MODELLI NUMERICI PER L'IDRAULICA FLUVIALE

DHI TECHNICAL PAPER n°1

The expert in **WATER ENVIRONMENTS**

L'IMPORTANZA DELL'APPROCCIO MODELLISTICO - NUMERICO

Nell'ultimo decennio si è sempre più consolidato l'utilizzo dei codici di simulazione numerica in tutte le attività afferenti al settore dell'"idraulica fluviale", dagli studi in supporto alla progettazione, alla determinazione del rischio idraulico, dalle analisi sul trasporto solido ai sistemi di previsione e gestione in tempo reale.

A tale evoluzione hanno contribuito, in particolare, tre fattori: i recenti indirizzi normativi a livello sia nazionale sia comunitario, i progressi sul piano tecnico-scientifico e le importanti nonché rapide innovazioni nel campo dell'informatica.

Sul piano normativo, partendo dai Piani di Bacino in Italia fino ad arrivare alla recente Direttiva Europea sulle Piene (Flood Directive 2007/60/CE), passando per l'importante Direttiva Europea sulle Acque (Water Framework Directive 2000/60/CE), si è assistito ad una crescente necessità di adottare un approccio sempre più di tipo deterministico e quantitativo, quindi "numerico" in tutte le attività di studio e supporto alla progettazione.

Tale impostazione sul piano normativo ha quindi reso necessario il sempre più frequente ricorso ai codici di simulazione, in grado di rappresentare in dettaglio, e di conseguenza meglio comprendere, le fenomenologie fisiche di interesse, consentendo in particolare di studiare e confrontare molteplici scenari sia in termini di intensità dei fenomeni fisici sia di influenza dei fattori antropici, fornendo in relazione a questi gli indicatori e parametri di tipo quantitativo su cui si fondano gli strumenti e direttive sopra richiamati.

Sul piano tecnico-scientifico, oltre alle accresciute conoscenze e competenze sulle fenomenologie più complesse, quali ad esempio la morfologia fluviale ed i processi qualitativi, che ne rendono oggi possibile la relativa rappresentazione attraverso robusti ed affidabili codici di simulazione numerica, negli ultimi anni il know-how tecnico necessario all'utilizzo di codici più complessi, quali i modelli bidimensionali fino ad alcuni anni orsono patrimonio specifico di un limitato insieme di utilizzatori, si sta estendendo alla pratica comune, sia tra soggetti istituzionali (Amministrazioni locali, Autorità di Bacino, ARPA e Consorzi irrigui e di bonifica) sia di tipo privato.

Il terzo elemento di questa evoluzione è costituito dagli importanti sviluppi nell'ultimo decennio nel campo dell'informatica, sia in termini software che hardware. Disponendo infatti di calcolatori sempre più potenti e di metodologie di programmazione sempre più raffinate, si pensi ad esempio alle potenzialità offerte dal calcolo parallelo o dai 64-bit, è oggi possibile studiare, mediante i codici di simulazione, le fenomenologie più complesse, su aree estese, garantendo una risoluzione spazio-temporale di estremo dettaglio. Anche attraverso i più raffinati schemi di risoluzione ai volumi finiti, è infatti oggi possibile, con un calcolatore di uso comune ed un codice di calcolo adeguato, simulare, ad esempio, l'allagamento di un'area di diverse decine di chilometri quadrati garantendo una risoluzione spaziale nell'ordine del metro oltre che la possibilità di includere, ove necessario, i processi di trasporto solido ed evoluzione morfologica, gli aspetti qualitativi, l'interazione con la rete di drenaggio ed ogni altra fenomenologia od elemento antropico di interesse per lo specifico studio.

Dal supporto alla progettazione, alle analisi di rischio, dalle valutazioni di impatto ambientale alla previsione e gestione delle emergenze, i codici di simulazione numerica costituiscono quindi oggi uno strumento da cui non si può più prescindere ai fini di garantire la qualità tecnica che deve necessariamente caratterizzare ai giorni nostri le attività di studio e supporto alla progettazione nonché il rispetto dei più recenti indirizzi normativi.

Finalità del presente documento tecnico è introdurre i principali settori di applicazione dei codici di simulazione numerica nel campo dell'"idraulica fluviale", presentandone lo stato attuale di sviluppo e di utilizzo nel nostro Paese, i differenti approcci metodologici possibili in relazione alle finalità e specificità di ogni studio individuandone, per quanto possibile, le modalità di utilizzo più efficaci.

© DHI

Il documento è stato redatto sulla base dell'ormai decennale esperienza maturata dai tecnici di DHI Italia operando esclusivamente nel campo della modellazione numerica, nonchè grazie alle consolidate partnership ed al conseguente continuo e costruttivo confronto tecnico con numerosi tra i più qualificati soggetti istituzionali ed enti privati operanti nel nostro paese nonché, sul piano internazionale, attraverso il gruppo DHI.

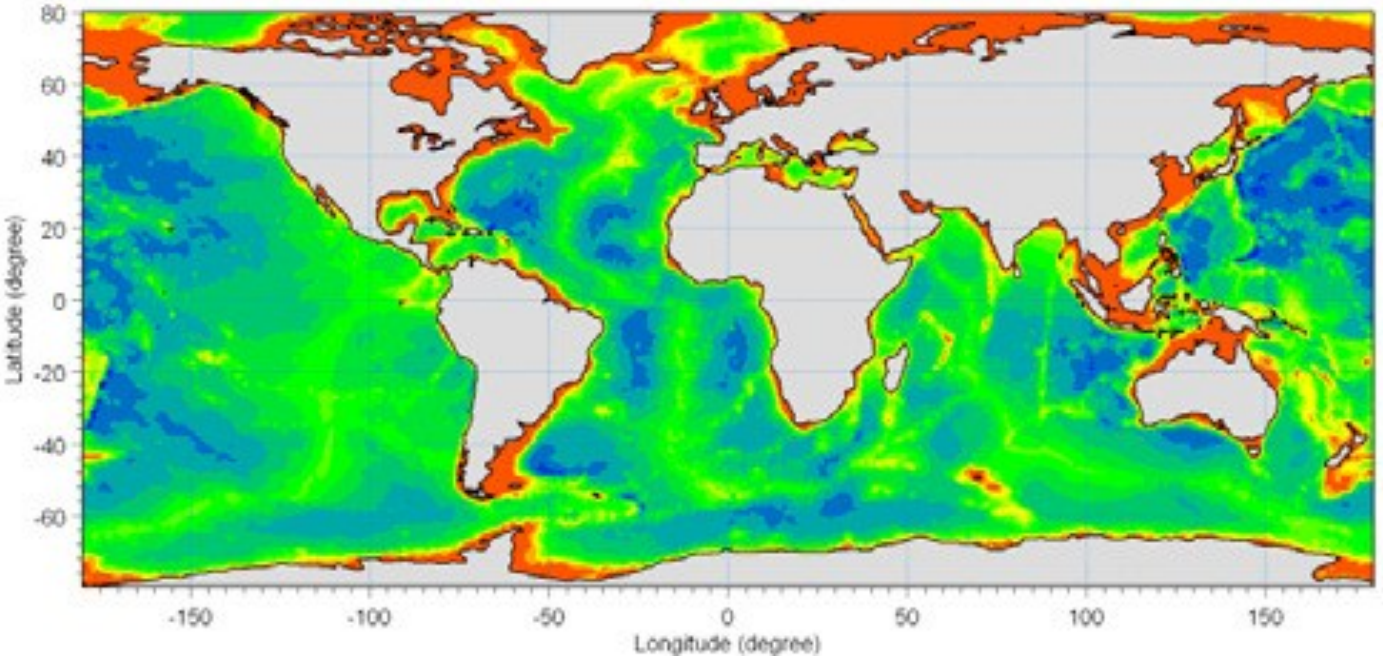


Figura 1— Batimetria a livello mondiale.

© DHI

LA MODELLISTICA NUMERICA PER FIUMI E CANALI

A riprova dell'evoluzione presentata nel paragrafo precedente, l'utilizzo dei codici di simulazione numerica è già oggi esteso a pressoché tutte le attività di analisi in ambito fluviale.

I modelli numerici per l'idrodinamica costituiscono, in primo luogo, un valido strumento di **supporto alla progettazione** degli interventi strutturali o non strutturali finalizzati all'attenuazione del rischio idraulico gravante sul territorio. I primi consistono in opere di sistemazione attiva o passiva, che mirano a ridurre la pericolosità dell'evento, abbassando la probabilità di accadimento oppure attenuandone l'impatto. Esempi di interventi strutturali sono argini, vasche di laminazione, sistemazioni idraulico-forestali, consolidamento dei versanti, etc. Gli interventi non strutturali consistono in quelle azioni finalizzate alla riduzione del danno attraverso l'introduzione di vincoli che impediscano o limitino l'espansione urbanistica in aree a rischio, la pianificazione di emergenza, la realizzazione di sistemi di allertamento e di reti di monitoraggio.

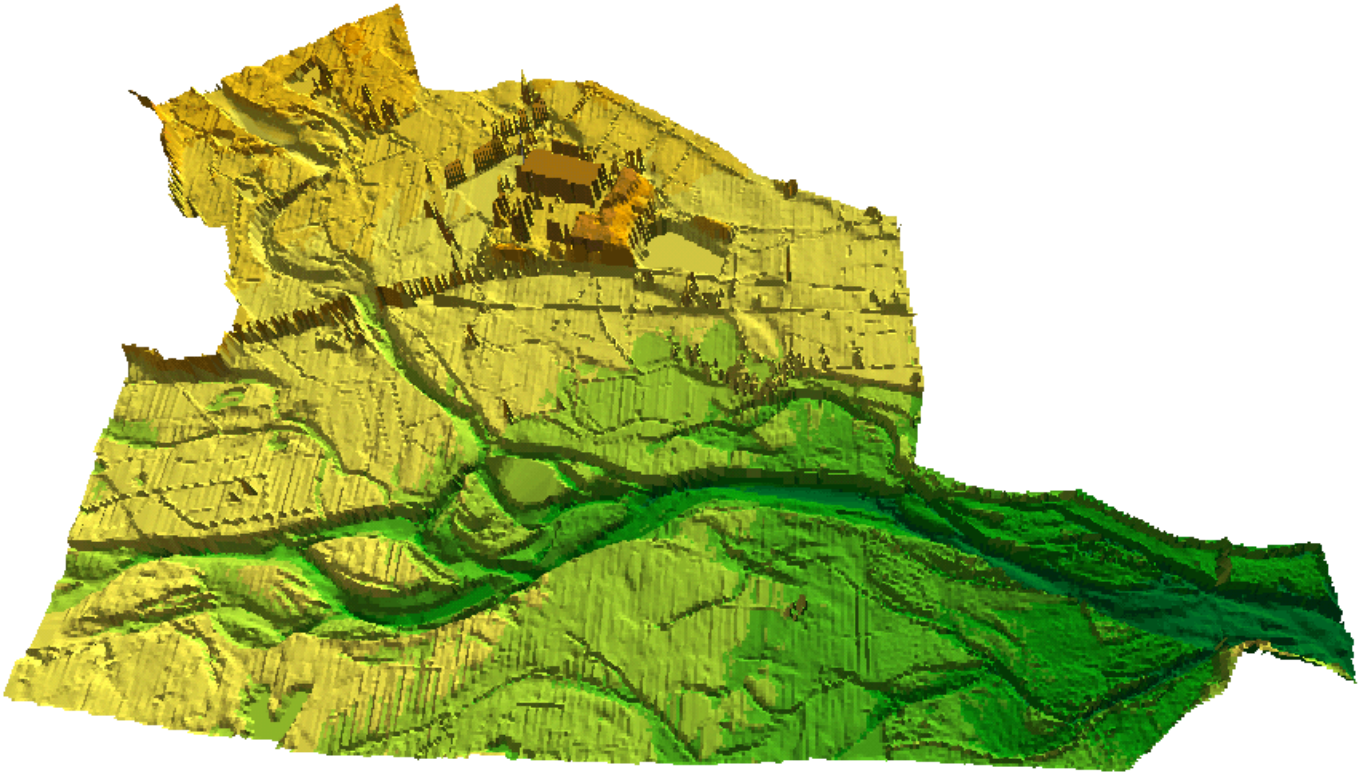


Figura 2—Esempio di DTM.

Per entrambe le tipologie di interventi, è prassi comune fare ricorso ad un modello numerico in grado di simulare le condizioni di deflusso (aree interessate, livelli e velocità) in relazione a specifici eventi idrologici estremi, al fine di quantificare l'entità dei fenomeni e verificare preventivamente l'efficacia della specifica soluzione adottata.

Il grande vantaggio offerto dai codici di calcolo risiede proprio nella possibilità di poter confrontare in tempi molto rapidi l'efficacia di diverse alternative di intervento nonché l'impatto di molteplici scenari idrologici, sintetizzandone i risultati in parametri ed indicatori di tipo numerico in grado di supportare le decisioni da intraprendere anche in un'ottica costi-benefici.

L'utilizzo di modelli numerici per l'idrodinamica consente di effettuare valutazioni sullo stato di rischio del territorio in funzione della vulnerabilità degli elementi esposti, in coerenza con i recenti provvedimenti normativi a livello europeo: la direttiva europea **2007/60/CE** del 23 ottobre 2007 ha, infatti, stabilito e definito i concetti base per l'istituzione di un quadro per la valutazione e la gestione del **rischio** alluvionale

© DHI

volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse all'interno della Comunità. Elemento centrale della Direttiva è proprio l'adozione di procedure e metodologie di quantificazione del rischio fondate su un approccio di tipo deterministico e numerico in riferimento al quale i codici di simulazione assumono un ruolo strategico e del tutto imprescindibile.

E' altresì pratica consolidata il ricorso ai modelli idraulici nell'ambito degli studi finalizzati alla stesura, e continuo aggiornamento, dei **Piani di Bacino**, intesi come strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo con il quale vengono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso per la corretta gestione del suolo e delle acque, sulla base delle caratteristiche fisico-ambientali e delle condizioni di rischio del territorio interessato. Studi fondati sull'utilizzo di modelli idraulici sono inoltre abitualmente richiesti dalle Autorità preposte alla gestione e pianificazione del territorio per la realizzazione dei **Piani Stralcio per l'Assetto Idrogeologico** (PAI), volti a perseguire l'obiettivo di garantire al territorio di competenza un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, il recupero degli ambiti fluviali e la programmazione degli usi del suolo in funzione delle condizioni di rischio presenti. Le analisi multidisciplinari basate sugli studi idrodinamici e sull'analisi geomorfologica e naturalistico-ambientale dell'area permettono, infatti, di definire la perimetrazione delle fasce fluviali.

Analogamente, gli studi di modellistica idraulica consentono di recepire le linee guida degli studi di fattibilità, ovvero gli strumenti che permettono la traduzione delle linee di assetto e dei criteri di intervento del PAI nelle proposte di interventi strutturali sulle aste fluviali.

I codici di simulazione sono inoltre comunemente utilizzati nell'ambito dei **sistemi di previsione e gestione degli stati idrologici estremi**, sia per eventi di piena sia di carenza idrica, consentendo infatti, mediante

l'opportuna interazione con i modelli di previsione meteorologica, di simulare anticipatamente gli effetti al suolo previsti nelle ore e giorni successivi, in particolare in termini di livelli e portate nei corsi d'acqua e nelle reti di drenaggio, rendendo quindi possibile l'attivazione, qualora necessario, delle opportune misure di protezione civile nonchè l'avvio di azioni correttive volte alla riduzione degli impatti. Si pensi ad esempio alla possibilità di effettuare opportune manovre presso un invaso, un impianto di sollevamento od un qualunque organo di controllo idraulico in funzione dell'apporto idrologico previsto nelle ore successive.

I Centri Funzionali, che operano nel nostro paese a livello regionale sotto il coordinamento del Dipartimento di Protezione Civile, si stanno dotando in questi anni di sistemi di previsione e gestione idrologica molto avanzati, sempre fondati su codici di simulazione numerica di tipo idrologico ed idrodinamico.

© DHI

APPROCCIO METODOLOGICO E SCHEMI DI CALCOLO DISPONIBILI

Come presentato nei paragrafi precedenti, i modelli numerici per l'idraulica costituiscono uno strumento di fondamentale importanza per la simulazione dei fenomeni idrodinamici negli alvei naturali ed artificiali nonché nelle aree soggette ad allagamento.

I modelli di calcolo possono essere più o meno complessi a seconda del dettaglio di rappresentazione dei fenomeni fisici da analizzare.

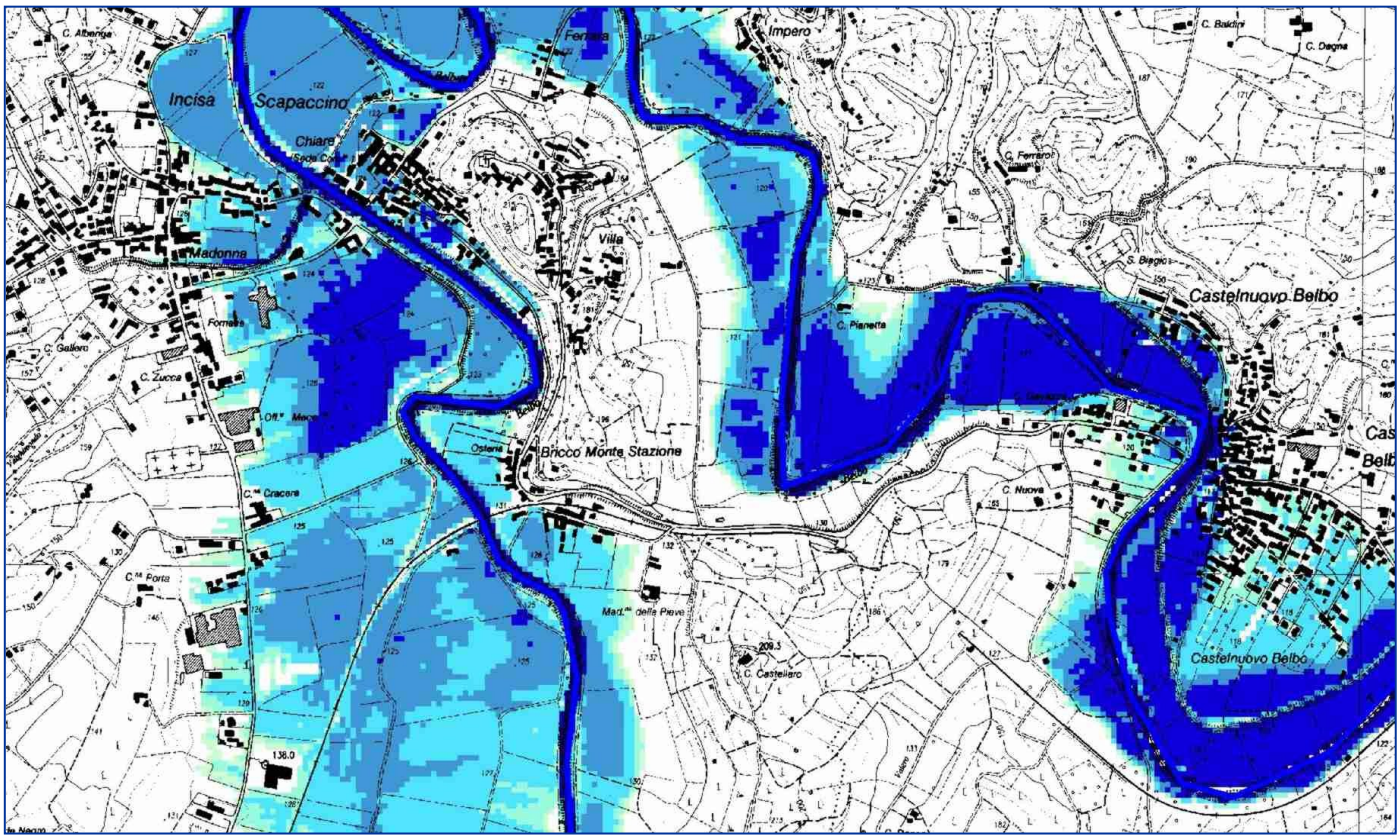


Figura 3—Schematizzazione di un tratto di corso d'acqua.

Il crescente dettaglio nella rappresentazione spazio-temporale dei processi così come la maggiore complessità dei fenomeni considerati determina, inevitabilmente, l'esigenza di più accurati dati di input, in particolare in termini di rappresentazione fisica e morfologica dell'area di studio, nonché tempi computazionali più lunghi per la simulazione dei processi.

Il modello da utilizzare, ed in particolare il relativo **schema geometrico**, inteso come il numero di dimensioni spaziali in riferimento alle quali rappresentare i processi, deve pertanto essere scelto, già nella fase di impostazione dello studio, in funzione degli obiettivi e del tipo di informazioni richieste, dei dati conoscitivi disponibili e del livello di approfondimento da raggiungere nel simulare i fenomeni fisici.

Lo schema numerico più semplice è quello di tipo monodimensionale, che prevede la rappresentazione dell'alveo attraverso sezioni trasversali ed in cui tutte le grandezze idrauliche, calcolate in corrispondenza delle stesse sezioni, sono mediate sia nella direzione verticale sia in quella trasversale al deflusso, che avviene, conseguentemente, lungo un'unica, predeterminata, direzione.

Tale schema, i cui tempi di calcolo risultano necessariamente contenuti a fronte del limitato numero di punti computazionali, risulta ampiamente adeguato ed affidabile qualora il deflusso presenti caratteristiche prevalentemente unidirezionali ma non permette, ad esempio, nella simulazione dei fenomeni di piena, la differenziazione delle condizioni di deflusso tra alveo attivo e golene, né l'analisi della distribuzione dei

© DHI

deflussi in una rete ramificata di canali di flusso a pelo libero.

Più completo è invece lo schema bidimensionale attraverso il quale, partendo da una rappresentazione della morfologia dell'alveo e dei piani golenali in due dimensioni, tipica di un modello digitale del terreno, è possibile simulare dettagliatamente il deflusso nelle due direzioni piane differenziando livello idrico, velocità e direzione della corrente in ogni punto del dominio di calcolo.

Tale schema richiede necessariamente tempi computazionali più lunghi ed una rappresentazione dell'area interessata dal deflusso di dettaglio maggiore.

La scelta dello schema geometrico da adottare, monodimensionale o bidimensionale, deve essere effettuata principalmente in funzione delle caratteristiche della fenomenologia fisica che si intende rappresentare nonché del relativo dettaglio richiesto allo studio.

Una rappresentazione intermedia tra i due schemi di calcolo precedentemente citati è costituita dall'approccio quasi-2d, fino a pochi anni fa largamente utilizzato in particolar modo nella schematizzazione modellistica di corsi d'acqua caratterizzati da ampie aree golenali contribuenti al deflusso in piena per le quali risultasse necessario differenziare le caratteristiche idrodinamiche (velocità e livelli) rispetto all'alveo principale, oppure in presenza di esondazioni su ampie aree di pianura caratterizzate da molteplici direzioni di deflusso dei volumi esondati.

L'approccio "quasi-2D" si basa su di uno schema geometrico che, pur risolvendo le equazioni di De Saint-Venant nel caso monodimensionale, per la rappresentazione del moto vario in canali a pelo libero, può essere applicato su di una rete idraulica a maglie aperte o chiuse ed è in grado di descrivere (a valle di una calibrazione di dettaglio) in modo adeguato fenomeni idraulici che interessano tratti fluviali o reti in cui il deflusso, pur non assumendo caratteristiche strettamente unidirezionali, può comunque essere rappresentato attraverso un insieme di tratti caratterizzati ognuno da una direzione preferenziale della corrente. Con questo schema oltre al ramo principale, che costituisce il corso d'acqua primario, possono essere simulati qualsiasi ordine e tipo di ramificazioni parallele (a maglia aperta o chiusa) collegate al ramo principale stesso.

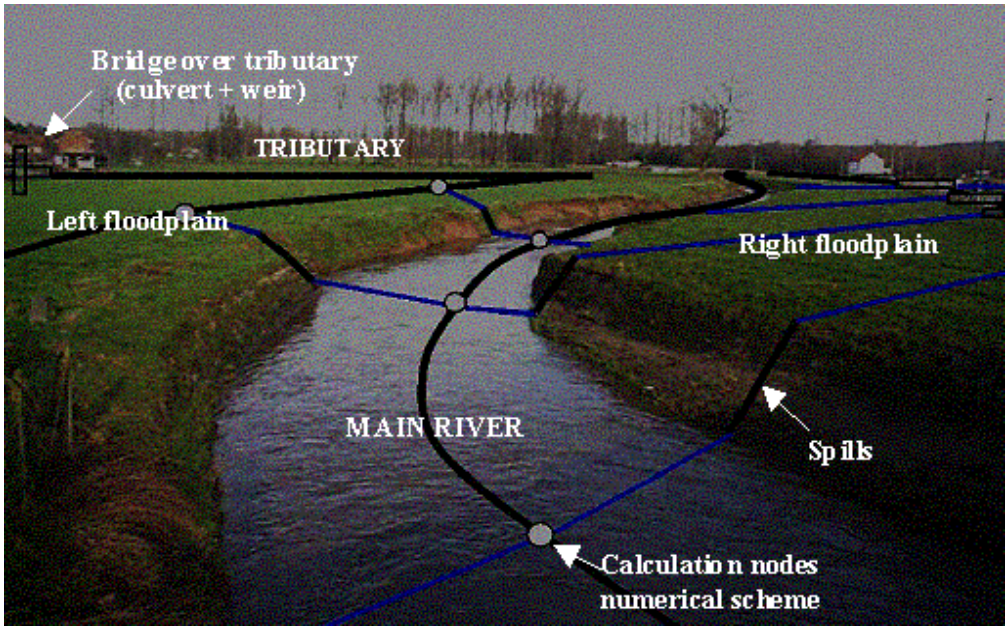


Figura 4 - Rappresentazione schematica dell'approccio quasi bidimensionale.

© DHI

Nel caso di aree perifluviali approssimativamente pianeggianti e/o con pendenza che definisce in modo univoco la direzione privilegiata del flusso idrico, lo schema quasi-2d fornisce, nella maggior parte dei casi, risultati soddisfacenti e paragonabili a quelli derivanti dall'approccio bidimensionale, così come illustrato in Figura 5, con particolare riferimento all'estensione delle aree allagabili.

La figura presenta le aree allagate in corrispondenza di un'ansa fluviale calcolate mediante l'utilizzo di un modello bidimensionale e di un modello a schema quasi-2d evidenziando la quasi totale corrispondenza dei risultati dei due modelli.

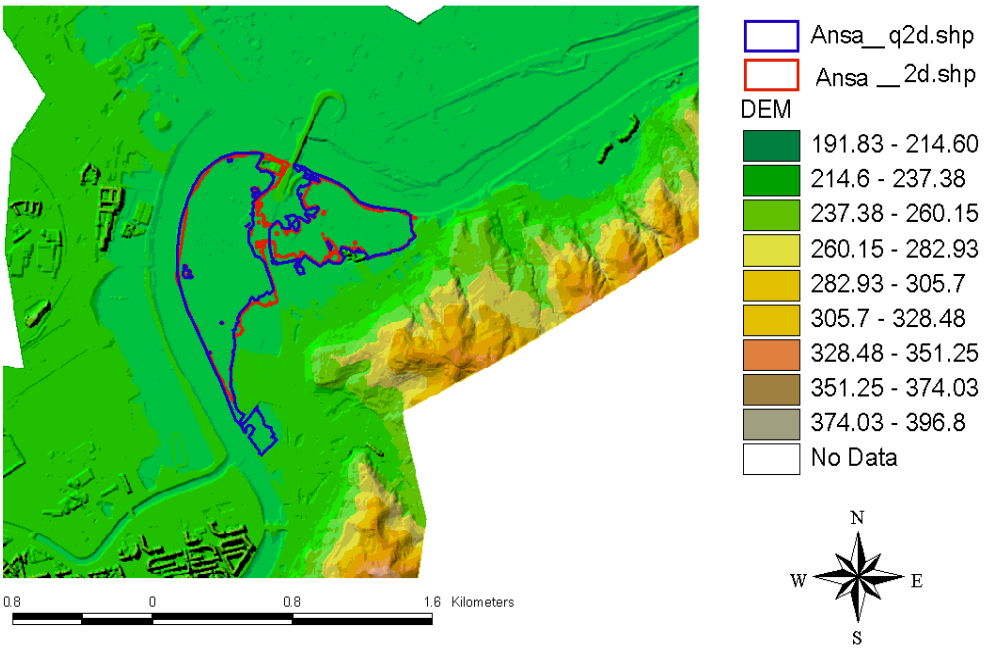


Figura 5 -Particolare del confronto tra approccio bidimensionale e quasi-2d, in termini di estensione dell'area allagabile.

Con questo tipo di schema, un codice di calcolo di tipo monodimensionale consente quindi di simulare in modo approssimato anche il deflusso lungo la direzione trasversale tramite l'introduzione di canali di collegamento fra due rami paralleli ma non può tuttavia fornire una corretta rappresentazione del fenomeno di propagazione laddove non sussista una direzione prevalente di deflusso. Il dettaglio del risultato fornito risulta quindi tanto meno attendibile rispetto allo schema bidimensionale quanto più è complesso e diversificato il deflusso, sia in alveo sia nelle aree golenali e sul piano campagna.

Sebbene, attraverso opportune tecniche di interpolazione, sia possibile generare mappe bidimensionali delle altezze idriche e delle velocità di deflusso a partire dai risultati di un modello con schema quasi bidimensionale, è sempre necessario ricordare come tale informazione sia sufficientemente attendibile limitatamente all'intorno dei punti di calcolo del modello stesso.

E' inoltre opportuno evidenziare come, per effetto dello sviluppo delle interfacce grafiche dei modelli bidimensionali, della crescente disponibilità dei modelli digitali del terreno e della riduzione dei tempi computazionali grazie alla velocità dei nuovi processori ed al calcolo parallelo, l'adozione di uno schema quasi bidimensionale risulti frequentemente più onerosa, in termini di tempistiche per la creazione del modello ed il processamento dei risultati di parte dell'utente, rispetto ad uno schema bidimensionale.

© DHI

E' questo il caso, ad esempio, dello studio della propagazione in piena dei volumi d'acqua esondanti in un'area interessata da un denso sviluppo antropico in cui il deflusso é, quindi, fortemente influenzato dal tessuto urbano.

L'utilizzo di un modello bidimensionale ben si presta a simulare un deflusso in ambito urbano od in aree fortemente antropizzate, essendo in grado di simulare tutte le componenti trasversali del moto a partire dal solo modello del terreno.

D'altra parte, l'approccio quasi bidimensionale comporta evidenti complicazioni di impostazione modellistica in quanto richiede la realizzazione di un dettagliato schema reticolare di canali a pelo libero collegati tra loro atti a simulare la rete stradale che regola, inevitabilmente, le direzioni di deflusso principali dei volumi esondati.

Esistono infine modelli di tipo integrato, come descritto nel seguito, che permettono di adottare, in un unico codice di simulazione, entrambi gli schemi di calcolo monodimensionale e bidimensionale, accoppiando in maniera dinamica la risoluzione delle equazioni del moto attraverso una comune interfaccia grafica.

La modellistica in campo bidimensionale è stata oggetto di importanti sviluppi nel corso degli ultimi cinque anni assistendo allo sviluppo e diffusione di diversi schemi di rappresentazione del territorio, tra cui:

- schema a maglia classica con griglia quadrata ed a dimensione costante sul dominio di calcolo (**classic grid**), alle differenze finite;
- schema a maglia classica con griglia quadrata ed a dimensione variabile su aree omogenee (**nested grid**), alle differenze finite;
- schema a maglia non strutturata triangolare o quadrangolare mista (**flexible mesh**) ai volumi finiti;
- schema integrato monodimensionale – bidimensionale.

Anche nell'ambito dell'approccio bidimensionale, la scelta della tipologia di maglia di calcolo da adottare è nuovamente funzione di diversi aspetti, spesso correlati tra di loro:

- morfologia del territorio;
- grado di urbanizzazione e presenza di manufatti;
- estensione del dominio di calcolo;
- dettaglio di rappresentazione del territorio;
- complessità e dimensione dell'alveo fluviale;
- tempi di calcolo

L'introduzione dello schema ai volumi finiti fondato su una maglia di calcolo non-strutturata ha incrementato la possibilità di applicazione di un modello bidimensionale su domini di calcolo maggiormente estesi: la possibilità di variare spazialmente la griglia di calcolo permette di utilizzare un maggior dettaglio laddove necessario e di impostare una risoluzione grossolana nelle aree del dominio di minore interesse o solo marginalmente interessate dai flussi di piena.

© DHI

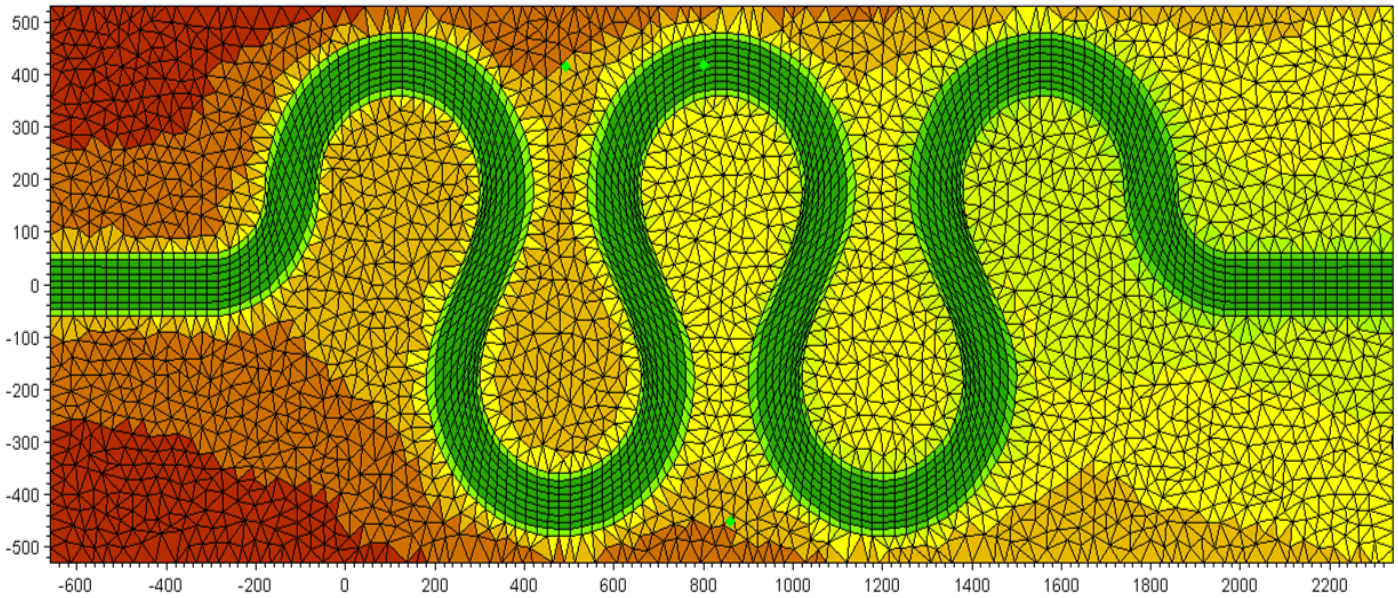


Figura 6 – Schema geometrico con griglia non-strutturata (Flexible Mesh).

Tuttavia, se si fa riferimento esclusivamente all'ambito fluviale, lo schema a griglia classica rappresenta ancora oggi la tipologia più diffusa ed adeguata alla rappresentazione del territorio, ancor più se supportata dalla disponibilità di strumenti di pre-processing e post-processing che rendono l'interfaccia di creazione del modello estremamente user-friendly e completamente integrata con l'ormai diffusissimo ambiente GIS (importazione ed esportazione formato GIS, modifica ed inserimento di breaklines, strumenti grafici interattivi).

Se si esclude la limitazione di dover rappresentare in modo omogeneo aree estese (stessa dimensione delle celle di calcolo), ed il conseguente incremento dei tempi computazionali nel caso di griglie ad alta risoluzione (problema in parte superato dai processori sempre più potenti e dal calcolo in parallelo), lo schema a griglia quadrata risulta adatto sia per applicazioni su aree più ampie (studi di pianificazione, determinazione di aree allagabili), sia per studi idraulici di dettaglio.

Un ulteriore grado di sviluppo dei modelli a griglia classica è quello rappresentato dall'utilizzo dello schema "nested grid", ossia la possibilità di accoppiare, nello stesso modello, aree con differente risoluzione: questi tipi di modelli sono estremamente utili nel caso in cui si abbia la necessità di esaminare con un maggiore dettaglio una porzione del territorio il cui comportamento idraulico è influenzato dalle condizioni di deflusso su un'area più vasta.

Un tipico esempio è presentato nella seguente figura: il modello bidimensionale realizzato ha lo scopo di esaminare la mutua interazione tra due diversi ordini di pile in alveo (effetti di rigurgito, velocità di deflusso e formazione di vortici, determinazione degli effetti indotti di scalzamento) relativi a due differenti viadotti, nel caso specifico la linea autostradale e ferroviaria, in corrispondenza di un evento di piena.

Necessitano di un dettaglio molto elevato nell'intorno delle pile in funzione della dimensione delle stesse, ma dovendo nello stesso tempo simulare una porzione di alveo molto estesa stanti le caratteristiche morfologiche del corso d'acqua, nel caso specifico è stata adottata una maglia di calcolo ad alta risoluzione innestata in una a maglia più ampia.

© DHI

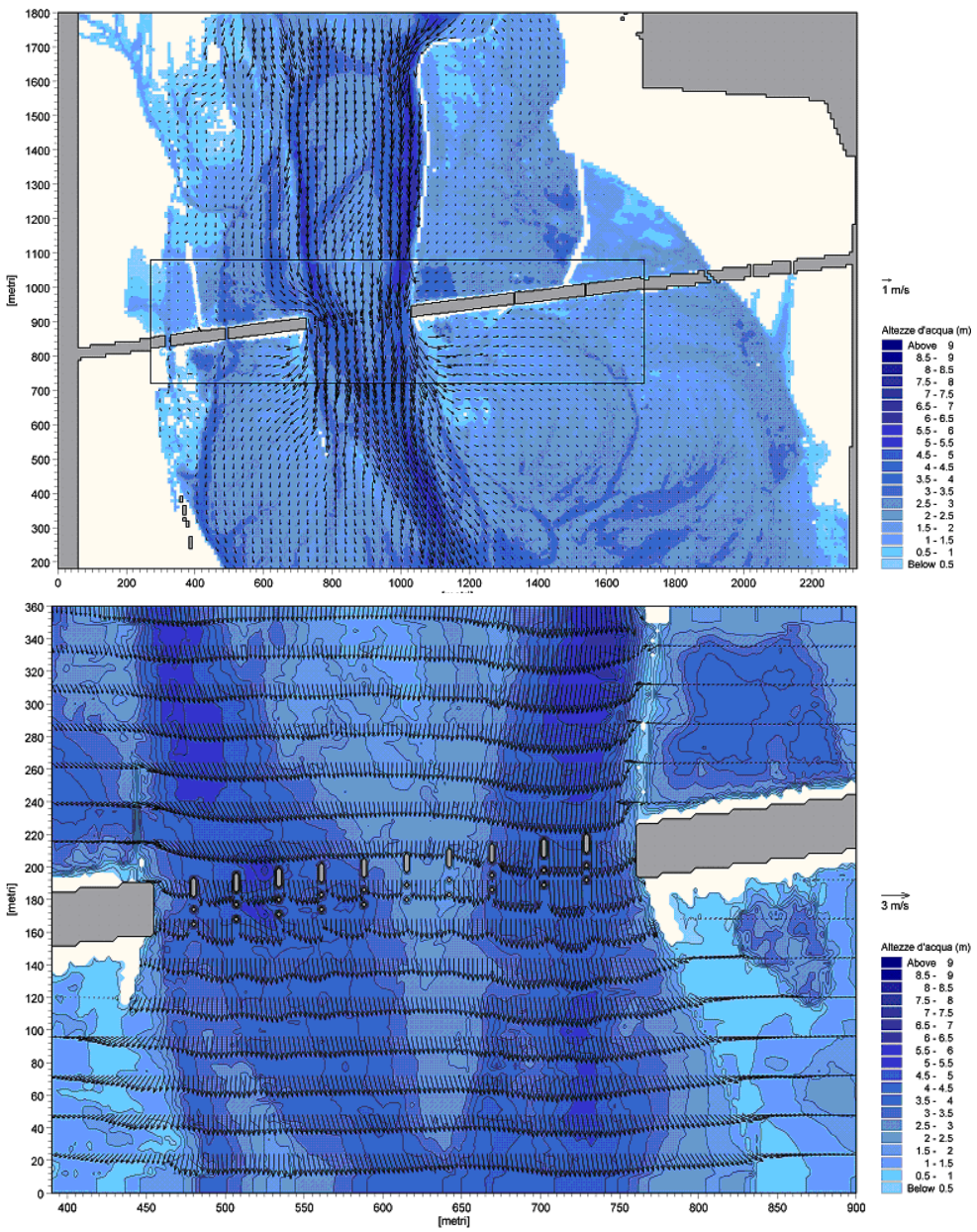


Figura 7 – Esempio di schema "nested grid".

Un ultimo aspetto da considerare nella scelta della tipologia ottimale di schema numerico da adottare è la dimensione trasversale dell'alveo inciso e la presenza o meno di manufatti interferenti.

Una buona risoluzione nella descrizione geometrica del corso d'acqua oggetto di studio si ottiene con la rappresentazione dell'alveo inciso mediante almeno 4-5 celle di calcolo: un alveo molto stretto, tipico di numerosi torrenti e rii che caratterizzano il territorio italiano, potrebbe precludere una rappresentazione corretta dello stesso all'interno di un modello bidimensionale a maglia più ampia od in alternativa costringere alla scelta di una risoluzione spaziale eccessivamente dettagliata con conseguente aggravio dei tempi di calcolo e della dimensione dei file di output.

Inoltre, la maggior parte dei corsi d'acqua sono caratterizzati dalla presenza di diverse strutture di natura antropica, dal semplice attraversamento, alla traversa o briglia, a strutture di regolazione spesso dipendenti da regole operative complesse, che difficilmente possono essere implementate all'interno di un modello bidimensionale. Questo problema può essere superato con l'utilizzo di modelli integrati 1d-2d che rappresentano ad oggi lo stato dell'arte nella modellistica in ambito fluviale: tali strumenti consentono di

© DHI

implementare in modo integrato i modelli idrodinamici monodimensionali e bidimensionali e di sfruttare al meglio le loro potenzialità per ottenere una schematizzazione modellistica accurata senza comportare un aggravio dei tempi di calcolo.

Un modello di tipo integrato fa intervenire nell'ambito di uno stesso schema di calcolo l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione:

- lo schema monodimensionale dei tratti d'alveo caratterizzati da una direzione prevalente del flusso o comunque dove l'approccio 1d sia adeguato;
- lo schema bidimensionale per la rappresentazione delle aree di espansione od in presenza di fenomenologie e condizioni di deflusso più complesse.

L'utilizzo di tale approccio integrato consente quindi di costruire un unico modello idrodinamico per un sistema fluviale esteso e complesso, adottando la schematizzazione e la risoluzione spaziale più consona ad ogni area pur mantenendo relativamente limitato il numero dei punti di calcolo e senza incorrere in problemi di condizioni al contorno tra le diverse aree. Lo schema monodimensionale permette l'inserimento della geometria dei manufatti e di sezioni trasversali d'alveo per una corretta e precisa rappresentazione delle sponde naturali o artificiali; lo schema bidimensionale permette il calcolo di velocità e tiranti idrici e l'estensione delle aree allagabili nei tratti golenali.

© DHI

IMPOSTAZIONE DI UN MODELLO BIDIMENSIONALE PER SIMULAZIONI DI PIENA

In questo capitolo vengono presentate le diverse fasi di uno studio idraulico, che preveda l'utilizzo di un modello numerico bidimensionale, volto a simulare ed analizzare le dinamiche di esondazione e propagazione di un evento di piena in un'area urbana o, comunque, antropizzata.

Per ogni fasi dello studio vengono presentati l'approccio metodologico, le tipologie di dati necessari e forniti utili consigli volti a massimizzare l'efficacia e l'accuratezza dello studio modellistico.

Sebbene orientate alla specificità del caso di studio in analisi, gran parte delle metodologie presentate ed indicazioni fornite sono esportabili a numerose altre tipologie e finalità di studio afferenti all'idraulica fluviale od a sistemi artificiali a pelo libero, non esclusivamente in riferimento ad eventi di piena ma anche alle condizioni ordinarie. Ugualmente, lo stesso approccio metodologico e fasi di lavoro possono essere adottati nelle attività di supporto alla progettazione, sistemazione idraulica e sistemi in tempo reale, oltre che nelle analisi di rischio.

Acquisizione dei dati topografici e specifiche di rilievo

Principale dato di input ad un modello bidimensionale è la cosiddetta batimetria, rappresentazione bidimensionale in termini altimetrici dell'intero dominio di calcolo.

In un modello bidimensionale la batimetria sostituisce pertanto le sezioni trasversali richieste da un codice monodimensionale per la rappresentazione geometrica dell'alveo.

In funzione della tipologia di maglia di calcolo adottata (triangolare o quadrangolare) la batimetria è costituita da un file bidimensionale in cui il dominio di simulazione è suddiviso in una serie di molteplici elementi ognuno dei quali caratterizzato da una quota altimetrica univoca.

A fronte dell'elevata importanza della batimetria in un modello bidimensionale, assume un ruolo strategico la fase di acquisizione dei dati topografici necessari alla costruzione della batimetria stessa, spesso attraverso opportune tecniche di interpolazione dei dati misurati al suolo.

Grazie ai recenti sviluppi nelle tecniche topografiche, è oggi possibile eseguire rilievi di aree molto estese garantendo un elevato dettaglio plano-altimetrico in tempi rapidi e con costi relativamente contenuti.

In particolare, mediante l'utilizzo di strumentazione GPS è oggi possibile effettuare in tempi relativamente rapidi il rilievo di aree di media estensione con un impiego limitato di personale in campo e relativi costi derivanti.

In aggiunta alle più tradizionali tecniche di rilievo aerofotogrammetrico, si stanno sempre più diffondendo l'utilizzo di strumenti laser montati su aeroplano, che consentono di effettuare in tempi rapidi il rilievo di porzioni di territorio molto estese, garantendo una risoluzione spaziale anche inferiore al metro, al costo di più elevati tempi di processamento, in particolare nel passaggio dal modello delle elevazioni (comprensivo quindi della vegetazione ed altri elementi in quota) al vero e proprio modello del terreno, relativo al solo piano campagna e vero elemento di interesse per le attività di studio idraulico.

In ultimo, iniziano oggi a diffondersi nuove tecniche di rilievo satellitare, non ancora in grado di garantire uguale risoluzione spaziale ed accuratezza in termini altimetrici rispetto alle tecniche più tradizionali, ma caratterizzate da una possibilità di aggiornamento molto più frequente.

Anche in questo campo risulta quindi particolarmente importante individuare la tecnologia di rilievo più adeguata in funzione della specificità ed estensione del sito e dettaglio necessario seguendo un approccio costi-benefici.

© DHI

Per la realizzazione ed ottimizzazione delle applicazioni modellistiche bidimensionali, il rilievo topografico dell'area di studio deve soddisfare alcuni requisiti sia in termini di modalità di rilievo sia di formato e codifica della restituzione.

In senso longitudinale il rilievo deve essere esteso a monte e valle ad adeguata distanza dall'area di principale interesse dello studio per facilitare la definizione delle condizioni al contorno e svincolare il risultato delle simulazioni numeriche dai valori ivi assunti.

Le entità acquisite nel corso della campagna di rilievo possono essere di tipo puntuale (punti singoli rappresentati da tre coordinate), lineare (un insieme di punti 3D connessi fra loro che costituiscono una linea aperta) od aerale (un insieme di punti 3D connessi fra loro che costituiscono una linea chiusa) e devono essere restituite su una planimetria in formato digitale compatibile con l'ambiente GIS o CAD, in coordinate georiferite secondo le specifiche di progetto.

In particolare, nell'ottica di un'ottimizzazione della fase di costruzione del modello numerico, le informazioni di tipo puntuale devono essere rappresentate in planimetria in formato tridimensionale mentre le polilinee devono avere associato un numero di punti quotati adeguato al dettaglio delle informazioni associate.

Nella stessa ottica, l'attività di rilievo deve prevedere l'acquisizione di entità "sovramontanti" e "sottomontanti" rispetto al piano di campagna, che dovranno essere restituite su "livelli" informativi

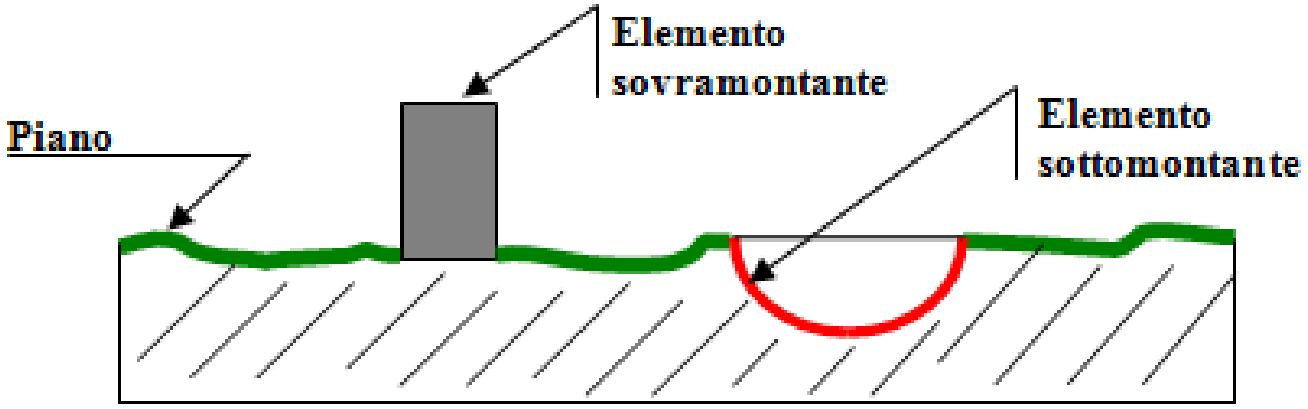


Figura 8 – Entità sovramontanti e sottomontanti.

differenti. Per "piano campagna" si intende l'andamento naturale della superficie del territorio escludendo i manufatti e le deformazioni dovute ad elementi particolari.

Per una corretta costruzione della batimetria di calcolo, dopo aver ricostruito la topografia del terreno, è necessario apportare le dovute correzioni alle quote ottenute dall'eventuale interpolazione dei dati puntuali, in modo da rappresentare correttamente gli elementi che possono condizionare maggiormente le condizioni di deflusso della corrente, in particolare le quote degli argini e dei principali elementi "sovramontanti" (rilevati stradali, muri divisori, ingombro abitazioni ecc.), con dettaglio in funzione dell'obiettivo dell'analisi e del contesto di applicazione.

Risulta quindi di notevole importanza l'integrazione e l'infittimento ove necessario della batimetria con le quote di sommità degli argini. In uno studio mediante modello numerico bidimensionale, la quota dei profili arginali determina la massima capacità di deflusso in alveo e definisce il volume idrico contribuente ad un'eventuale esondazione sul piano campagna.

© DHI

Definizione del dominio di calcolo

La definizione ottimale dell'area di studio presenta un'importanza fondamentale nella messa a punto del modello bidimensionale. E' necessario individuare correttamente la porzione di terreno potenzialmente interessata dal deflusso di piena ed evitare che il dominio di calcolo venga delimitato in corrispondenza di zone ramificate o meandri d'alveo.

Ove risultano definite fasce fluviali da precedenti studi, il dominio di calcolo deve includere almeno l'intera fascia corrispondente al tempo di ritorno da simulare nell'analisi bidimensionale.

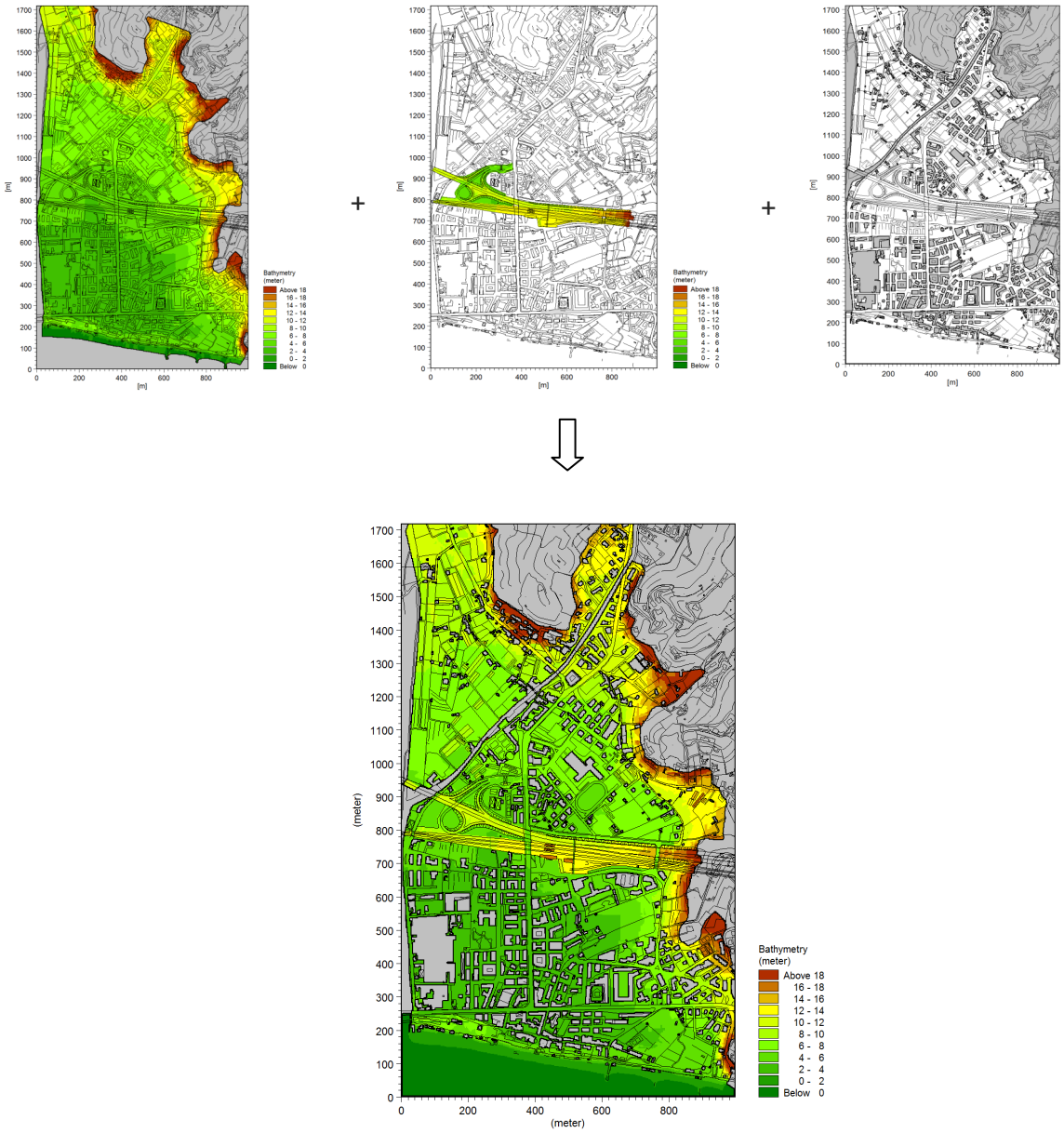


Figura 9 – Esempio di batimetria di un modello 2d a maglia 2x2 m generata attraverso l'integrazione della topografia del piano campagna con i singoli elementi sovramontanti (rilevato ferroviario, rilevato autostradale e viabilità locale).

© DHI

Risulta quindi di fondamentale importanza la definizione della griglia di calcolo, in quanto in grado di influenzare direttamente i tempi computazionali: l'aumentare del passo della griglia determina una diminuzione dei tempi di calcolo, a fronte di una minore accuratezza spaziale della soluzione. La scelta deve quindi essere un compromesso tra le due esigenze.

La simulazione accurata, con approccio bidimensionale, delle dinamiche di esondazione e propagazione di una piena in un'area urbana, o comunque caratterizzata da significativa antropizzazione, richiede la definizione di un modello del terreno con celle ad alta risoluzione spaziale: le dinamiche di propagazione risultano, infatti, fortemente influenzate dal tessuto urbano, che deve essere quindi accuratamente rappresentato.

Per questo motivo, nelle applicazioni in ambito urbano, si adotta generalmente una griglia di calcolo a maglia non superiore a 3 metri, in modo che le dimensioni delle celle siano inferiori alla larghezza delle strade più strette. La scelta di considerare celle con 2-3 m di lato risulta un ottimo compromesso tra le esigenze di precisione nella ricostruzione spaziale della topografia e l'onere computazionale. Si riporta a seguire una tabella che fornisce un'indicazione di massima della risoluzione della maglia di calcolo da adottare in funzione delle caratteristiche morfologiche del territorio, nel caso di schema numerico alle differenze finite con maglia quadrata.

	Minima	Adeguata	Adeguata con rappresenta-zione Breakli-
Ampie aree golenali a scarsa antropizzazione	25-30	10-15	20
Aree golenali con presen-za di infrastrutture	15	5	10
Area urbana	5-10	2-5	5

Tabella 1—Risoluzione ottimale, allo stato attuale dello sviluppo dei codici di calcolo e dell'hardware disponibile, della grigia di calcolo in funzione della tipologia di area di studio

La tabella, costruita in base ad un'ampia serie di applicazioni sul territorio italiano, intende fornire un'indicazione di massima della risoluzione ottimale intesa come buon compromesso tra un'adeguata rappresentazione del territorio ed un non eccessivo appesantimento dei tempi di calcolo e della dimensione dei file di output. La tabella evidenza l'importanza della corretta rappresentazione delle linee quotate sovramontanti e sottomontanti, che permette di raggiungere la stessa qualità ed accuratezza nei risultati pur adottando una risoluzione spaziale più contenuta.

© DHI

Definizione della scabrezza idraulica

La scabrezza idraulica rappresenta, all'interno delle equazioni del moto, il parametro che regola le perdite di energia distribuite, in primo luogo per attrito da scorrimento sul fondo e sulle sponde dei canali di deflusso.

La scelta di un appropriato valore della scabrezza è molto importante ai fini dell'accuratezza con cui vengono calcolati i profili idrici dal modello idrodinamico.

Il coefficiente di scabrezza in alveo viene generalmente rappresentato dal parametro ks di Gauckler-Strickler, che può essere in prima analisi messo in relazione con le caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo attraverso l'espressione (Henderson, 1966):

$$k_s = \frac{26}{d_{90}^{\frac{1}{6}}}$$

nella quale d90 [m] è il diametro cui corrisponde, in un'analisi granulometrica significativa del materiale di cui è costituito il fondo dell'alveo, un passante (in peso) pari al 90% del campione.

Tuttavia la definizione ottimale del coefficiente richiede ulteriori analisi in quanto la scabrezza intrinseca non è l'unica causa della resistenza al moto; la difficile determinazione di un coefficiente globale può dipendere da diversi fattori, quali:

- vegetazione in termini di altezza, densità, distribuzione e tipologia delle formazioni arbustive e arboree;
- forme di fondo e variazioni di forma indotte dagli allargamenti e restringimenti delle sezioni che si succedono lungo il corso d'acqua;
- ostruzioni, quali macigni, alberi, pile di ponti, sbarramenti, ecc.;
- irregolarità dell'andamento planimetrico.

Per la stima dei coefficienti di scabrezza da inserire nel modello numerico, nel caso in cui non si disponga di prove granulometriche, è necessario far riferimento sia ai dati di letteratura, che tengono conto dei fattori sopra indicati, sia all'esperienza acquisita nel campo della modellistica idraulica.

Valori medi del coefficiente di scabrezza sono suggeriti su diverse pubblicazioni nella letteratura specializzata.

La Tabella 2 riporta, a titolo di esempio, i valori del coefficiente di Manning (s/m1/3) per i corsi d'acqua naturali, suggeriti da V.T.Chow.

L'applicazione di un modello matematico bidimensionale necessita, come dato di input, della scabrezza in ogni cella della griglia di calcolo tramite la quale viene rappresentato il dominio di calcolo. L'accuratezza con la quale viene definito tale parametro influenza notevolmente il risultato della simulazione idrodinamica, in termini sia di estensione delle aree inondate, sia di distribuzione dei tiranti idrici e delle velocità di scorrimento.

© DHI

	MINIMO	NORM.	MAX.
1. Corsi d'acqua minori (larghezza di pelo libero al livello di piena < 30 metri (100 ft).			
a) *Corso d'acqua in pianura*			
1. Pulito, diritto, in regime di piena, senza incisioni o buche profonde	0,025	0,030	0,033
2. Come sopra, ma con maggior numero di ciottoli ed erbaccia	0,030	0,035	0,040
3. Pulito, tortuoso, con qualche buca e qualche deposito	0,033	0,040	0,045
4. Come sopra, ma con qualche ciottolo ed erbaccia	0,035	0,045	0,050
5. Come sopra, in regime di magra, con scarpate e sezioni più irregolari	0,040	0,048	0,055
6. Come al punto 4, ma con più ciottoli	0,045	0,050	0,060
7. Tratti con corrente lenta, coperti da erbacce, con buche profonde	0,050	0,070	0,080
8. Tratti molto inerbati, buche profonde, o filoni principali con grossi tronchi e sottobosco	0,075	0,100	0,150
b) *Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde frequentemente ripide, alberi e sottobosco lungo le sponde sommergibili durante le piene*			
1. Fondo: ghiaia, ciottoli e qualche masso	0,030	0,040	0,050
2. Fondo: ciottoli con grandi massi	0,040	0,050	0,070
2. Alvei di esondazione			
a) *A prato: senza sterpaglia*			
1. Erba bassa	0,025	0,030	0,035
2. Erba alta	0,030	0,035	0,050
b) *Aree coltivate*			
1. Senza coltura	0,020	0,030	0,040
2. Coltivazione a filari	0,025	0,035	0,045
3. Coltivazioni a campo	0,030	0,040	0,050
c) *Sottobosco*			
1. Sottobosco rado, molto erboso	0,035	0,050	0,070
2. Sterpaglie rade ed alberi, in inverno	0,035	0,050	0,060
3. Come sopra, in estate	0,040	0,060	0,080
4. Sottobosco da medio folto a folto, in inverno	0,045	0,070	0,110
5. Come sopra, in estate	0,070	0,100	0,160
d) *Alberi*			
1. Con salici, in estate, diritti	0,110	0,150	0,200
2. Terra disboscata con ceppi, senza getti	0,030	0,040	0,050
3. Come sopra, ma con molti getti	0,050	0,060	0,080
4. Alberi a grosso fusto con poco sottobosco, livello di piena al di sotto delle fronde	0,080	0,100	0,120
5. Come sopra, ma con livello di piena che raggiunge le fronde	0,100	0,120	0,160
3. Corsi d'acqua maggiori			
(larghezza di pelo libero al livello di piena > 30 metri (100 ft)			
Il valore di *n* è minore di quello dei corsi d'acqua minori di uguale descrizione, poiché le sponde offrono minore resistenza effettiva			
a. Sezione regolare senza massi o sottobosco	0,025	—	0,060
b. Sezione irregolare e scabra	0,035	—	0,100

Tabella 2 – Definizione delle scabrezze idrauliche in alveo.

© DHI

Le recenti tecniche di rilevamento satellitare sono di particolare interesse per la parametrizzazione della scabrezza dello strato superficiale del suolo. Il telerilevamento è, infatti, in grado di fornire informazioni areali riguardo alle proprietà fisiche del terreno, continuamente aggiornate (anche con cadenza stagionale), già in forma distribuita e spesso con un'ottima risoluzione spaziale, altrimenti difficili da ottenere. Nei casi in cui non si possano reperire dati telerilevati è opportuno definire la resistenza al moto sulla base delle informazioni tratte dalle carte litologiche e dell'uso del suolo a cui correlare, sulla base delle indicazioni fornite dalla letteratura scientifica, il valore di scabrezza appropriato.

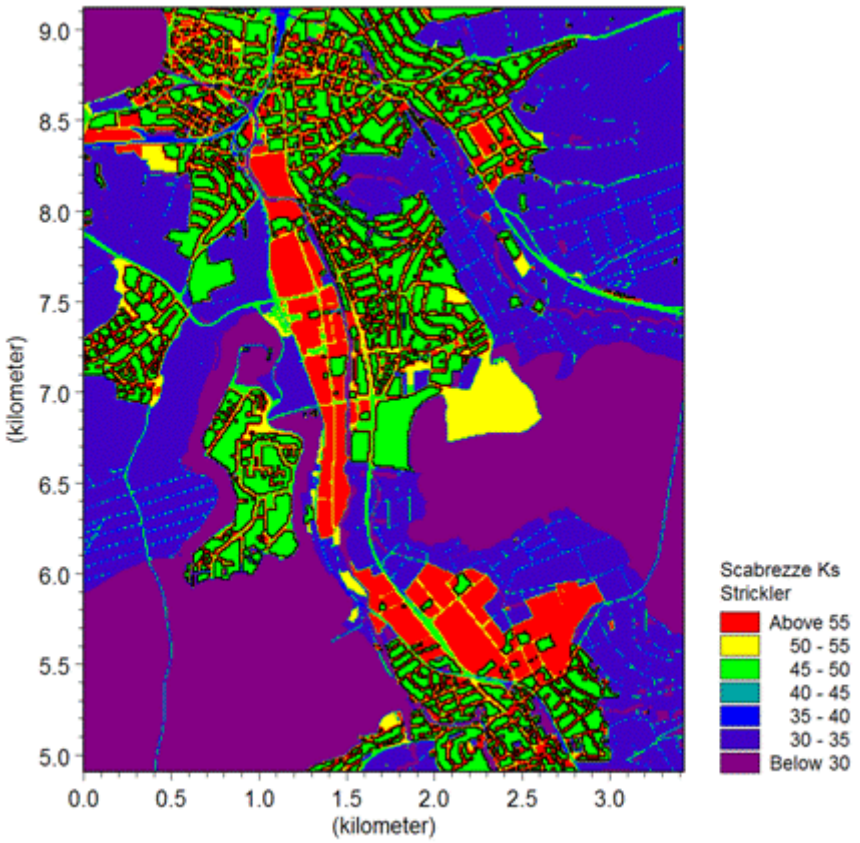


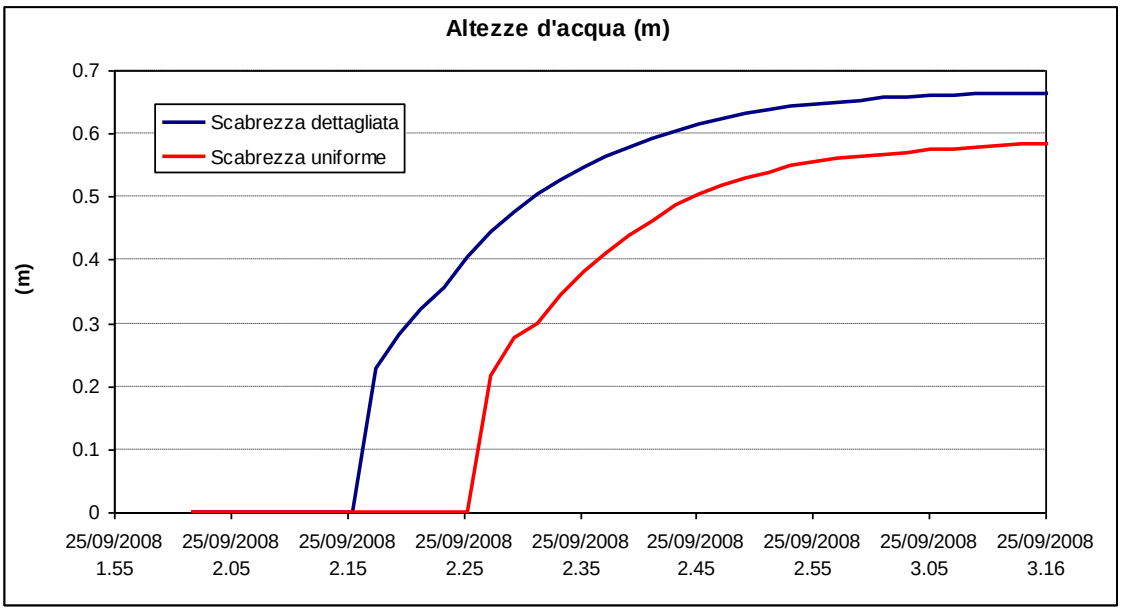
Figura 10 – Esempio di mappa delle scabrezze adottata per un modello bidimensionale.

Lo sviluppo delle tecniche satellitari ed il lancio recente di costellazioni di satelliti di nuova generazione da parte dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI – COSMO-SkyMed), stanno aprendo ulteriori scenari di utilizzo dei dati satellitari all'interno dei modelli numerici (caratterizzazione dell'uso suolo, indice vegetazionale, condizioni di antecedente bagnamento).

La scabrezza idraulica risulta peraltro il principale parametro di riferimento in fase di calibrazione di un modello idrodinamico, come presentato in dettaglio nel successivo paragrafo. In generale, i valori ottimali per tale parametro, così come la relativa variabilità planimetrica, sono da determinarsi in fase di calibrazione, in funzione dei dati di osservazione di volta in volta resi disponibili.

Come già sottolineato, la definizione ottimale del parametro di scabrezza contribuisce in modo fondamentale all'affidabilità del modello numerico, come è evidente nell'esempio seguente che riporta i risultati di una stessa simulazione bidimensionale, conseguiti sia adottando un valore medio costante di resistenza al moto su tutto il territorio urbano analizzato, sia particolareggiando il valore di scabrezza sulla base delle caratteristiche dell'uso suolo.

© DHI



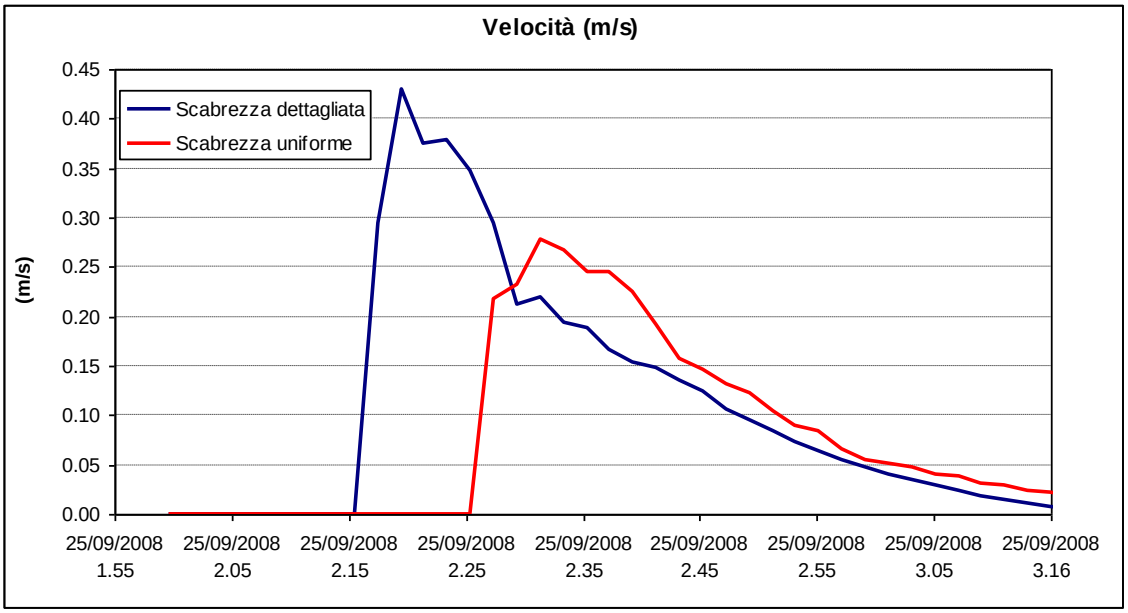


Figura 11 –Influenza del parametro scabrezza sui risultati della simulazione idraulica bidimensionale.

La figura descrive l'andamento del tirante idrico e della velocità di deflusso in un punto del dominio di calcolo (cerchio rosso sulla planimetria): nel caso specifico, la modifica della scabrezza determina uno sfasamento temporale del passaggio del picco di piena, un incremento (16%) dell'altezza d'acqua, ed un incremento (80%) delle velocità massime di deflusso. Tali variazioni possono determinare una perimetrazione delle aree a rischio significativamente differente nei due casi simulati.

© DHI

Calibrazione e validazione

La disponibilità di interfacce grafiche e di input sempre più di facile utilizzo presenta, come conseguenza negativa, il rischio di una minore attenzione alla fase di impostazione metodologica dello studio, verifica dei dati di input ed analisi critica dei risultati.

Ogni modello numerico presenta, infatti, una diversa risposta e grado di approssimazione, nonché di affidabilità dei risultati, in funzione di:

- limiti di applicabilità dello schema di calcolo adottato;
- dettaglio e qualità dei dati di input;
- corretta definizione dei parametri del modello;
- disponibilità di dati di taratura e validazione.

E' pertanto fondamentale, in fase di verifica dei risultati di una simulazione, disporre di dati di osservazione per alcuni punti del dominio di calcolo ed istanti temporali, utili a verificare la corretta rispondenza tra i dati simulati ed, appunto, osservati, al fine di accertare la corretta rappresentazione da parte del modello numerico delle fenomenologie fisiche di interesse.

In generale, le differenze fra i risultati prodotti dal modello numerico e le osservazioni sperimentali prese a riferimento possono essere essenzialmente imputate a tre fattori:

- limiti del modello matematico in riferimento alle equazioni adottate;
- carenze nella discretizzazione numerica;
- imperfetta conoscenza delle condizioni iniziali ed al contorno e mancata o carente calibrazione dei parametri del modello.

La calibrazione del modello rappresenta quindi una delle fasi più delicate del processo di implementazione di un modello numerico, anche per la mancanza (in particolare per quanto riguarda la modellazione in ambito fluviale), di vere e proprie linee guida per la realizzazione di una "buona" taratura.

Il grado di accuratezza nella calibrazione di un modello è senz'altro dipendente dalla finalità di utilizzo dei relativi risultati nonché del grado di dettaglio richiesto, variando pertanto da un caso applicativo ad un altro: l'esperienza del modellista è l'elemento in più per poter decidere quando la taratura è ritenuta sufficiente o quando proseguire nello sforzo di migliorare la performance del modello in termini di rispondenza tra i dati osservati e simulati.

Occorre poi sottolineare come rimanga di fondamentale importanza la qualità del modello stesso (possibilmente basato su pochi e fisicamente basati parametri di taratura) e dello schema geometrico adottato, il più corrispondente alla reale dinamica del processo fisico e non limitato al solo moto monodimensionale: infatti, se i parametri del modello sono in numero consistente, per mezzo di un procedimento di taratura è normalmente possibile ottenere una buona aderenza dei risultati alle osservazioni prese a riferimento, nascondendo carenze di rappresentazione del modello matematico.

Su tale materia paiono illuminanti le parole di M.B. Abbot: "*All too many examples exist where the calibration procedures have been used to cover over and mask gross misrepresentations of the physical realities of a modelled situation, so that the resulting model, although apparently 'well calibrated', is of little or no use for predictive purposes."* (Abbot, 1999).

E' comunque sempre opportuno e consigliato, per non dire obbligatorio, procedere ad una taratura dei parametri principali del modello ed in particolare, per un modello bidimensionale, il coefficiente di

© DHI

scabrezza in alveo e nelle aree golenali.

Al termine della fase di calibrazione il modello dovrebbe essere sottoposto ad una seconda fase di verifica, definita come **processo di validazione**. Durante tale fase la funzionalità del modello deve essere verificata simulando un ulteriore evento sperimentale, possibilmente con caratteristiche differenti rispetto ai dati utilizzati per la taratura, evitando in questo modo di avere un modello estremamente performante su un'unica tipologia di evento ma scarsamente flessibile nella rappresentazione di diverse condizioni di piena.

Nella realtà operativa la carenza di dati sperimentali (livelli e portate), in particolar modo relativi ad eventi di piena analoghi a quelli oggetto di studio, rappresenta spesso la normalità: anche in questo caso l'esperienza applicativa, il know-how tecnico ed il livello qualitativo del modello numerico rappresentano un valore aggiunto di significativa rilevanza.

Presentazione dei risultati

L'utilizzo di un modello idrodinamico bidimensionale per la simulazione di un evento di piena è generalmente volto alla rappresentazione delle condizioni di moto in termini di tirante idrico e di velocità della corrente sulle aree soggette a possibili allagamenti.

A seconda del caso di studio, l'analisi dei risultati può essere focalizzata maggiormente sulle variabili idrodinamiche (supporto alla progettazione, studi di dettaglio, ...) o sulla mappatura delle aree allagabili e la conseguente definizione del rischio idraulico (combinazioni dei valori di livello e velocità).

I risultati di un'applicazione numerica di questo tipo possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dei modelli utilizzati; in questa fase di utilizzo del modello numerico è essenziale l'integrazione con l'ambiente GIS: la gestione, interrogazione ed elaborazione dei file di output del codice di simulazione numerica deve poter sfruttare le potenzialità delle piattaforme GIS.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale per la descrizione della propagazione della piena permette di conoscere non solo l'intensità del fenomeno ma anche la direzione ed il verso del vettore velocità in ogni punto dell'area di studio.

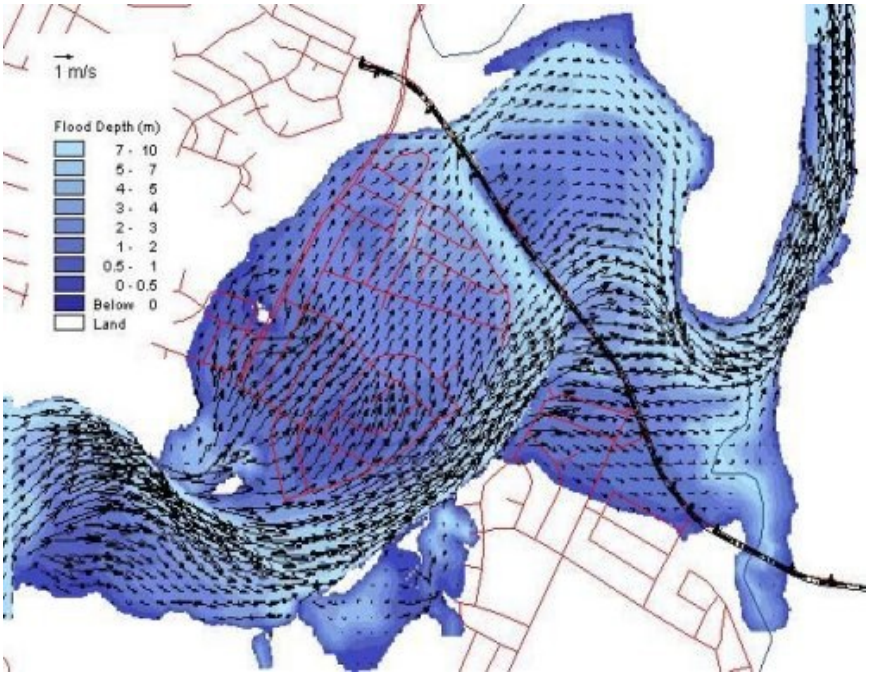


Figura 12 – Esempio di rappresentazione delle condizioni di deflusso in un'area allagabile con approccio bidimensionale; livello idrico e vettore delle velocità di deflusso.

© DHI

All’interno del campo di moto è infatti possibile rappresentare la distribuzione dei vettori delle velocità che mettono in evidenza la direzione di propagazione della piena sul territorio e lo scambio biunivoco di portata tra alveo e piano campagna.

Le potenzialità ed efficacia dei codici di simulazione bidimensionale risiedono soprattutto nella possibilità di rappresentare nel loro complesso le fenomenologie fisiche che caratterizzano un determinato evento oggetto di studio: la possibilità di visualizzare in modo combinato velocità di deflusso ed altezze d’acqua in alveo, la differenza rispetto le quote spondali od arginali. A testimonianza della capacità dei modelli numerici oggi disponibili di rappresentare in dettaglio dinamiche di deflusso complesse, si riporta l’esempio presentato nelle immagini a seguire, relativo ad un corso d’acqua di dimensioni limitate che defluisce in un’area urbana. In corrispondenza dell’imboccatura della copertura di cui alla Figura 13 a, in condizioni di piena, le acque del rio non trovano più completo recapito in alveo esondando lateralmente sul piano stradale in sponda destra. Gli stessi volumi possono però poi rientrare nell’alveo nel tratto a valle della copertura presentato nella Figura 13 b.

Tale dinamica viene rappresentata correttamente dal modello di simulazione, nel caso specifico basato su una schematizzazione integrata mono e bidimensionale, come evidenziato nella successiva Figura 14 in cui il deflusso avviene dall’alto verso il basso dell’immagine.

Figura 13 a e b – Imbocco della copertura e tratto a valle della stessa.

© DHI

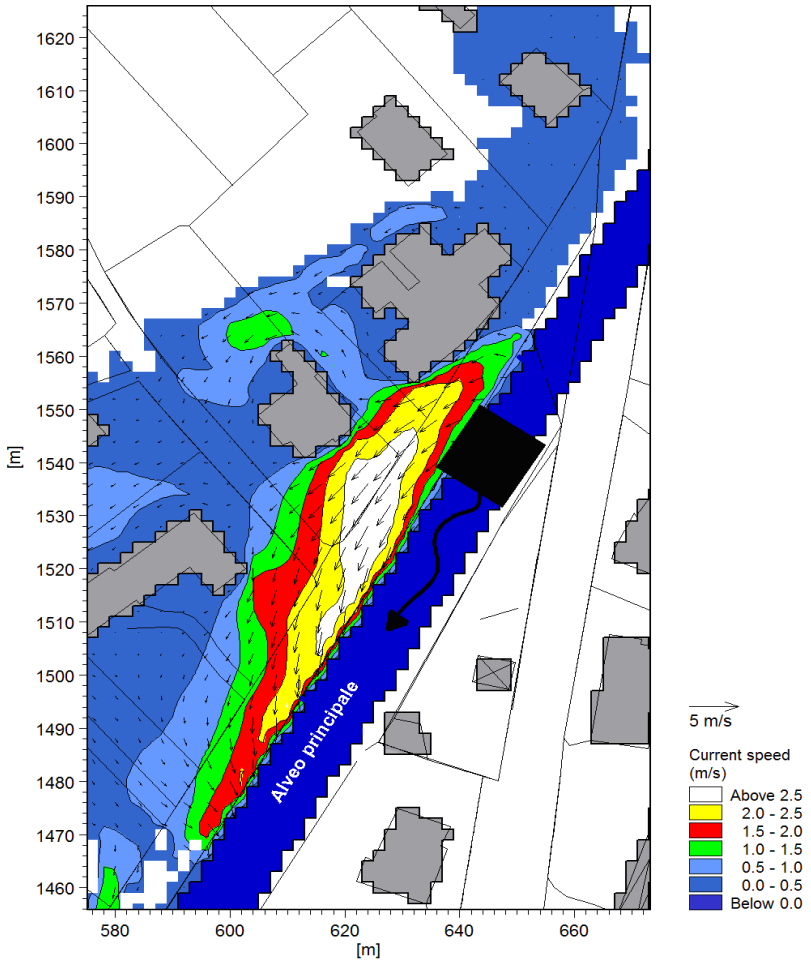


Figura 14— Distribuzione del campo di deflusso in corrispondenza del tratto coperto, evidenziato in colore nero.

I codici di simulazione del dhi

Pur facendo prevalentemente riferimento ad analisi di rischio idraulico per eventi estremi, il presente documento tecnico consente di evidenziare due concetti di particolare importanza sul ruolo dei codici di simulazione numerica ai nostri giorni nel campo dell'"ingegneria delle risorse idriche".

Da un lato la sempre crescente importanza dei codici di simulazione numerica in tutte le attività di studio e supporto alla progettazione, conseguente ai recenti indirizzi normativi che, ad ogni livello, richiedono sempre più un approccio di tipo deterministico e quantitativo, quindi numerico, rendendo i modelli uno strumento da cui non si possa più prescindere.

Dall'altro l'elevato livello di affidabilità ormai raggiunto sia in termini di approccio metodologico sia di performance dei codici di simulazione stessi nella rappresentazione delle diverse fenomenologie sia di tipo quantitativo sia qualitativo.

Dagli invasi in quota ai corsi d'acqua, dalle falde alle lagune, dalla costa all'offshore, dalle reti di distribuzione agli impianti di trattamento, i codici di simulazione numerica hanno infatti ormai raggiunto una robustezza tale da poter essere adottati come standard metodologico nell'affrontare ogni tipologia di studio.

Frutto di sviluppo e continuo aggiornamento da più di 30 anni, in questo quadro, la famiglia dei codici di simulazione del DHI rappresenta a pieno titolo l'insieme più completo e diffuso a livello globale per la simulazione di tutte le fasi del ciclo dell'acqua, includendo i processi quantitativi quanto gli aspetti ambientali ed idro-ecologici.

© DHI

Sia sul piano internazionale, sia nel nostro paese, assistiamo oggi ad una crescente diffusione dei codici di simulazione numerica sviluppati dal DHI in attività di studio, supporto alla progettazione, valutazione d'impatto ambientale, analisi di rischio, previsione e gestione degli stati idrologici estremi, previsione degli stati di mare, ecc…

La comunità di utilizzatori dei codici di simulazione del DHI comprende oggi circa 400 soggetti appartenenti a primarie organizzazioni private, soggetti istituzionali, università ed enti di ricerca, in collaborazione con i quali DHI Italia che opera da circa 10 anni quale vero e proprio Partner Tecnologico, offrendo la propria assistenza in fase di impostazione del progetto e dell'approccio modellistico, verifica della schematizzazione e dei parametri e finalizzazione dello studio.

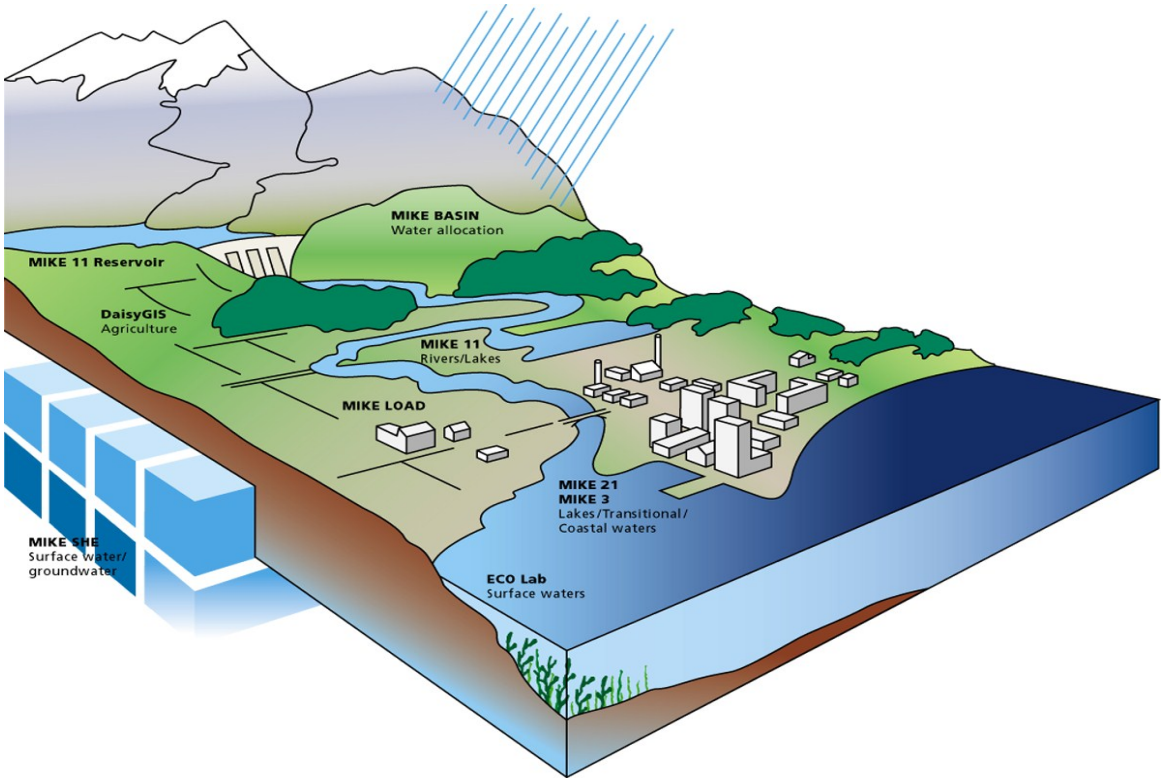


Figura 15—Insieme dei codici di simulazione del DHI, in grado di coprire tutte le fasi del "ciclo del'acqua".

© DHI

INDICE

- **L'importanza dell'approccio modellistico - numerico**
- **La modellistica numerica per fiumi e canali**
- **Approccio metodologico e schemi di calcolo disponibili**
- **Impostazione di un modello bidimensionale per simulazione di piena**
    - Acquisizione dei dati topografici e specifiche di rilievo
    - Definizione del dominio di calcolo
    - Definizione della scabrezza idraulica
    - Calibrazione e validazione
    - Presentazione dei risultati
- **I codici di simulazione del DHI**

E' indubbio che i codici di calcolo, veri e propri "motori" di simulazione e gestione idro-informatica, costituiscano l'oggetto e lo strumento principale di molte attività di studio, ma è anche estremamente chiaro come tutto, nell'applicazione modellistica, sia più complesso del solo software, e come le impostazioni, le condizioni di progetto, la qualificazione professionale disponibile, l'organizzazione e altri aspetti specifici siano altrettanto importanti. Ed è proprio in relazione a questi aspetti che si concretizza il valore aggiunto offerto dallo staff di DHI Italia ai propri interlocutori, grazie alla pluriennale esperienza maturata specificamente nello sviluppo di progetti di formazione ed applicazione idro-informatica esclusivamente nel settore idrico.

A quest'ultimo proposito assume un ruolo strategico WAT-MET, progetto che mira a promuovere qualità ed efficacia nelle applicazioni dei codici di calcolo nonchè nelle strategie di gestione delle acque superficiali, sotterranee e dell'ambiente marino-costiero. Tutte le attività di WAT-MET sono progettate e sviluppate in stretta collaborazione tra tecnici esperti, utilizzatori dei codici di calcolo, rappresentanti del mondo istituzionale, della consulenza e della ricerca, nell'ottica di definire specifiche sinergie e standard applicativi, accertare la sostenibilità dei diversi approcci e favorire il consenso.

© DHI

DHI ITALIA
Via Pomba, 23
10123 TORINO
ITALY

tel. +39 011 56 24 649
fax +39 011 56 20 620

© DHI