

7 > Modellazione numerica dei corsi d'acqua

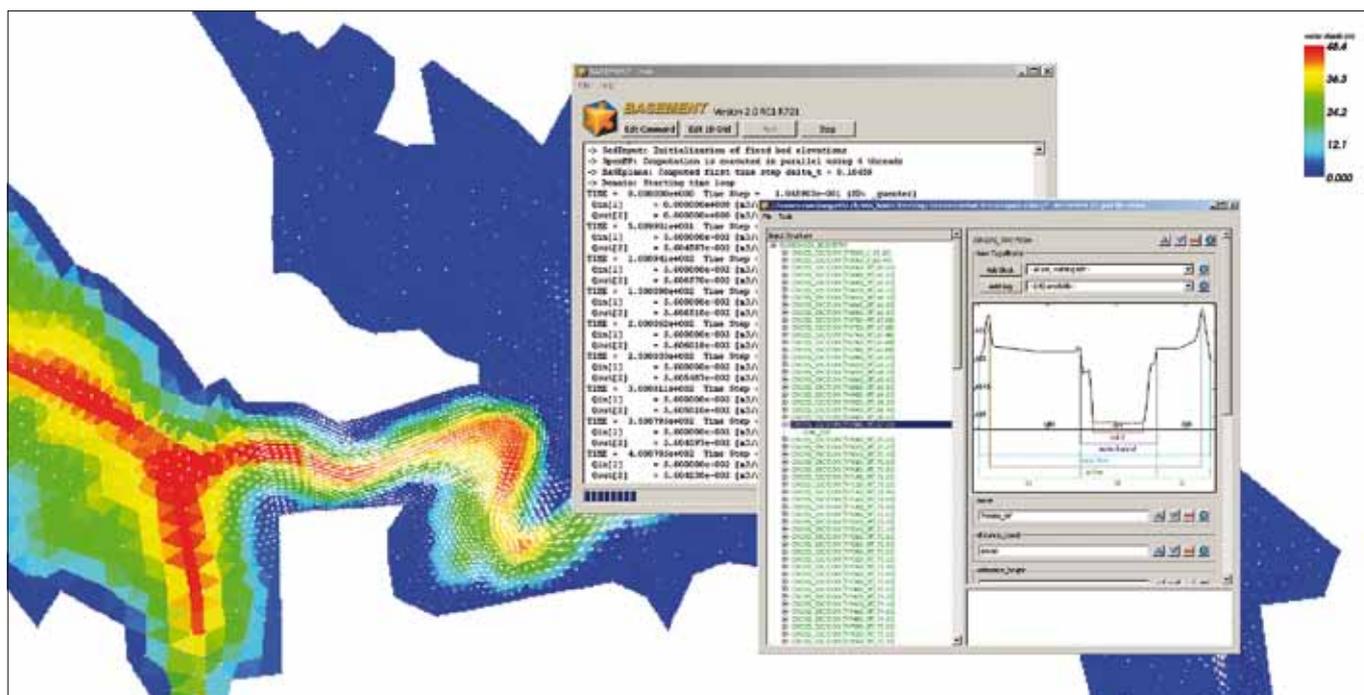
Patric Rousselot, David Vetsch, Roland Fähr

I corsi d'acqua sono al centro di interessi divergenti: da un lato per il loro sfruttamento, e dall'altro per la loro protezione. Per la loro gestione è quindi essenziale mantenere una visione d'insieme. Le simulazioni numeriche contribuiscono a valutare le differenti possibilità di sistemazione idraulica e le loro ripercussioni. Questo promemoria descrive il processo di elaborazione dei modelli numerici e presenta il software di simulazione BASEMENT, illustrandone le possibili applicazioni sulla base di esempi pratici.

Le simulazioni contribuiscono alla protezione contro le piene

Da alcuni anni, in Svizzera, i corsi d'acqua sono soggetti a interventi di rivitalizzazione e di valorizzazione ecologica. Per incrementare la varietà morfologica e la diversità degli habitat di un corso d'acqua si effettuano in genere degli allargamenti della sezione fluviale. Nell'ambito della protezione contro le piene questo tipo di intervento costituisce tuttavia una nuova sfida. Le simulazioni numeriche permettono di gestire con più efficienza i progetti: analizzano le ripercussioni dei lavori da pianificare, cercando di armonizzare al meglio i diversi interessi di utilizzazione.

Le simulazioni numeriche sono particolarmente adatte per la protezione contro le piene, la realizzazione delle carte dei pericoli naturali, la regolazione di fiumi e laghi e il dimensionamento dei corsi d'acqua. Consentono inoltre di analizzare lo sviluppo della dinamica morfologica da definire e, mediante degli indici idonei, di determinare la diversità dell'habitat di un corso d'acqua. Rispetto agli esperimenti fisici, le simulazioni numeriche consentono di confrontare in modo economico le diverse varianti, modificando soltanto i parametri considerati.



Esempio dell'interfaccia di BASEMENT: visualizzazione di profondità e velocità di deflusso.

Illustrazione: VAW-ETHZ Zurigo

Modelli per l'applicazione in ingegneria

L'impiego del tipo di simulazione da utilizzare dipende dalla problematica di studio e dalle dimensioni del settore da analizzare. L'applicazione è limitata principalmente dalla capacità dei computer. I modelli con un'elevata risoluzione spaziale o con grandi settori di calcolo richiedono tempi di elaborazione lunghi. I tempi per le operazioni di calcolo possono essere ridotti semplificando il modello o riducendo la dimensione spaziale.

Modelli 1D

I modelli 1D, basati sui profili trasversali (fig. 1), sono riservati ai progetti di simulazioni che richiedono pochi dettagli o concernono corsi d'acqua di grandi dimensioni. Questi modelli sono adatti anche per le simulazioni su lunghi periodi di tempo: analizzano la variazione temporale del livello d'acqua e dell'alveo, nonché la velocità media di deflusso per ogni sezione trasversale.

Modelli 2D

I modelli 2D sono consigliati per i processi locali per i quali è necessario disporre di dati relativi alla topografia basati sul modello altimetrico (fig. 2). La simulazione permette di valutare il livello dell'acqua e del letto fluviale, come pure la velocità di corrente per ogni elemento di calcolo. Questi modelli possono essere utilizzati per calcolare le inondazioni, per realizzare le carte dei pericoli, o ancora, per dimensionare le zone di ritenzione e degli allargamenti.

Modelli 3D

I modelli 3D sono consigliati per progetti su dimensioni spaziali ridotte e dove le correnti turbolente svolgono un ruolo primordiale. Utilizzeremo questo tipo di modello per l'ottimizzazione delle condizioni di deflusso a monte di una centrale idroelettrica o quando si tratta di analizzare un fenomeno d'erosione locale in prossimità di opere di sbarramento o di pilastri dei ponti.

La modellazione permette inoltre di analizzare non solamente i deflussi, ma anche il trasporto solido, con lo scopo di identificare il possibile cambiamento morfologico del fondo dell'alveo. I calcoli si basano su formule empiriche e i risultati dipendono dal metodo scelto. Un'alternativa alle simulazioni numeriche è costituita dai modelli fisici, utilizzati quando le modifiche di scala dei parametri, dalla realtà al modello, non cambiano le condizioni di deflusso. I vantaggi dei modelli fisici rispetto alle simulazioni numeriche risiedono nella qualità dei risultati. I risultati di una simulazione numerica possono divergere secondo il metodo, che resta a libera scelta dell'utilizzatore. Con un modello fisico non si riscontrano simili incertezze. Inoltre, alcuni calcoli, come quello relativo

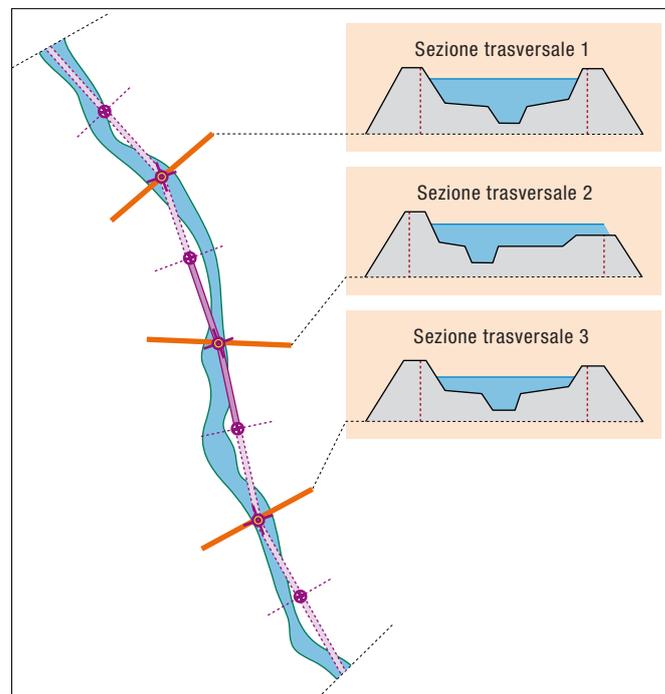


Fig. 1 Rappresentazione schematica della griglia di calcolo per una simulazione 1D. Lungo il corso d'acqua sono presenti numerose sezioni trasversali. Illustrazione secondo VAW-ETHZ Zurigo

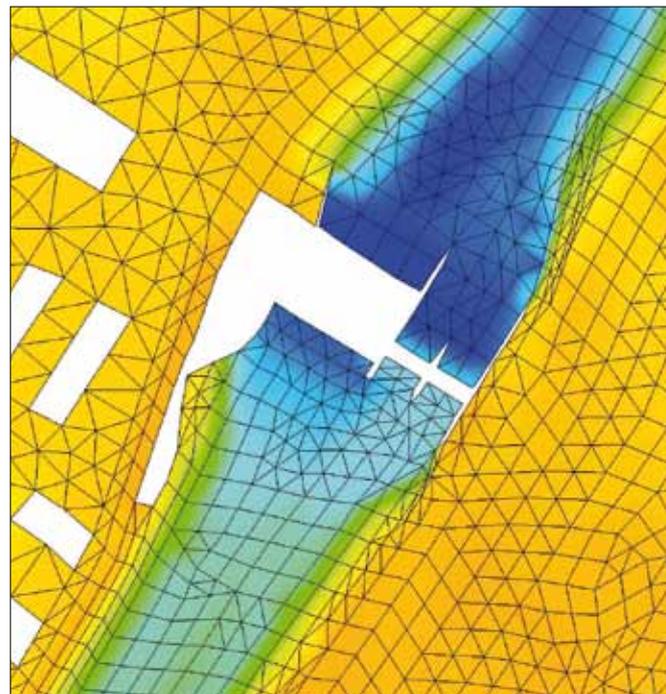


Fig. 2 Esempio di una griglia di calcolo 2D composta da elementi triangolari e rettangolari. I colori rispecchiano la topografia. Le costruzioni sono in bianco. Il deflusso attraverso uno sbarramento viene modellato come condizione limite interna. Illustrazione: VAW-ETHZ Zurigo

ai deflussi complessi e turbolenti, non possono essere effettuati senza l'aiuto di modelli ad alta risoluzione, estremamente costosi e che esigono delle competenze specialistiche approfondite. Tuttavia, anche i modelli fisici presentano alcuni svantaggi: le modifiche durante la fase di progettazione non possono essere integrate così facilmente come con i modelli numerici. Nella prassi, i due modelli di simulazione vengono spesso combinati in un modello ibrido: il modello numerico permette di precisare al massimo le dimensioni e le condizioni di contorno per il modello fisico, il quale viene poi impiegato per definire con precisione il dimensionamento di una componente.

Software di simulazione BASEMENT

BASEMENT è un programma gratuito sviluppato nel 2002 dal laboratorio di ricerche idrauliche, idrologiche e glaciologiche (VAW) del Politecnico federale di Zurigo (riquadro 1), a partire dalla risoluzione delle equazioni di Saint Venant per i modelli 1D e delle equazioni di deflusso in acque poco profonde per l'idrodinamica dei modelli 2D. Queste equazioni si basano sul presupposto di una ripartizione della pressione idrostatica e sono pertanto valide soltanto se la componente verticale della velocità può venir trascurata. Per la calibrazione, il programma utilizza le leggi dell'attrito per definire il coefficiente di scabrezza. Inoltre, nel modello 2D, è possibile generare un modello di turbolenza.

BASEMENT propone differenti condizioni di contorno per il calcolo del deflusso: idrogrammi d'entrata, deflusso normale e strutture idrauliche come sbarramenti e paratoie. Queste strutture possono essere utilizzate all'interno dell'area di calcolo. *BASEMENT* permette anche di regolare automaticamente sbarramenti e altre opere, utilizzando criteri ben precisi. La figura 3 schematizza il processo di modellazione di *BASEMENT*. Il trasporto dei sedimenti è diviso in trasporto solido di fondo e trasporto in sospensione. Il calcolo del trasporto solido di fondo si effettua a partire da formule empiriche, quello relativo al trasporto in sospensione tramite l'ausilio dell'equazione del trasporto advettivo-diffusivo. È anche possibile simulare la diffusione di sostanze nocive e il trasporto del materiale in sospensione. Differenti metodi permettono di descrivere lo scambio dei materiali in sospensione tra il fondo dell'alveo e la colonna d'acqua. *BASEMENT* risolve le equazioni di trasporto in modo che i materiali trasportati possano essere classificati in differenti categorie, scelte dall'utilizzatore.

Nel corso d'acqua, i sedimenti sono principalmente spostati dalla forza orizzontale della corrente. Il materiale dell'alveo può essere originato anche in seguito a processi gravitativi, come ad esempio il crollo di una sponda. Questo tipo di processi è rappresentato grazie all'ausilio di un modello geometrico basato sull'angolo critico della scarpata.

> Riquadro 1. *BASEMENT* – un software di modellazione dei corsi d'acqua

BASEMENT è un software per calcolare i processi nei corsi d'acqua, tenendo conto della corrente e del trasporto solido. I processi possono essere descritti con un modello monodimensionale, bidimensionale o accoppiato. Anche gli effetti delle opere idrauliche possono venir presi in considerazione. Il trasporto dei sedimenti si distingue in trasporto solido di fondo e in trasporto in sospensione. La granulometria è un aspetto che può venir misurato. Per configurare agevolmente il modello, l'utilizzatore dispone di un'interfaccia grafica. In futuro è prevista un'estensione di *BASEMENT* con funzioni che permettano di simulare le acque sotterranee, le correnti di densità e di modellare i deflussi nelle tre dimensioni. Il programma e la relativa documentazione (Fäh *et al.* 2011) sono disponibili gratuitamente su www.basement.ethz.ch. È possibile trovare anche delle esercitazioni che facilitano l'apprendimento della modellazione numerica.

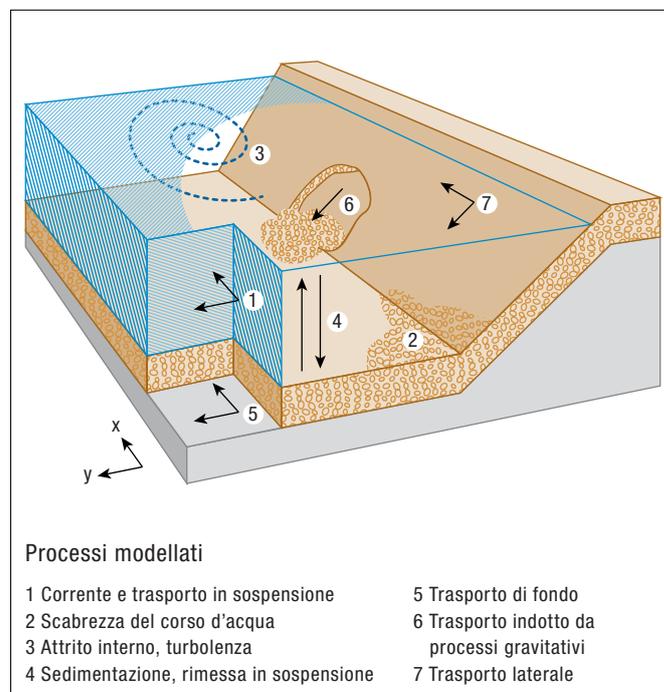


Fig. 3 Schema dei processi simulati in un modello 2D.

Illustrazione secondo VAW-ETHZ Zurigo

Per ottenere una simulazione efficiente di una grande zona geografica possono essere accoppiati diversi modelli (fig. 4). Ciò consente di valutare un tratto con un modello 1D e di integrare successivamente un modello 2D. Il software è compatibile con tutti i computer in commercio dotati di un processore multicore.

BASEMENT offre anche altre funzioni: nel «Command File Editor» vengono definiti i parametri necessari per i modelli numerici. Tutti i parametri disponibili sono presentati e descritti con degli esempi. Gli errori di immissione vengono subito riconosciuti ed evidenziati. L'utente ha la possibilità di creare la griglia dei modelli 1D. Tale operazione viene effettuata all'interno del «1D-Grid Editor», che restituisce graficamente le sezioni trasversali con le loro caratteristiche. I risultati, quali la profondità dell'acqua, la velocità di corrente o le differenze nell'altezza del livello dell'acqua, possono essere facilmente visualizzati già durante il calcolo.

Procedura

La modellazione (fig. 5) inizia con l'acquisizione dei dati necessari. È indispensabile conoscere le condizioni iniziali e le condizioni di contorno. I dati relativi ai livelli dell'acqua, alle tracce delle piene, alla distribuzione granulometrica o alla composizione della vegetazione facilitano la calibrazione del modello. Una base solida di dati può incrementare notevolmente l'affidabilità del modello.

Sulla base di queste informazioni, il programma crea una griglia di calcolo corrispondente alle dimensioni del modello. A partire da questa griglia e dalle condizioni di contorno selezionate, inizia la simulazione vera e propria. In una prima fase, il modello numerico viene calibrato sulla base di un evento documentato e, se necessario, validato con altri dati di confronto. Il modello, dopo la calibrazione, calcola le varianti. Infine, i risultati vengono valutati e presentati.

Condizioni iniziali: topografia

Le informazioni topografiche su un corso d'acqua sono spesso disponibili sotto forma di sezioni trasversali dell'alveo. Poiché le sezioni sono rilevate a grandi distanze, spesso forniscono solo poche informazioni sui settori intermedi. L'ausilio di ortofoto e le conoscenze della situazione locale sono dei buoni metodi per migliorare la qualità del modello. Per i modelli 2D in particolare, i dati delle sezioni trasversali possono essere estrapolati per ottenere un modello altimetrico più dettagliato. Per l'area circostante, fuori dalla sezione bagnata dell'alveo, sono invece generalmente disponibili informazioni sulle quote ad alta risoluzione (p. es. dati provenienti da scansioni laser).

Per i modelli 1D la griglia di calcolo si ottiene direttamente a partire dalle sezioni trasversali. Per i modelli 2D è necessario creare, sulla base delle informazioni disponibili sulle quote, un'altra griglia di calcolo composta da elementi

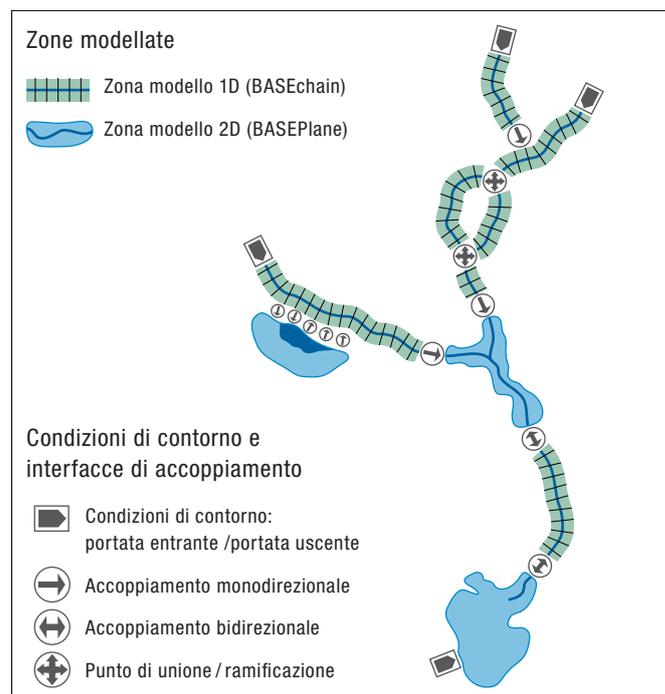


Fig. 4 *Rappresentazione schematica di zone modellate in 1D e 2D che possono essere accoppiate liberamente. Lo scambio d'informazioni può avvenire in una o due direzioni. Illustrazione secondo VAW-ETHZ Zurigo*

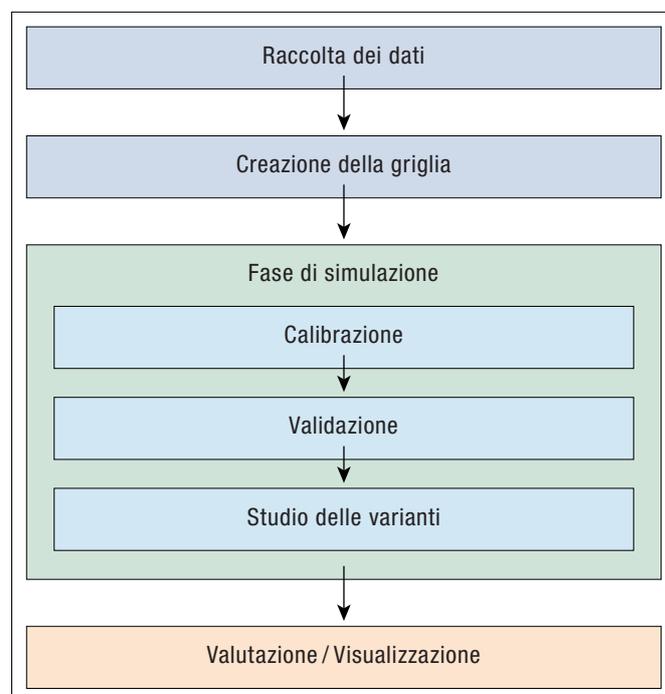


Fig. 5 *Procedura schematica di una modellazione numerica. A seconda delle necessità i singoli processi vengono ripetuti in modo iterativo. Illustrazione secondo VAW-ETHZ Zurigo*

triangolari e rettangolari. Durante la creazione della griglia è necessario prestare attenzione alle linee di rottura.

Condizioni di contorno: corrente e trasporto di sedimenti

Gli idrogrammi delle stazioni di misura federali (UFAM) o i risultati di un modello idrologico possono servire per le condizioni di contorno, per le quali possono essere utilizzati più elementi, ad esempio le relazioni tra il livello d'acqua e la portata o le strutture idrauliche (dighe e paratoie).

I valori del trasporto solido per le condizioni di contorno non sono, nella maggior parte dei casi, conosciuti. Spesso è necessario stimare prima l'apporto annuo di sedimenti per costruire una funzione di trasporto in funzione dell'idrogramma. Questa funzione dipende sostanzialmente dalla formula impiegata per il trasporto solido e si basa spesso sul presupposto che venga sfruttata l'intera capacità di trasporto.

Calibrazione e validazione

I modelli numerici prevedono parametri di calibrazione che permettono di adattare i risultati della simulazione alla situazione reale. I valori relativi al livello dell'acqua, registrati in diversi periodi, sono i dati più pertinenti per la calibrazione idraulica, ma spesso non sono disponibili. In questi casi si possono utilizzare, se disponibili, le tracce delle piene misurate di cui sono noti i picchi di deflusso. Per la taratura, i coefficienti di attrito del fondo dell'alveo del modello numerico vengono adattati fino a quando i livelli dell'acqua coincidono con i valori misurati.

Sono necessari calcoli supplementari per i modelli basati sul trasporto solido: la topografia deve essere misurata in diversi periodi. Per tarare il trasporto solido e il trasporto in sospensione, si possono scegliere differenti parametri. Il modello è validato quando, a partire dai dati dei parametri calibrati, un avvenimento differente dal caso utilizzato per la calibrazione può essere riprodotto qualitativamente e quantitativamente.

Il modello calibrato e validato serve come base iniziale per le simulazioni vere e proprie. Gli scenari sono calcolati a partire dalle condizioni di contorno registrate per l'idraulica e il trasporto dei sedimenti. I progetti di sistemazione possono venir integrati nella griglia di calcolo per studiarne l'impatto.

Valutazione e rappresentazione dei risultati

Le simulazioni numeriche generano ingenti quantità di dati. Se le informazioni necessarie non sono state precedentemente definite, i documenti dei risultati risulteranno molto voluminosi e il tempo di calcolo e di trattamento dei dati sarà importante. L'utilizzatore deve quindi definire precedentemente i risultati di cui avrebbe bisogno, perché spesso è interessante considerare solo alcuni aspetti. I risultati vengono emessi sotto forma di tabelle in file di testo e possono essere copiati in

programmi di visualizzazione. Per le rappresentazioni piane di dati scalari e vettoriali la successiva elaborazione avviene quasi sempre in altri programmi presenti in commercio.

Precisione e tempi di calcolo

La precisione dei risultati dipende dai procedimenti impiegati, dalle ipotesi di partenza, dalla qualità dei dati topografici e delle condizioni di contorno. In generale, l'errore è inversamente proporzionale alla risoluzione della griglia: tale correlazione viene definita come «convergenza» (in pratica, la risoluzione della griglia è limitata dal tempo di calcolo). Il risultato di un progetto di simulazione numerica è pertanto sempre un compromesso tra la precisione e i tempi di calcolo.

I tempi da dedicare alla modellazione numerica non devono essere sottovalutati. È ovvio che la creazione di un modello semplice non richiede molto lavoro, ma per ottenere risultati quantitativamente e qualitativamente affidabili, conviene valutare la situazione e gli obiettivi. La sola definizione della griglia può influenzare la stabilità della simulazione, i tempi di calcolo e la qualità dei risultati. Per evitare problemi nelle successive simulazioni, si consiglia di dedicare un tempo sufficiente alla creazione della griglia. Dopo l'interpolazione sulla griglia di calcolo delle informazioni sulle quote, devono essere controllate ed eventualmente adattate le principali linee di rottura. Le condizioni di contorno sono in alcuni casi collocate in punti sfavorevoli, con un conseguente andamento irregolare.

Per una corretta impostazione l'utilizzatore deve tenere conto dei modelli fondamentali. Per i modelli 1D e 2D, ad esempio, si presuppone una distribuzione idrostatica delle pressioni. Non bisogna dimenticare che le equazioni sono valide esclusivamente per le pendenze dolci. Anche le formule relative al trasporto del materiale solido valgono soltanto per un'area di utilizzazione ristretta per quanto concerne la granulometria o la pendenza del fondo dell'alveo. Nella pratica queste regole di base non sono spesso rispettate e possono perciò verificarsi differenze fra i valori calcolati e quelli misurati.

Per quanto concerne i modelli che includono il trasporto dei sedimenti, la calibrazione è spesso molto complessa: i parametri di calibrazione necessari sono maggiori rispetto alla procedura di taratura idraulica vera e propria. Inoltre, le condizioni di contorno relative al volume di sedimenti trasportati sono ricavate spesso da stime di massima, sebbene influenzino in modo determinante i risultati. Spesso non disponiamo, per questi modelli, dei dati topografici relativi a differenti periodi, cosa che rende la calibrazione e la validazione più difficile. Di queste incertezze va tenuto conto considerando con occhio critico i risultati numerici e verificando la loro plausibilità.

Applicazioni

Le possibili applicazioni di *BASEMENT* sono illustrate con esempi pratici.

Evoluzione dell'alveo del Reno alpino (1D)

Nel Reno alpino l'obiettivo era di incrementare la protezione contro le piene fra la foce dell'Il (SG) e il lago di Costanza, tenendo in considerazione i numerosi aspetti legati all'ecologia, allo sfruttamento delle acque sotterranee, all'energia idroelettrica e alle zone ricreative. In una prima fase di pianificazione sono state simulate diverse varianti di gestione, analizzando il loro impatto a lungo termine sull'evoluzione dell'alveo. Sono stati sviluppati modelli 1D, perché la simulazione doveva comprendere un'area di 50 km e periodi molto lunghi. Per il trasporto solido è stato impiegato un procedimento con otto frazioni granulometriche. Il modello è stato calibrato sulla base di un periodo di dieci anni e validato con un altro periodo di 20 anni. Grazie al modello validato, l'evoluzione dell'alveo è stata simulata per sette varianti di interventi, per un periodo di 60 anni, e valutata in riferimento all'obiettivo da raggiungere (protezione contro le piene) (fig. 6).

Regolazione automatica di laghi (1D)

I danni provocati dalle piene possono essere ridotti grazie a una regolazione ottimale dei laghi e degli impianti di sbarramento. Un esempio ha permesso di testare se *BASEMENT* era adatto per la regolazione delle strutture idrauliche situate in una vasta area (fig. 7). Il modello numerico comprendeva i tre laghi di Bienne, Neuchâtel e Morat, i loro canali di collegamento e i tratti fluviali dell'Aare e dell'Emme. La simulazione è stata realizzata a partire dai modelli 1D ricoprenti ciascuno una parte della zona interessata e divisi per un totale di 800 profili trasversali. Gli sbarramenti sono stati sottoposti a differenti regolamentazioni. I dati su tre mesi del 2005 hanno consentito di calibrare il modello generale, che è stato in seguito validato dai dati del 2007. Il modello validato a permesso quindi di calcolare scenari differenti relativi agli impianti di sbarramento e alla regolazione dei laghi.

Diversità degli habitat nella Singine (2D)

Alcuni tratti della Singine (BE/FR) si trovano ancora allo stato naturale. Le caratteristiche di un tratto fluviale, lungo 2 km e caratterizzato da un canale intrecciato, sono state simulate con i deflussi misurati in un anno. Una simulazione 2D è stata effettuata per rappresentare la diversità della struttura topografica. Il modello idraulico è stato calibrato a partire dai dati del livello dell'acqua. Gli specialisti hanno in seguito studiato l'impatto delle diverse formule per il trasporto solido (granulometria omogenea e granulometria eterogenea) sulla morfologia e sulla variabilità degli habitat (scheda 3 Indice della diversità idromorfologica).

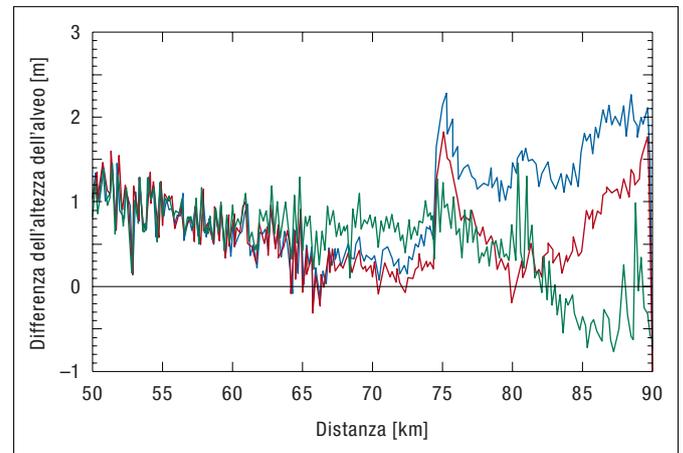


Fig. 6 Differenze dell'altezza dell'alveo del Reno alpino (SG), in seguito a diverse misure d'intervento simulate con un modello 1D per un periodo di 50 anni. La linea 0 indica l'evoluzione dell'alveo senza l'intervento di misure di gestione. Illustrazione secondo VAW-ETHZ Zurigo

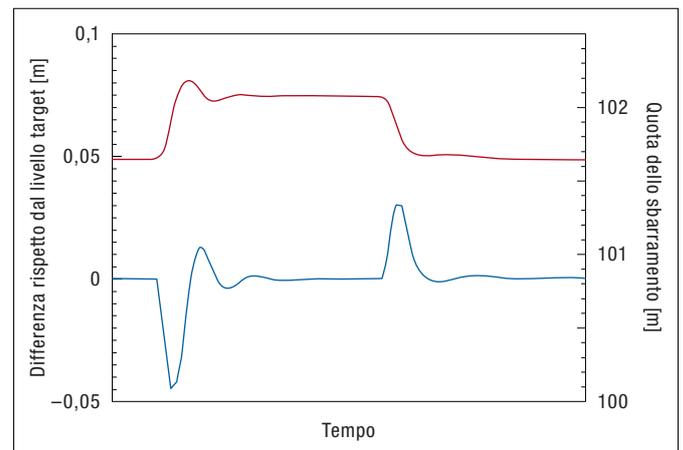


Fig. 7 Comportamento di uno sbarramento regolato con una riduzione repentina e successivo incremento del deflusso. La linea blu indica lo scarto tra il livello reale e il valore target. La linea rossa indica l'evoluzione della quota di sbarramento. Illustrazione secondo VAW-ETHZ Zurigo

Evoluzione della foce del Reno alpino (2D)

Il Reno alpino sfocia nel lago di Costanza tramite un alveo artificiale (fig. 8). Ingenti quantità di sedimenti fini sono trasportati nel canale e nel lago di Costanza. Per stimare le variazioni, a lungo termine, dell'alveo, è stato creato un modello 2D del delta. Per il trasporto dei sedimenti, è stato modellato principalmente il trasporto di materiale in sospensione a causa della granulometria molto piccola. La topografia del canale artificiale è nota in due date a distanza di circa 500 giorni. Il modello è stato calibrato a partire dalla situazione precedente

e ha permesso di riprodurre qualitativamente e quantitativamente le differenze dell'altezza dell'alveo.

Effetti idraulici di un allargamento (2D)

Gli allargamenti permettono di migliorare la biodiversità e rafforzare la protezione contro le piene. Una simulazione idraulica 2D ha permesso di definire gli effetti di un allargamento sulla base di valori differenti di carico (fig. 9). I risultati possono essere impiegati come condizione ai limiti di un modello fisico per futuri interventi di allargamento.

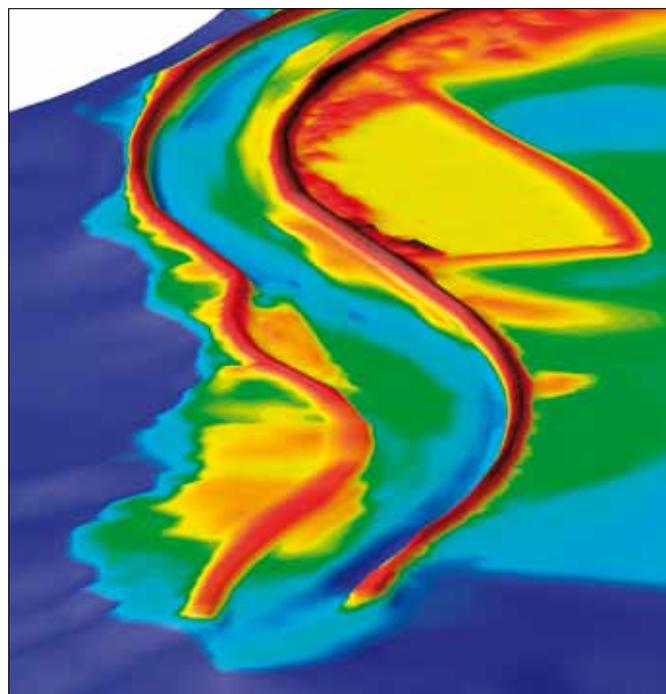


Fig. 8 Topografia dell'alveo (2D) del canale artificiale del Reno che si immette nel lago di Costanza. Illustrazione: VAW-ETHZ Zurigo

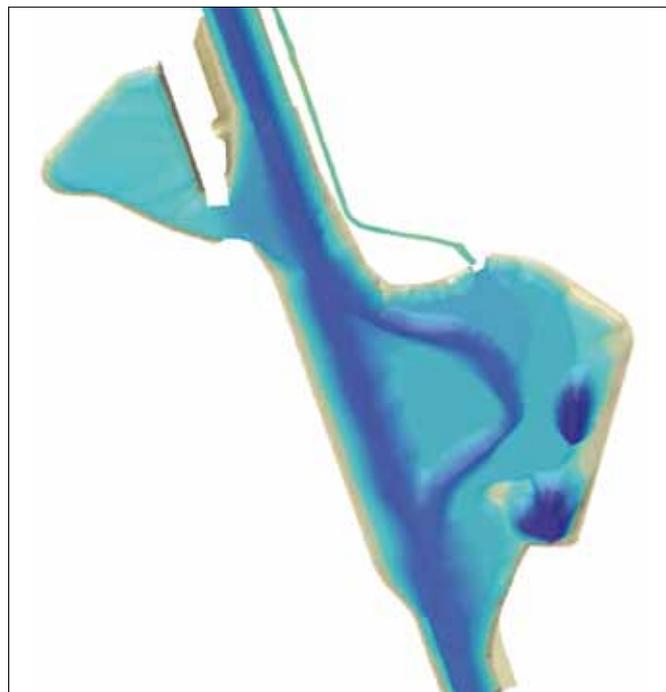


Fig. 9 Simulazione (2D) delle altezze dell'acqua in una tratta canalizzata, successivamente allargata, in prossimità di uno sfioratore. Illustrazione: VAW-ETHZ Zurigo

Bibliografia

Fäh, R., Mueller, R., Rousselot, P., Veprek, R., Vetsch, D., Volz, C., 2006–2011: *BASEMENT* – Basic Simulation Environment for Computation of Environmental Flow and Natural Hazard Simulation. VAW-ETHZ Zurigo, online: www.basement.ethz.ch

Vetsch, D., Rousselot, P., Fäh, R., 2011: Flussgebietsmodellierung mit der Simulationssoftware *BASEMENT*. Wasser Energie Luft: 4/2011, 313–319.

Nota editoriale

Basi concettuali

A questo progetto hanno collaborato esperti di opere idrauliche e di ecologia nonché rappresentanti di autorità federali e cantonali al fine di cercare soluzioni comuni per eliminare i deficit nei e lungo i corsi d'acqua. Nell'ambito del progetto hanno svolto ricerche su biotopi dinamici collegati e hanno sviluppato proposte innovative per l'attuazione di misure di sistemazione dei corsi d'acqua. Informazioni dettagliate sono disponibili su www.rivermanagement.ch

Progetto

Il progetto ha ricevuto il sostegno finanziario dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) ed è stato svolto da quattro responsabili di progetto presso le istituzioni seguenti:

Armin Peter, Eawag, Ecologia ed evoluzione dei pesci, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, www.eawag.ch

Christoph Scheidegger, Istituto federale WSL, Biodiversità e Biologia della conservazione naturale, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, www.wsl.ch
Anton Schleiss, EPF-Lausanne, Laboratoire de Constructions Hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Losanna, www.lch.epfl.ch

Roland Fäh, ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW-ETHZ, Gloriastrasse 37/39, 8092 Zurigo, www.vaw.ethz.ch

Coordinamento

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

Assistenza specialistica

UFAM: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen
Cantoni: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Progetto: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fäh, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

Editore

Ufficio federale dell'ambiente (UFAM)

L'UFAM è un ufficio del Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC).

Indicazione bibliografica

Rousselot, P., Vetsch, D., Fäh, R., 2012: Modellazione numerica dei corsi d'acqua. In: Schede tematiche sulla sistemazione e l'ecologia dei corsi d'acqua. Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Scheda 7.

Redazione

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

Traduzione ed elaborazione linguistica

Sandro Corradini, Sandro Peduzzi, Laura Bernasconi, Servizio linguistico UFAM

Progetto grafico e illustrazioni

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

Per scaricare il PDF

www.bafu.admin.ch/uw-1211-i

La presente pubblicazione è disponibile anche in lingua tedesca e francese. L'edizione originale è in tedesco.

© UFAM 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'ambiente UFAM