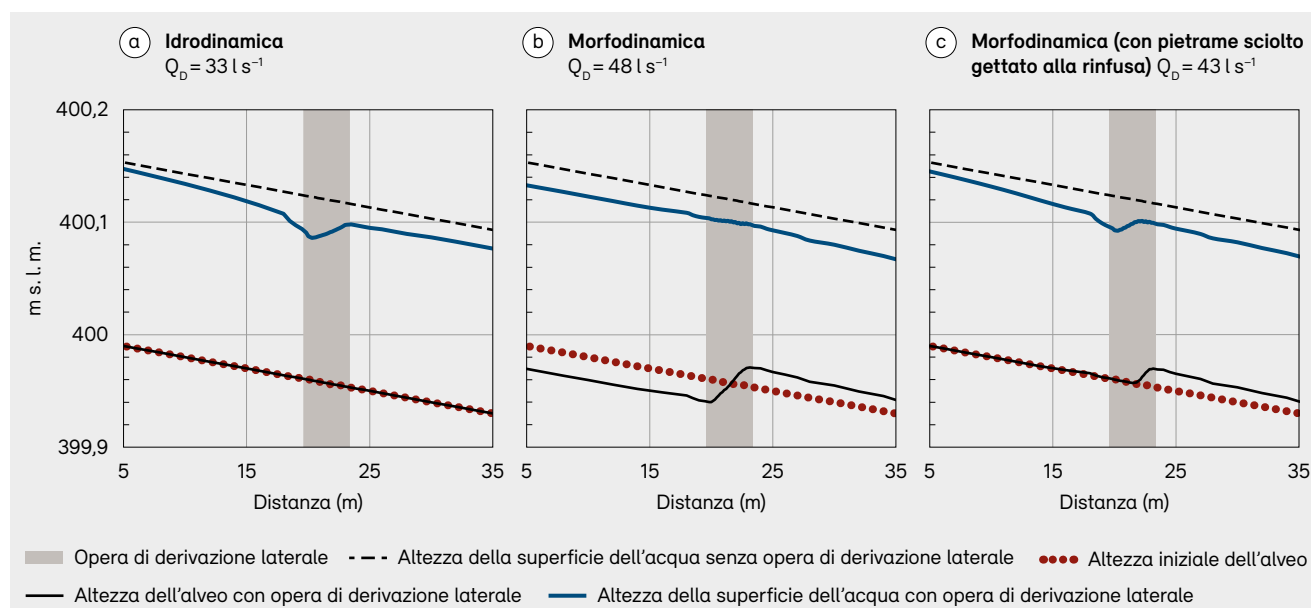
La tabella 3 confronta l'esonazione laterale nelle simulazioni idrodinamiche e morfodinamiche nonché nell'esperimento di Rosier (2007). Nelle simulazioni morfodinamiche che considerano il deposito dovuto al trasporto di materiale

solido di fondo, l'esonazione laterale è significativamente maggiore. Nel modello idrodinamico puro, l'esonazione laterale potrebbe essere sottostimata e l'area di ritenzione o il corridoio di deflusso delle piene potrebbero essere progettati con una capacità insufficiente.

La figura 26 mostra l'innalzamento della superficie dell'acqua e dell'alveo per la simulazione idrodinamica e per le simulazioni morfodinamiche con e senza pietrame sciolto gettato alla rinfusa per l'approccio di modellizzazione 1D. Gli stessi risultati si ottengono con gli approcci di modellizzazione 1D-2D e 2D. Una quantità significativa di sedimenti può depositarsi a valle dell'opera di derivazione laterale, riducendo di conseguenza l'area della sezione trasversale (fig. 26b). Essendoci meno acqua nel canale, a valle dell'opera di derivazione laterale non si verifica alcun innalzamento del livello dell'acqua (fig. 26). A causa della curva di abbassamento a monte dell'opera di derivazione laterale (fig. 26a), si raccomanda la stabilizzazione dell'alveo con pietrame sciolto gettato alla rinfusa (tab. 3 e fig. 26c). L'accumulo dei sedimenti e il deposito locale diventano maggiori con l'aumentare della lunghezza dell'opera di derivazione laterale.

Figura 26

Altezza dell'alveo e della superficie dell'acqua per l'approccio di modellazione 1D, per simulazioni idrodinamiche (a), morfodinamiche (b) e morfodinamiche (con pietrame sciolto gettato alla rinfusa) (c). Le impostazioni delle simulazioni sono descritte nella tabella 3.



L'esondazione laterale risponde rapidamente alle variazioni di portata, a differenza del deposito locale e dell'accumulo. L'analisi con un idrogramma di piena breve mostra meno accumulo, meno deposito locale e meno esondazione laterale rispetto alla simulazione con un idrogramma di piena lungo. Durante la fase discendente dell'idrogramma di piena, il deposito locale e l'accumulo dei sedimenti vengono completamente erosi e viene ripristinato il livello dell'alveo precedente alla piena.

4.3.4 Effetto della discretizzazione spaziale

Il corso d'acqua principale nei modelli 1D o 1D-2D accoppiato è discretizzato in sezioni trasversali. Per le simulazioni idrodinamiche, la profondità dell'acqua, la velocità e l'esondazione laterale possono essere simulati con tre o quattro sezioni trasversali lungo l'opera di derivazione laterale. Sezioni trasversali multiple (fino a 10) lungo l'opera di derivazione laterale portano a risultati di simulazione morfodinamica più uniformi.

Nei modelli 2D, il sistema è discretizzato spazialmente in un reticolo di celle (fig. 24c, 25). In corrispondenza dell'opera di diversione laterale sono necessarie celle piccole per descrivere il deposito locale nelle simulazioni morfodinamiche. In generale, le celle vicino all'opera di derivazione laterale dovrebbero essere più piccole di $B/20$. Nelle simulazioni idrodinamiche nonché a monte e a valle dell'opera di derivazione laterale, possono essere accettabili celle più grandi.

4.4 Raccomandazioni per le applicazioni pratiche

Gli approcci empirici esistenti (equazione 1) possono essere utilizzati per stimare approssimativamente l'esondazione laterale, ma sono limitati all'analisi della corrente e non considerano le variazioni del livello dell'alveo nel corso d'acqua principale. In generale, i modelli numerici presentati generano simulazioni idrodinamiche non-stazionarie

Riquadro 7: Nella pratica – inondazione ecologica delle zone di ritenzione

Eva Gerke, VAW, ETH Zurich

L'obiettivo dell'inondazione ecologica è garantire popolazioni stabili, autosufficienti e tolleranti alle piene, ossia abituare la flora e la fauna a inondazioni regolari (Meurer e Pfarr 2018). Al contrario, piene poco frequenti con una periodicità di 30 o più anni non sono sufficienti per lo sviluppo dinamico della biodiversità nelle zone golenali delle aree di ritenzione.

Una condizione per un'inondazione ecologica efficace è la possibilità di deviare l'acqua nell'area di ritenzione a bassa portata. Ciò richiede una struttura di ingresso controllabile, che può essere predisposta separatamente dall'opera di derivazione utilizzata per la protezione contro le piene. È necessario che l'acqua scorra liberamente attraverso l'area di ritenzione e che si evitino zone di ristagno con perdita di ossigeno. Un'elevata

dinamicità della corrente favorisce inoltre i processi di erosione e sedimentazione tipici delle zone golenali. Occorre prestare attenzione anche all'uso del suolo. Sono adatte in particolare le zone golenali originarie o quelle separate. Se l'area di ritenzione è già utilizzata per l'agricoltura, l'inondazione ecologica ha poco senso. Tuttavia, in caso di uso misto, una parte dell'area può essere destinata all'inondazione ecologica.

Un esempio di attuazione delle inondazioni ecologiche è l'area di ritenzione contro le piene di Altenheim, lungo il Reno superiore nel Baden-Württemberg (Germania). La frequenza, la durata e la quantità di portata deviata durante un evento di inondazione ecologica dipendono dalla condizione di deflusso del Reno. Lo stato di rivitalizzazione delle biocenosi nelle zone golenali è monitorato mediante campioni casuali. Nel complesso, nelle zone frequentemente inondate è stata osservata una tendenza verso una maggiore biodiversità e una visibile dominanza di specie più tolleranti alle piene (Pfarr 2014).

degli eventi di piena, tenendo conto della riduzione della portata dovuta all'esonazione laterale attraverso l'opera di derivazione. Tutti i tipi di modelli presentati (1D, 1D–2D accoppiato e 2D) mostrano l'accumulo dei sedimenti a valle dell'opera di derivazione laterale, che può aumentare l'esonazione laterale e quindi la capacità di progetto dell'area di ritenzione o del corridoio di deflusso delle piene. Il coefficiente di deflusso dello stramazzone laterale C_M negli approcci di modellizzazione 1D e 1D–2D accoppiato è soggetto a incertezza e si possono ottenere buoni risultati utilizzando l'approccio semplificato proposto da Hager (1987). In un modello 2D, il coefficiente C_M risulta obsoleto e il deflusso nella zona golenale o nell'area di

ritenzione può essere simulato in aggiunta al deflusso del canale. Solo i modelli 2D rilevano il deposito locale, il che li rende l'opzione più adatta per simulare le variazioni del livello dell'alveo in prossimità dell'opera di derivazione.

La tabella 4 elenca i vantaggi (in verde) e gli svantaggi (in rosso) dei tre approcci di modellizzazione per la simulazione delle opere di diversione laterale. Si consiglia di progettare le opere di derivazione laterale utilizzando modelli morfodinamici. La scelta dell'approccio di modellizzazione per simulare l'esonazione laterale (1D, 1D–2D accoppiato o 2D) dipende dai requisiti del modello, dalla disponibilità di dati e dagli obiettivi.

Tabella 4

Vantaggi (verde) e svantaggi (da arancione a rosso) dei tre approcci di modellizzazione per la simulazione della derivazione laterale della corrente.

	1D	1D–2D accoppiato	2D
Modello di esonazione laterale	Derivazione, con l'eq. 1	Modello accoppiato, con l'eq. 1	Topografia della sezione di esonazione
Parametri per l'esonazione laterale	Per ogni sezione trasversale con esonazione laterale: altezza della corona dello stramazzone lunghezza della corona dello stramazzone C_M	Altezza della corona dello stramazzone C_M	Scabrezza idraulica della corona dello stramazzone
Risultati idrodinamici			
Stima dell'esonazione laterale	Buona	Buona	Buona
Corrente nel canale	Nessuna deviazione della corrente ¹	Nessuna deviazione della corrente ¹	Deviazione della corrente
Corrente nella zona golenale	Nessuna zona golenale	Campo di moto approssimativo (90° alla sezione d'ingresso)	Campo di moto 2D
Risultati morfodinamici			
Stima dell'esonazione laterale dovuta al deposito	Buona	Buona	Buona
Deposito	Buon accumulo di sedimenti a valle, ma nessuna distinzione trasversale del deposito locale	Buon accumulo di sedimenti a valle, ma nessuna distinzione trasversale del deposito locale	Buono
Durata relativa del calcolo	Breve	Media	Lunga

1 La corrente nel corso principale non è angolata rispetto all'opera di derivazione laterale.