

Valutazione del rischio alluvionale: integrazione tra GIS e modelli numerici

Assessment of flooding hazard: coupling GIS and numerical models

DE AMICIS M. (*)

RIASSUNTO - L'utilizzo di un modello di flusso bidimensionale, il *software* olandese *Sobek Delft-FLS*, ha permesso di simulare diversi scenari d'inondazione tenendo in considerazione non solo i parametri idrologici ma anche quelli fisici, geologici, meteorologici e, non ultimi, quelli antropici dell'area in esame. L'approccio del lavoro si colloca, quindi, a metà tra la modellizzazione degli effetti di un possibile evento alluvionale in termini di danno o rischio e quella delle cause che possono scatenarlo (precipitazioni straordinarie, aumento superfici impermeabili, ecc.)

L'area di studio è ubicata nella piana alluvionale dell'Adige, sede di uno sfruttamento intensivo del territorio, con aree urbane, industriali, infrastrutturali, riserve naturali e zone agricole.

Al fine di generare scenari di simulazione, è stato costituito un *database* spaziale in ambiente GIS. Un ruolo fondamentale è dato dal Modello Digitale del Terreno (DTM) fornito dalla Provincia Autonoma di Trento, al quale sono stati aggiunti i tracciati e le sezioni relative alla nuova strada. Gli elementi raccolti sono stati georeferenziati in mappe *raster*, necessarie alla visualizzazione delle quote del rilevato autostradale, degli argini dell'Adige e della nuova arteria stradale; le due mappe così ottenute sono state sovrapposte e quindi aggiunte al DTM.

Dalla modellizzazione effettuata dell'area di studio, è stata ottenuta una serie di indicatori che possono svolgere una duplice funzione: da una parte sono informa-

zioni che descrivono scientificamente la piena, dall'altra rappresentano un dato chiaro e decifrabile anche da non esperti della materia.

PAROLE CHIAVE: GIS, DTM, modelli di flusso bidimensionali, inondazioni, indicatori.

ABSTRACT - Large-scale modifications of terrain topography – like the construction of a new motorway – may affect the surficial drainage and the flood-propagation characteristics in case of a flooding event. Especially in flood-prone environments, human artefacts can increase or decrease the risk of a given event by compartmentalising the floodplain. The effects of changes in topography on flood propagation characteristics can be simulated by using a two-dimensional finite difference model. Such simulations, made during the planning and designing stage of a project, may show if and when flood characteristics are changed by the new construction and if these changes indicate a decrease or an increase of flood risk for those living and working in the affected area.

This approach is illustrated by a real case study in the valley of the Adige river northward of Trento (Italy) where a new motorway is planned. On the alluvial plain the scarce space is claimed for urban areas, industrial sites, infrastructure and agricultural activities. Even though constrained in its activity (and space) by dikes on either side, the highly dynamic Adige still

(*) Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Milano - Bicocca

poses a threat for those living on the plain.

For the simulations, the flood propagation model Sobek Delft-FLS was applied to various terrain models, that included the proposed scenarios for the lay-out of the new motorway. The recent development of powerful flood-propagation models that can be applied to complex digital elevation models (DEM), allow to forecast the effects of new elevated structures on the flooding processes. Starting from the proposition that human land-cover alterations can be translated in changes of the DEM and of the surface friction coefficients, the new flood propagation characteristics can be calculated, such as: the maximum height of the flood at a specific location at a certain time, water level rising and the flow-velocity. Together with the season in which the flood occurs and the duration of the event, these flood characteristics will have different effects on the various types of land-use. With these models it is now possible to compare pre-project and the post-project impact to show which areas benefit (where impact decreases) and where impact increases. The method can also be used to aid designing mitigation measures

KEYWORDS: GIS, DTM, 2D flow models, floods, indicators.

1. - INTRODUZIONE

Per molte e svariate ragioni, le principali infrastrutture viarie, autostrade e ferrovie, vengono costruite sulle pianure alluvionali mediante strutture in rilevato. Se da un lato questa scelta difende sicuramente l'opera dalle piene degli alvei di fondo valle, molto più raramente si tiene conto dell'effetto che la presenza del rilevato crea sulla propagazione della piena stessa. La creazione di barriere può isolare piccole porzioni di territorio che possono essere così colmate dalle acque di piena molto più velocemente, arrivando a livelli non raggiungibili in assenza della nuova infrastruttura viaria. Allo stesso modo la presenza di una barriera può proteggere alcune aree dirottando il flusso delle acque verso altre zone che magari non sarebbero mai state raggiunte. Altro effetto da considerare è la presenza di stretti passaggi, come ad esempio i sottopassi e/o i viadotti in corrispondenza dei quali si genera un incremento della velocità delle acque di piena, riuscendo così a recare dei danni in zone in precedenza considerate "sicure".

Quando si progettano opere di questo tipo si dovrebbe da tenere in debito conto il cambiamento apportato all'assetto territoriale. In particolare sarebbe sempre opportuno poter confrontare varie alternative in modo da verificare l'effetto di ognuna di esse sul territorio, così da poter valutare se i cambiamenti apportati conducano ad un peggioramento o ad un miglioramento dei potenziali rischi da inondazione.

Risulta quindi utile e necessario modellare queste situazioni e quindi fornire indicazioni non solo per sapere dove arriverà il livello dell'acqua ma anche quando ciò potrà avvenire e con quale velocità. In altre parole deve essere possibile rappresentare la distribuzione spaziale della propagazione della piena e contemporaneamente ottenere indicazioni su alcune componenti temporali (velocità, tempo di arrivo, ecc.). Per tali ragioni i modelli da utilizzare devono poter prevedere come il flusso delle acque si propaghi nella piana alluvionale in funzione delle caratteristiche morfologiche del territorio e quindi valutare come e dove i rilevati delle infrastrutture viarie possano interferire con il sistema di flusso naturale. Essendo necessario disporre di una grande quantità di dati territoriali, è necessario generare e gestire dei *database* spaziali in ambiente GIS in modo da predisporre i dati da usare come *input* del modello. Inoltre, il modello prevede come *output* una serie di mappe *raster* (BATES & DE ROO, 2000), GIS compatibili, che vanno ad integrare i *database* permettendo quindi la visualizzazione e la possibilità di consultazione dei risultati della modellazione anche per i non esperti, quali ad esempio i decisori politici.

2. - L'APPLICAZIONE DEI MODELLI NUMERICI

Esistono due approcci principali nella modellizzazione delle alluvioni (DHONDIA & STELLING, 2002). Il primo cerca di descrivere le cause che generano il fenomeno alluvionale in modo da definirne l'intensità; il secondo analizza il fenomeno alluvionale in modo da valutarne gli effetti in termini di danno, pericolosità e rischio. Il primo approccio corrisponde allo studio idrologico in senso classico, dove si prevede l'analisi della risposta di un bacino idrografico a un evento meteorologico estremo. In tale modello si prevede la portata e l'andamento della curva di piena attraverso la modellazione dei vari fattori che caratterizzano il bacino (HERVOUET *et alii*, 1994). In sostanza tale approccio cerca di valutare come e quando si verificherà una piena.

Il secondo tipo di approccio studia le modalità e le caratteristiche di propagazione della piena e si basa sul presupposto che esiste sempre una probabilità che una piena avvenga, in quanto si tratta di un normale evento nella dinamica di un corso d'acqua. Partendo

da questo presupposto, un evento alluvionale diventa problematico solamente quando interferisce con le attività umane. Per tale ragione vengono, di solito, costruiti argini dove si vuole contrapporre una difesa all'azione distruttiva delle acque. Gli argini, anche se molto alti, non danno una garanzia totale di difesa, ma servono solo ad aumentare il limite che l'acqua deve oltrepassare per riuscire ad inondare il territorio. Ciò che interessa verificare è la modalità con cui il flusso delle acque si manifesta in queste aree durante un'alluvione e quali possono essere le modificazioni al flusso indotte dalla costruzione di nuove opere (ALKEMA *et alii*, 2001a). Ogni modificazione apportata dall'uomo all'ambiente può, in questo senso, interferire con la circolazione delle acque superficiali in occasione di eventi di piena, ed è, pertanto, necessario studiare quali potrebbero essere gli eventuali effetti da queste prodotti.

Le tecnologie sviluppate di recente hanno facilitato enormemente lo sviluppo di modelli per la descrizione della propagazione di inondazioni attraverso pianure alluvionali, zone di costa e aree urbane, facilitando così la previsione di eventi alluvionali e lo sviluppo di piani di intervento e di evacuazione. Tali modelli possono essere basati su domini monodimensionali (1D), bidimensionali (2D) o sull'accoppiamento di entrambe le schematizzazioni (1D2D). Poiché i modelli 2D non sono adatti alla descrizione del flusso attraverso strutture idrauliche, vengono utilizzate, in aggiunta, strutture 1D, in modo da ottenere una descrizione più soddisfacente (HORRITT & BATES, 2002). Queste applicazioni offrono la possibilità di capire meglio i fenomeni alluvionali, grazie a previsioni più accurate e ad una migliore progettazione e permettono al modello di avvicinarsi sempre di più alla realtà fisica.

I modelli che soddisfano maggiormente queste caratteristiche sono quelli di flusso bidimensionali e in letteratura se ne conoscono diversi. Tra questi è opportuno ricordare: *MIKE2* (ABBOTT & PRICE, 1994), *TELEMAC-2D* (HERVOUET & JANIN, 1994), *DELFT FLS 2.47 - SOBEK 2D - Overland Flow* (STELLING *et alii*, 1998). Tutti questi modelli, ad eccezione di *Telemac-2D*, necessitano di dati in formato raster (celle a maglie quadrate) e di un modello digitale del terreno.

Il modello utilizzato per l'applicazione al caso di studio è il *SOBEK*. Si tratta un modello matematico di tipo misto mono-bidimensionale che consente di realizzare simulazioni di eventi di piena, accoppiando elementi mono-

dimensionali (con cui possono essere schematizzati i corsi d'acqua) ed elementi bidimensionali (cui corrispondono le superfici a fianco dei corsi d'acqua, il dominio in cui si riversano le acque nel caso di sormonto arginale). Esso, inoltre, consente di simulare il comportamento della rete idrica in condizione di piena eccezionale e di schematizzare e rappresentare fedelmente il fenomeno del sormonto arginale, con il successivo allagamento dei territori circostanti. I dati necessari sono un modello digitale del terreno molto dettagliato, una serie storica di dati di portata e di altezza, per poter definire la relazione portata-altezza dell'acqua, e la localizzazione del punto di rottura dell'argine. Parametri opzionali sono la carta del coefficiente di rugosità e la carta di infiltrazione del suolo.

Caratteristica di questi modelli bidimensionali è la loro interfacciabilità con i GIS in quanto uno dei prodotti di output del modello sono una serie di mappe bidimensionali rappresentanti alcuni parametri fisici (altezza dell'acqua, velocità, ecc.) ad un determinato tempo. I risultati del modello diventano quindi delle mappe tematiche che possono essere inserite nel geodatabase e utilizzate congiuntamente agli altri dati per produrre carte tematiche. Ciò è molto importante per rendere di facile comprensibilità e consultazione i risultati delle simulazioni potendoli rappresentare anche secondo le classiche convenzioni cartografiche, cosa che invece molte volte è difficile da eseguire con molti modelli numerici.

3. - L'AREA DI STUDIO

L'area di studio è situata tra Trento e Mezzolombardo (fig. 1), nella media valle dell'Adige, ed è una zona con precise e peculiari caratteristiche sia urbanistiche che geografiche (ALKEMA *et alii*, 2001b). Dal punto di vista strategico la valle dell'Adige è il corridoio primario di collegamento tra Italia e Centro Europa; il suo assetto territoriale è caratterizzato da un uso intensivo del suolo tanto che nessun metro quadro di terreno risulta incolto o non occupato da zone urbane e/o industriali. Per di più nell'area vi è la produzione di vino DOC e di mele ad altissima redditività. Dal punto di vista morfologico l'area è caratterizzata da pareti rocciose molto ripide ai fianchi della valle e dalla imponente presenza del Fiume Adige; ciò la rende particolarmente esposta ad alcuni processi geomorfologici talora generatori di ri-

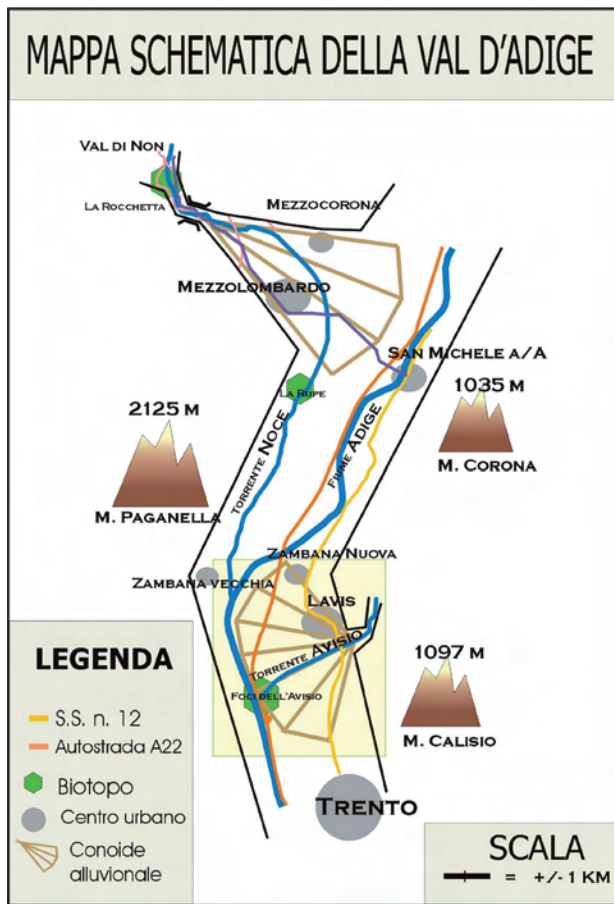


Fig. 1 - Inquadramento dell'area di studio.
- Location of the study area

schio quali ad esempio frane e alluvioni, come ampiamente confermato da quanto avvenuto storicamente.

In questo complesso contesto urbanistico ambientale è emersa la necessità di migliorare i collegamenti tra il capoluogo e la Valle di Non, ora possibili solamente attraverso una strada statale non è più in grado di sopportare il traffico esistente. Infatti, l'uso prevalente della rete ferroviaria e autostradale per i trasporti internazionali, avendo spostato tutto il traffico locale sulla rete secondaria, ha determinato in quest'ultima diversi punti critici, sia per quanto riguarda la circolazione, sia per quanto riguarda le condizioni di vita degli abitanti.

I comuni interessati hanno cercato più volte di trovare una soluzione a questi problemi soprattutto attraverso la pianificazione prevista nei piani Regolatori Comunali. Successivamente, la Provincia Autonoma di Trento (PAT) ha pensato che non fosse opportuno lasciar risolvere il problema ai diversi comuni in modo autonomo ma che la soluzione migliore fosse piuttosto quella di costruire una nuova

arteria stradale da Trento Nord a Mezzolombardo, cercando di essere il meno possibile invasivi sul tessuto territoriale.

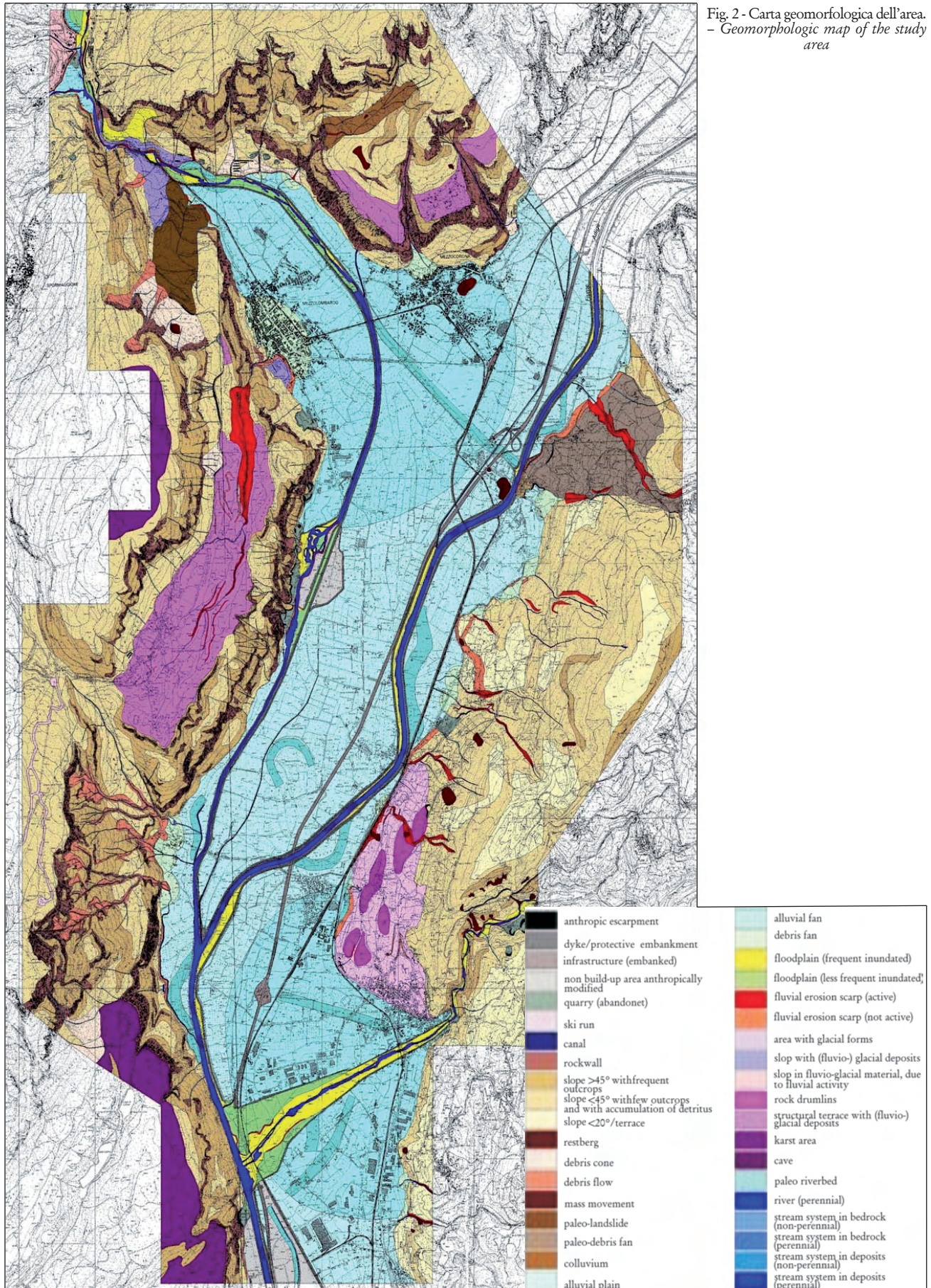
4. - I DATI UTILIZZATI

Tutti i dati territoriali sono stati raccolti presso gli enti pubblici (Provincia Autonoma di Trento, comuni e comunità montane) al fine creare un *database* geografico organico e multidisciplinare dal quale poter, successivamente, estrarre informazioni che servissero come *input* per la modellistica. Lo studio storico bibliografico di documenti pubblici, necessario per individuare tutti gli eventi alluvionali avvenuti nel passato, è stato effettuato dal CNR-IRPI di Torino (LUIÑO, 2000).

I dati acquisiti dalla P.A.T. e inseriti nel *database*, sono stati poi stati integrati con rilievi campagna che hanno portato alla stesura di una carta geomorfologica (ALKEMA *et alii*, 2003; fig. 2).

L'analisi dei processi geomorfologici permette di individuare i punti deboli dell'alveo fluviale, quelli cioè più facilmente soggetti a rottura. Altri punti critici, contraddistinti dai massimi livelli di erosione dovuti alla maggiore velocità dell'acqua, sono stati inoltre individuati in base anche a considerazioni idrodinamiche. Secondariamente, dalla carta geomorfologica è stata derivata una mappa indicativa dell'infiltrabilità, assumendo che le unità geomorfologiche aventi la stessa genesi possedano identiche proprietà idrologiche. Questa carta permette di fornire indicazioni sui rapporti esistenti tra acque superficiali e sotterranee.

I modelli di flusso bidimensionali, a differenza di quelli monodimensionali che hanno necessità di conoscere solo le dimensioni dell'alveo, necessitano di modelli di elevazione del territorio sul quale far scorrere l'acqua: i modelli digitali del terreno (DTM) (GOURBESVILLE, 2001). Il risultato finale della simulazione e, di conseguenza l'utilizzo stesso dei risultati, è fortemente influenzato dalla qualità e dall'accuratezza dei DTM. In particolare è necessario che vengano ben rappresentati l'elevazione rispetto al suolo di tutti quegli elementi antropici (rilevati, sottopassi, ponti, edifici, ecc.) solitamente ignorati nella rappresentazione delle quote tramite curve di livello. Anche i DTM che vengono oggi distribuiti dalle regioni ignorano tali elementi. È quindi necessario produrre autonomamente modelli digitali della superficie del terreno mediante tecnologie specifiche (altimetria laser) oppure integrare quelli già disponibili



con le informazioni opportune.

Dato che per l'area di studio era disponibile un DTM fornito dalla P.A.T. con dimensione del *pixel* 10 m, si è provveduto ad integrarlo con le sezioni trasversali del Fiume Adige derivate dai rilievi dell'Autorità di Bacino (fig. 3), con le altezze degli edifici ad uso civile ed industriale (dalla cartografia comunale in scala 1:2.000), con le infrastrutture viarie e ferroviarie (quota e dimensione del rilevato) e con alcuni elementi tratti dal rilevamento geomorfologico (morfologia dei terrazzi fluviali). L'integrazione tra il DTM della P.A.T. e le informazioni aggiuntive è stata resa possibile solo tramite l'impiego di un sistema GIS.

Dato l'altissimo grado di accuratezza del modello FLS, è stata necessaria una laboriosa e lunga fase di taratura del DTM nella quale sono stati corretti, anche manualmente, tutti quei *pixel*, relativi soprattutto agli argini dell'Adige, che presentavano forti differenze di elevazione rispetto ai *pixel* limitrofi.

A partire dalla carta dell'uso del suolo, ricavata da immagini da satellite (GENELETTI, 2000) è stata derivata la carta del coefficiente di rugosità di MANNING, che rappresenta la misura della

resistenza che la copertura del suolo esercita nei confronti del flusso dell'acqua.

La carta dell'infiltrabilità, ricavata come già detto dalla carta geomorfologica, viene utilizzata per valutare la perdita di acqua superficiale a causa dell'infiltrazione nel sottosuolo che quindi rappresenta una piccola percentuale del bilancio idrico di ogni cella.

Per quanto riguarda la portata del Fiume Adige, si sono utilizzati i dati forniti dalla P.A.T. con i quali si è costruita la curva portate altezze ($Q - h$) in varie sezioni dell'alveo. Sinteticamente i dati necessari al modelli possono essere così riassunti (fig. 4):

- 1 - un modello digitale del terreno (DTM) dettagliato e accurato;
- 2 - le curve $Q-h$ delle stazioni di misura (almeno due);
- 3 - delle serie di valori di portata e di livello dell'acqua;
- 4 - ubicazione dei punti di rottura o di esondazione/tracimazione;
- 5 - una mappa della rugosità del suolo;
- 6 - una mappa dell'infiltrabilità.

Le carte ai punti 5 e 6 sono opzionali, mentre le altre sono indispensabili.

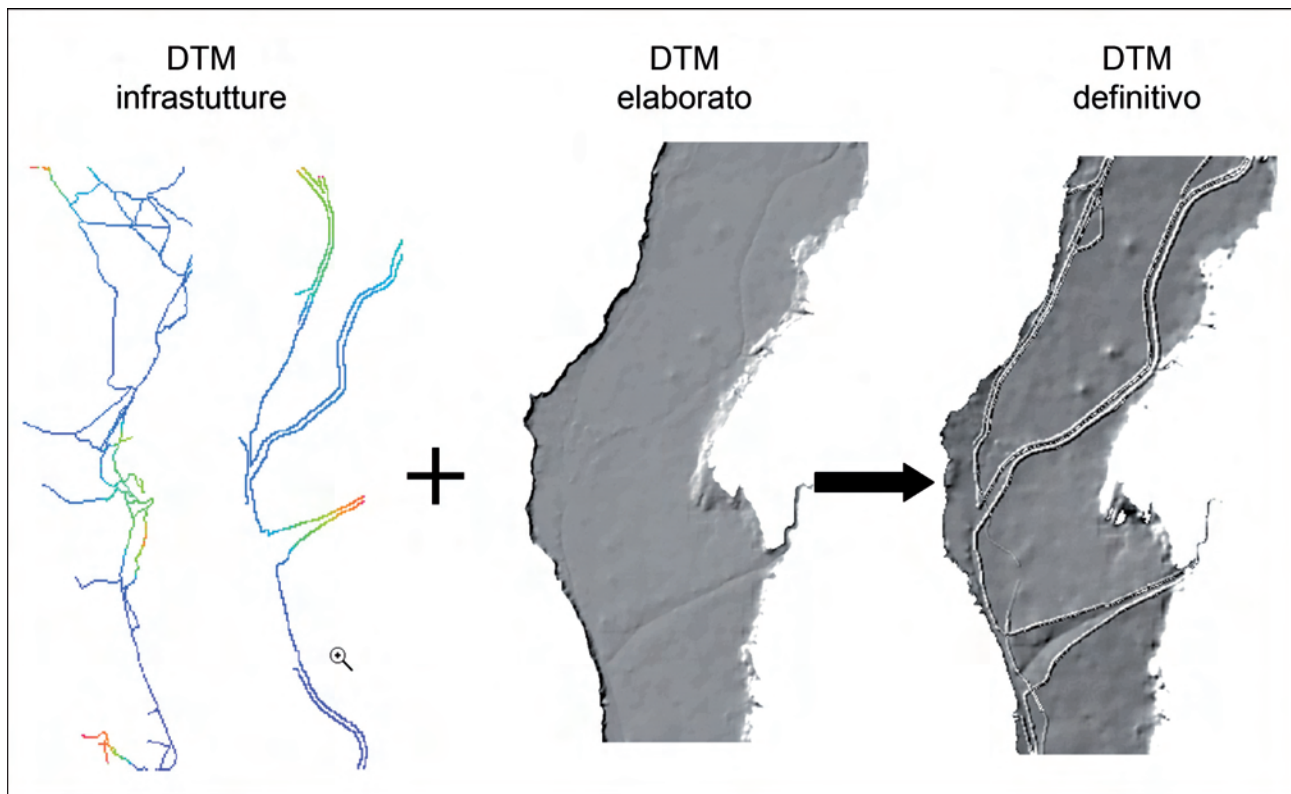


Fig. 3 - Modalità di costruzione del DTM dettagliato.
- Creation of the detailed DTM.

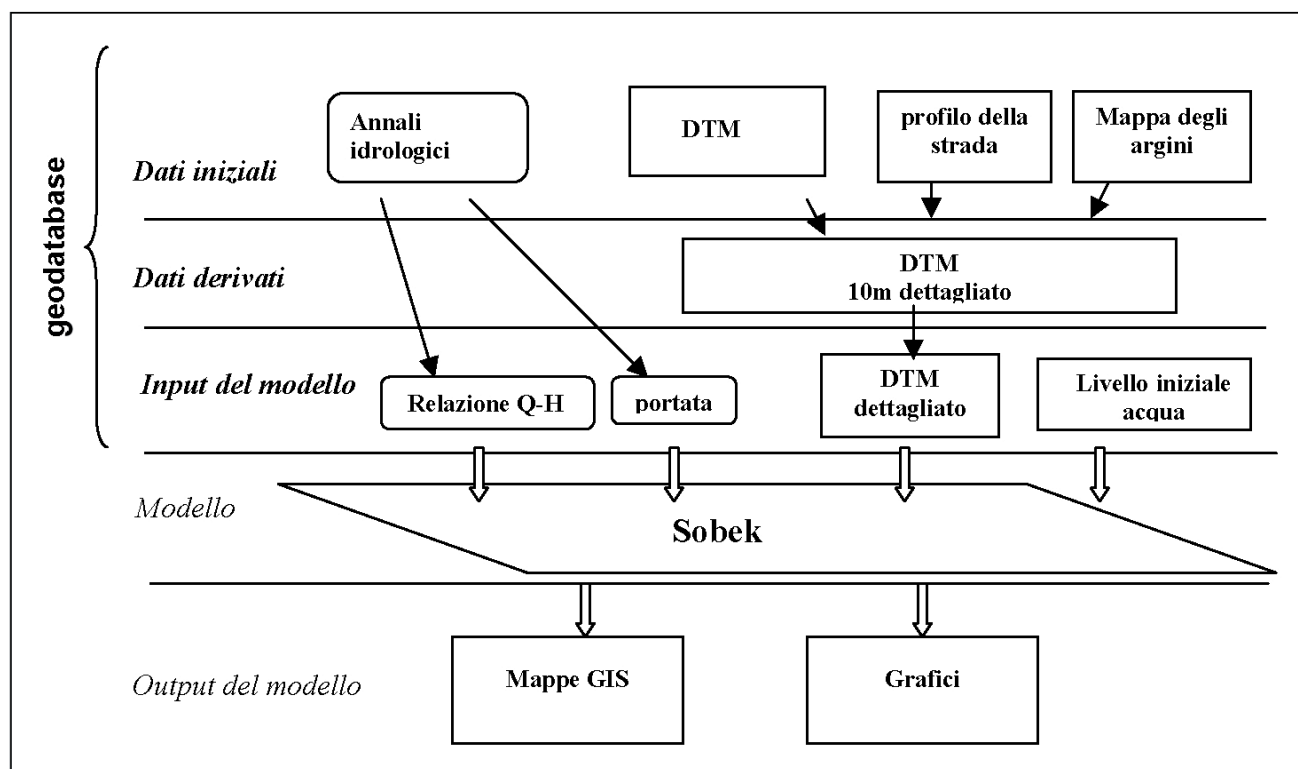


Fig. 4 - Schema concettuale del modello.
- Conceptual framework of the 2D model.

5. - APPLICAZIONE DEL MODELLO

Lo scopo delle simulazioni effettuate è stato quello di prevedere l'andamento di un'inondazione in relazione alla geomorfologia del territorio. In particolare, si è cercato di creare diversi scenari di esondazione mediante la simulazione della rottura degli argini fluviali in corrispondenza dei punti risultati critici da un confronto con la carta geomorfologica dell'area di studio.

Attraverso l'analisi congiunta dello studio storico del CNR e della carta geomorfologica, sono state individuate delle zone "critiche", nelle quali cioè risulta più probabile la rottura dell'argine (fig. 5).

Esse sono:

- 1 - la confluenza di due fiumi;
- 2 - la presenza di paleoalvei;
- 3 - i punti in prossimità di curve del fiume dove l'acqua raggiunge una notevole velocità di scorrimento e dove è quindi massimo il livello di erosione;
- 4 - i punti dell'alveo in cui storicamente sono già avvenute rotture.

Per quanto riguarda l'ultimo punto, particolare rilevanza è stata attribuita alle informazioni storiche raccolte sull'alluvione del 1966,

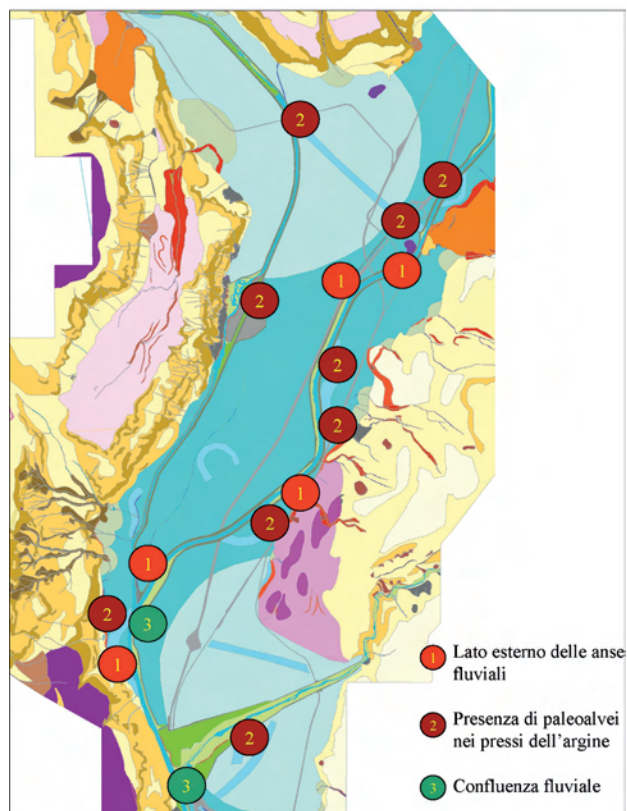


Fig. 5 - Individuazione dei punti di più probabile rottura dell'argine.
- Dike failure hazard map.

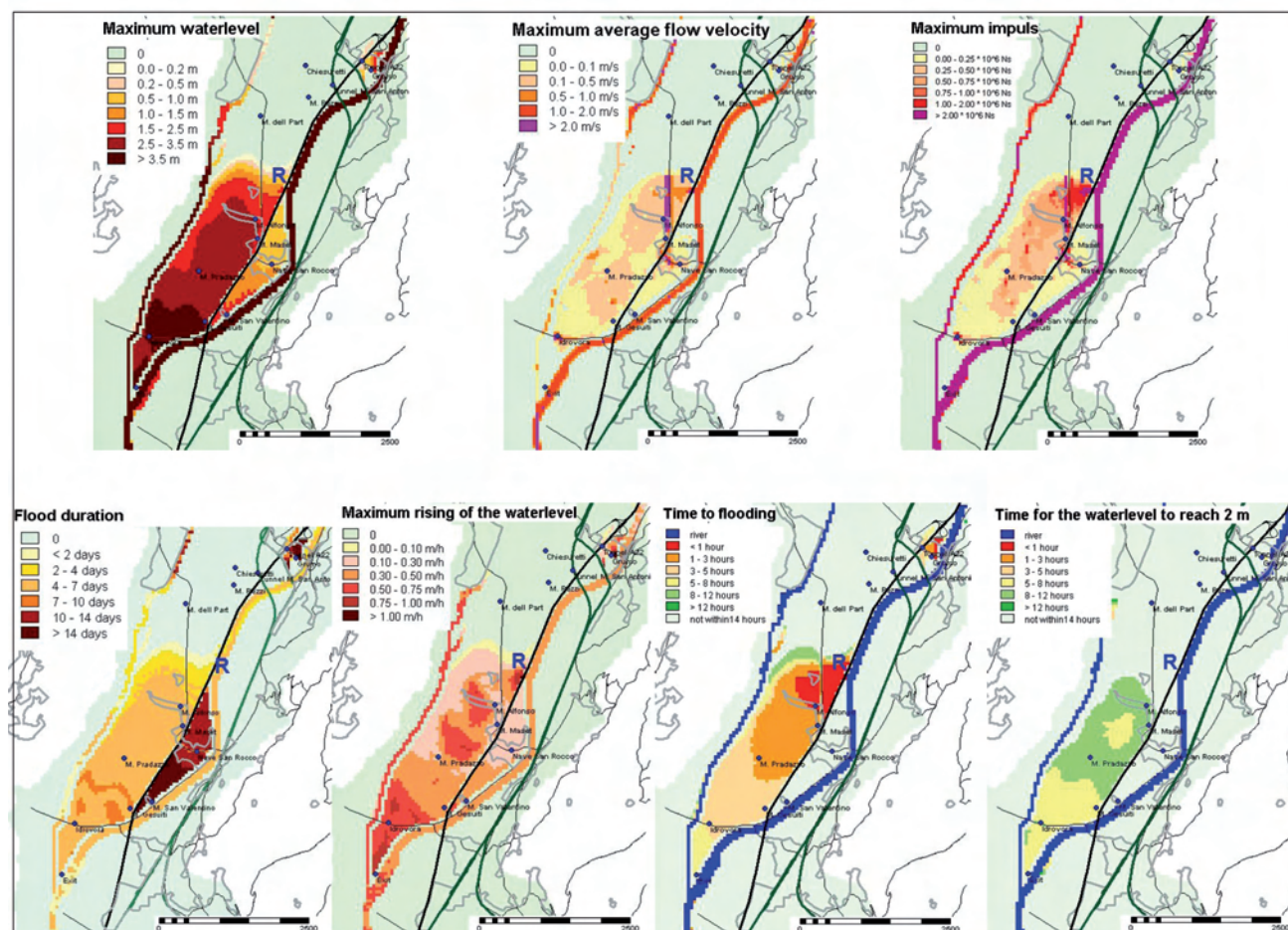


Fig. 6 - Esempi di mappe degli indicatori derivabili dal modello.
 - Maps of indicators deriving from the model.

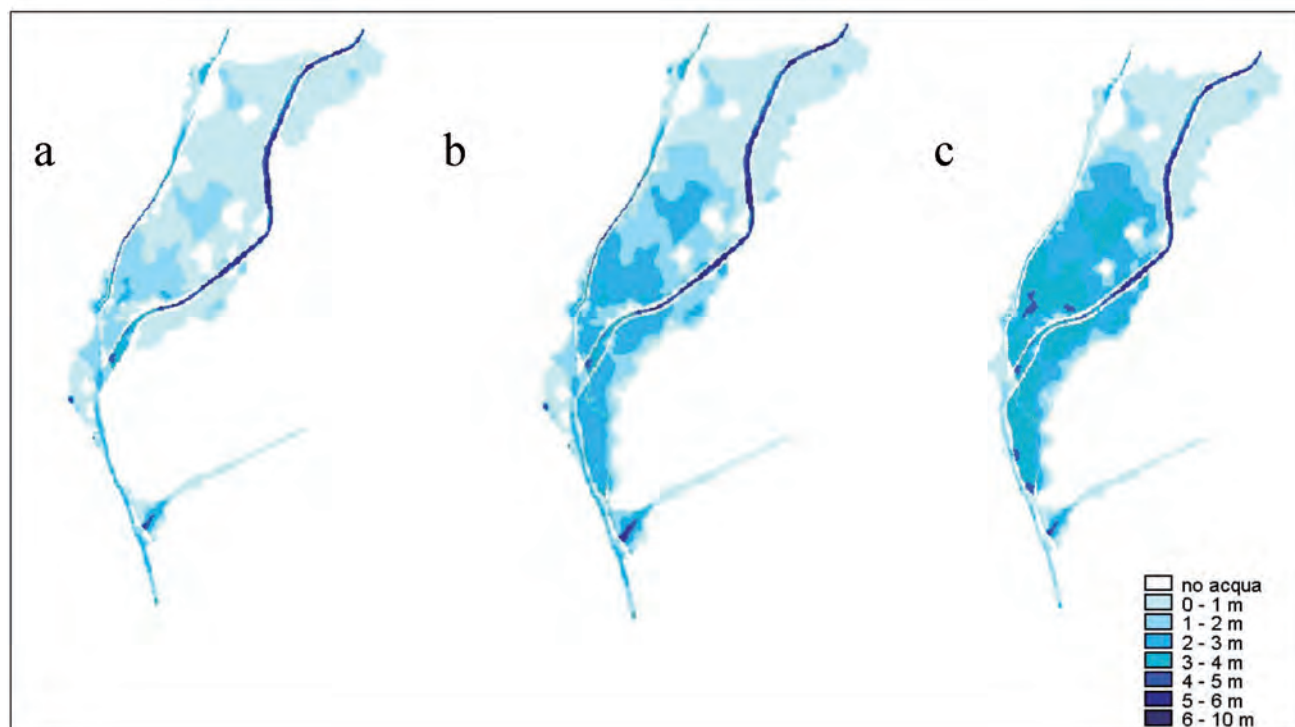


Fig. 7 - Altezza dell'acqua dopo 4 (a), 8(b) e 12(c) ore dalla rottura dell'argine.
 - Water level after 4 (a), 8(b) and 12(c) hours from the dike failure.

che rappresenta la l'evento più grande dopo le sistemazioni idraulico-forestali realizzate dall'impero austro-ungarico alla fine del XIX secolo (dal 1881 al 1890) in seguito ai numerosi eventi alluvionali di quegli anni (uno ogni 15 mesi).

Sono state simulate situazioni di normalità (con portate mensili caratteristiche), e di straordinarietà (con portate di piena e rotture di argini nei punti individuati precedentemente), fino ad ottenere un confronto quantitativo dei risultati.

L'output del modello non è costituito direttamente da una carta della pericolosità da fenomeni alluvionali, ma da una serie di mappe che possono essere considerate come indicatori (LORENZ, 1999) in grado di svolgere una duplice funzione: da una parte descrivono scientificamente la piena e dall'altra rappresentano un'informazione chiara e decifrabile anche da non esperti della materia. Sono state così redatte delle mappe di distribuzione spaziale su tutto l'areale di studio per ognuno di questi indicatori, come di seguito riportato (figg. 6 e 7):

- *massimo livello d'acqua;*
- *massiva velocità dell'acqua;*
- *massimo impulso espresso come quantità d'acqua in movimento;*
- *massima altezza d'acqua raggiunta per ogni cella;*
- *durata dell'inondazione;*
- *tempo di arrivo in ogni cella della prima acqua della piena;*
- *tempo impiegato in ogni cella per il raggiungimento del massimo livello d'acqua.*

6. - CONCLUSIONI

Un'analisi critica dei risultati delle simulazioni mette in evidenza quelle che sono le due maggiori problematiche legate alla modellizzazione di fenomeni fisici in un sistema complesso come quello rappresentato dalla Piana di Trento e, più in generale, da qualsiasi ambiente naturale. Da un lato, abbiamo la forte dipendenza dei risultati dai dati di partenza, spesso estremamente numerosi e di difficile reperibilità e che, comunque, non devono mai ritenersi esenti da una validazione critica basata sull'esperienza e sulla conoscenza del territorio; dall'altro, vi sono semplificazioni insite nel modello numerico e riguardanti il comportamento del mondo fisico, la cui conoscenza è fondamentale al fine della calibrazione e dell'interpretazione dei risultati. È indubbio

che il ruolo fondamentale nella qualità dell'accuratezza delle simulazioni è svolto dal DTM. Questo deve essere il più preciso possibile e soprattutto deve contenere i valori di elevazione di tutti quegli elementi, naturali ed antropici, che ostacolano o favoriscono la propagazione delle acque. Ogni dettaglio della morfologia territoriale non riportata correttamente sul DTM, può inficiare in modo sostanziale il modello. Risulta di conseguenza anche importante definire un grado di risoluzione del DTM idoneo alle elaborazioni da eseguire: un DTM troppo definito rischia di generare calcoli troppo lunghi e pesanti a causa della dimensione della matrice, viceversa un DTM poco definito, permette tante e veloci simulazioni fornendo però risultati finali di scarsa qualità. Il lavoro di miglioramento di questi *software* e, congiuntamente, della tecnologia informatica permetterà nel futuro di velocizzare le elaborazioni e di poter modellare grandi matrici con *pixel* di piccole dimensioni.

L'utilizzo di un modello idraulico bidimensionale di questo tipo consente di ottenere direttamente mappe GIS che rappresentano materiale cartografico riproducibile e disponibile per progetti di pianificazione territoriale. Tali elaborazioni sarebbero sicuramente auspicabili per il nostro Paese, caratterizzato da una "fragilità" idrogeologica naturale, conseguenza della complessità orografica, della grande varietà geologica e del clima, ma anche troppo spesso derivata da una dissennata gestione del territorio. L'integrazione tra strumenti in grado di modellare lo scorrimento delle acque, sia in alveo sia che sul terreno, con i normali dispositivi che oramai tutti gli Enti Territoriali utilizzano, i GIS, permette di poter costruire dei modelli di previsione di eventi estremi indispensabili per l'organizzazione di piani di protezione civile.

BIBLIOGRAFIA

- ALKEMA D., CAVALLIN A. & DE AMICIS M. (2001a) - *Strategic application of flood modelling for infrastructure planning and impact assessment. Integrated Water resources management*. IAHS pubbl. 272: pp. 305-310
- ALKEMA D., CAVALLIN A., DE AMICIS M. & ZANCHI A. (2001b) - *Valutazione degli effetti di un'alluvione: il caso di Trento*. Acta Geologica, 76: 55-61.
- ALKEMA D., ZANCHI A., DE AMICIS M. (2003) - *Geomorphologic map of the Adige valley, north of Trento, Italy*. Acta Geologica, 78: 162-172.
- ABBOTT M.B. & PRICE W.A. (1994) - *Coastal, estuarial and harbour engineer's reference book*. E and FN Spon, London.

- DHONDIA J.F. & STELLING G.S. (2002) - *Application of one dimensional-two dimensional integrated hydraulic model for flood simulation and damage assessment*. In: R.A. FALCONER., B. LIN, E.L. HARRIS & C.A.M.E. WILSON (Eds.): "Hydroinformatics 2002", Proc Fifth Int. Conf on Hydroinformatics, vol. 1: Model development and data management: pp. 265-276, IWA Publishing, London.
- GENELETTI (2000) - *Using classification and spatial indices on remote sensed data for environmental impact assessment*. PhD. Thesis, ITC, Enschede, The Netherlands.
- GOURBESVILLE P. (2001) - *2D runoff modeling in urban area with high definition DEM*. 4th DHI Software Conference & DHI Software Courses Helsingør, Denmark, June 6-8 and 9-13.
- HERVOUET J.M. & JANIN J.M. (1994) - *Finite elements algorithms for modelling flood propagation*. In: C. MAKSIMOVIC & M. RADOJKOVIC (Eds.): "Computational modelling and experimental methods in hydraulics". HYDROCOMP '89: pp. 237-242, Elsevier, Amsterdam.
- HORRITT M.S. & BATES P.D. (2002) - *Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation*. J. Hydrology, **268**: 87-99
- LORENZ C.M. (1999) - *Indicators for sustainable river management*. PhD. thesis, Vrije Universiteit Amsterdam.
- LUINO F. (2000) - *Historical analysis as a research tool for the identification of flood risk areas in the Adige basin (Trentino Alto Adige – Italy); first results*. Internal GETS document.
- STELLING G.S., KERKAMP H.W.J. & LAGUZZI M.M. (1998) - *Delft Flooding System, a powerful tool for inundation assessment based upon a positive flow simulation*. Hydro-informatics 1998: 449-456, Balkema, Rotterdam.