

ISC – Divisione Impatti sul Suolo e sulle Coste

LAMPIT -Modellistica idraulica delle alluvioni conseguenti ad eventi meteorologici intensi

Francesco Macchione

LAMPIT (LAboratorio di Modellistica numerica per la Protezione Idraulica del Territorio) – Dipartimenti di Difesa del Suolo – Università della Calabria

Pierfranco Costabile

LAMPIT (LAboratorio di Modellistica numerica per la Protezione Idraulica del Territorio) – Dipartimenti di Difesa del Suolo – Università della Calabria

Carmelina Costanzo

LAMPIT (LAboratorio di Modellistica numerica per la Protezione Idraulica del Territorio) – Dipartimenti di Difesa del Suolo – Università della Calabria

Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici www.cmcc.it

Ottobre 2007 ■ TR13

Attività svolte sull'integrazione del modello idraulico di propagazione

Nel secondo periodo l'attività relativa alla modellistica bidimensionale ha visto il prosieguo del codice numerico basato sulle equazioni delle acque basse, integrate su una griglia non strutturata. Il codice di calcolo, sviluppato in ambiente Fortran, è stato validato con alcuni test cases di laboratorio relativi alla propagazione di un'onda di dam break. A titolo di esempio, in figura 1 è riportata l'applicazione di tale modello per la simulazione dell'evoluzione di un'onda di dam break su un canale sperimentale che presenta un brusco allargamento; naturalmente i risultati numerici sono stati validati attraverso un confronto con i dati sperimentali.

E' importante notare che, salvo casi particolari, i termini di inerzia convettiva contenuti nelle equazioni di conservazione della quantità di moto risultano di un ordine di grandezza inferiori alla pendenza di fondo del corso d'acqua (che a sua volta è dello stesso ordine di grandezza della perdita di carico unitaria). Di conseguenza, questi termini possono essere trascurati specie nei casi in cui il dettaglio topografico di partenza non risulta particolarmente spinto; in altre parole le approssimazioni che implicitamente sono contenute in una cartografia non particolarmente dettagliata rendono di fatto superflua la valutazione dei flussi di inerzia convettiva.

Viene naturale quindi semplificare le equazioni del modello anche al fine di non appesantire inutilmente l'onere computazionale del modello di propagazione, vista anche l'estensione significativa dell'area scelta come caso di studio (~ 700 km2) di cui si dirà nel seguito. Di conseguenza in funzione del dettaglio topografico di partenza si potrà operare secondo il modello (1) o il modello (2).

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial y} = \mathbf{S}$$

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} h \\ h u \\ h v \end{pmatrix} \qquad \mathbf{g} = \begin{pmatrix} h v \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \mathbf{f} = \begin{pmatrix} h u \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \mathbf{S} = \begin{pmatrix} R - f \\ gh\left(\frac{\partial H}{\partial x} - S_{fx}\right) \\ gh\left(\frac{\partial H}{\partial y} - S_{fy}\right) \end{pmatrix}$$
(1)

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} = \mathbf{E}$$
⁽²⁾

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} h \\ hu \\ hv \end{pmatrix} \qquad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + gh^2/2 \end{pmatrix} \qquad \mathbf{F} = \begin{pmatrix} hu \\ hu^2 + gh^2/2 \\ huv \end{pmatrix} \qquad \mathbf{E} = \begin{pmatrix} R - f \\ gh(S_{0x} - S_{fx}) \\ gh(S_{0y} - S_{fy}) \end{pmatrix}$$



Con *H* si è indicata la quota piezometrica mentre il resto del formalismo è identico a quanto indicato nel primo rapporto. Come si può notare tale impostazione lascia invariata l'equazione di continuità della massa mentre semplifica nettamente le equazioni di conservazione della quantità di moto azzerando di fatto la seconda e la terza componente dei flussi.

Nella letteratura scientifica diverse sono le applicazioni, anche monodimensionali, che ricorrono ad un approccio basato sulla integrazione numerica del sistema (1) per la simulazione dei fenomeni di overland flow; non di rado il sistema è ulteriormente semplificato non solo trascurando i termini di inerzia locale, arrivando ad una formulazione nota come approssimazione diffusiva o parabolica, ma anche quelli legati alla variazione del tirante idrico lungo le due direzioni, secondo la ben nota approssimazione cinematica. Alcuni esempi di modelli numerici basati sull'approssimazione diffusiva sono reperibili ad esempio in Natale e Savi (1991), di Giammarco et al (1996), Panday e Huyakorn (2004), Jain e Singh (2005), Kazezyilmaz-Alhan et al. (2005). Fra le più recenti applicazioni basate su modelli cinematici si può far riferimento a Liu et al. (2004), Fiener e Auerswald (2005), Tsai e Yang (2005), Howes et al. (2006), Kazezyilmaz-Alhan e Medina (2007). L'errore introdotto da tali approssimazioni nei risultati numerici, rispetto alle equazioni complete del moto vario, è discusso in Singh et al. (2005).

Per quanto riguarda la scelta del risolutore numerico per il modello (2), l'esperienza accumulata presso il laboratorio LAMPIT suggerisce il ricorso ad un metodo ai volumi finiti basato sullo schema numerico HLLC appartenente alla famiglia dei Riemann Solver.

Lo schema HLLC può essere considerato una modifica dello schema HLL (Harten et al., 1983). Esso è formulato in maniera tale da considerare la bidimensionalità del problema mediante l'influenza della caratteristica intermedia con celerità sm espressa come in Fraccarollo e Toro (1995).

Il flusso attraverso il lato tra la cella a sinistra Ω_L e la cella a destra Ω_R è stimato come nello schema HLL in base alla seguente equazione:

$$[\mathbf{f},\mathbf{g}]_{r}\cdot\mathbf{n}_{r} = \begin{cases} [\mathbf{f},\mathbf{g}]_{L}\cdot\mathbf{n}_{r} & per s_{L} \ge 0\\ s_{R}([\mathbf{f},\mathbf{g}])_{L}\cdot\mathbf{n}_{r}-s_{L}([\mathbf{f},\mathbf{g}])_{R}\cdot\mathbf{n}_{r}+s_{L}s_{R}(\mathbf{U}_{R}-\mathbf{U}_{L})\\ s_{R}-s_{L} & per s_{L} \le 0 \le s_{R}\\ [\mathbf{f},\mathbf{g}]_{R}\cdot\mathbf{n}_{r} & per s_{R} \le 0 \end{cases}$$
(3)

Le espressioni delle celerità s_L e s_R sono (Toro, 2001):

 $s_{L} = \min([u, v]_{L} \cdot \mathbf{n}_{r} - \sqrt{gh_{L}}, u^{*} - \sqrt{gh^{*}}) \quad , s_{R} = \max([u, v]_{R} \cdot \mathbf{n}_{r} + \sqrt{gh_{R}}, u^{*} + \sqrt{gh^{*}}) \quad (4, 5)$ con:

$$\boldsymbol{u}^* = \frac{1}{2} \left(\left[\boldsymbol{u}, \boldsymbol{v} \right]_L + \left[\boldsymbol{u}, \boldsymbol{v} \right]_R \right) \cdot \mathbf{n}_r + \sqrt{g h_L} - \sqrt{g h_R} \tag{6}$$

$$\sqrt{gh^*} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{gh_L} + \sqrt{gh_R} \right) + \frac{1}{4} \left(\left[u, v \right]_L - \left[u, v \right]_R \right) \cdot \mathbf{n}_r$$
⁽⁷⁾



Mediante lo schema HLLC, la terza componente del flusso normale $[f_3, g_3]_r \cdot n_r$, si calcola in base alla seguente espressione:

$$\begin{cases} [f_3, g_3]_r \cdot \mathbf{n}_r = [f_1, g_1]_r \cdot \mathbf{n}_r v_L & se \ s_m \ge 0 \\ [f_3, g_3]_r \cdot \mathbf{n}_r = [f_1, g_1]_r \cdot \mathbf{n}_r v_R & se \ s_m < 0 \end{cases}$$
(8)

in cui $[f_1, g_1]_r \cdot n_r$ è calcolato mediante l'equazione (3).

L'attività riguardante l'individuazione e l'implementazione di un opportuno schema di integrazione numerica del sistema (1) è attualmente in fase di completamento presso il LAMPIT.



Figura 1. Simulazione della propagazione di un'onda di dam break su un canale con brusco allargamento



Attività finalizzate all'applicazione del modello ad un caso reale

Ai fini della taratura e validazione del modello idraulico è stato concordato con i ricercatori del CIRA di prendere in esame degli eventi realmente occorsi e per i quali fossero disponibili sia le informazioni meteo che le misure idrometriche rappresentative della risposta del bacino. Al riguardo il CIRA ha individuato come ambito di lavoro l'area della Regione Campania e, nel mese di luglio, ha fornito la cartografia digitale comprendente gran parte del bacino del fiume Volturno. Per ciò che riguarda l'evento meteo, il CIRA ha proposto lo studio del caso di pioggia intensa che ha interessato una parte dell'area campana tra il 4 e il 5 marzo 2005 e per il guale si dispone di un ben documentato rapporto d'evento del Centro Funzionale per la previsione meteorologica e il monitoraggio della meteoidropluviometrico e delle frane afferente alla Protezione Civile della Regione Campania (nel seguito indicato come RPC). Nell'ambito della suddetta zona, è stata condotta la scelta di un sottobacino tenendo presente la possibilità effettiva di operare una adeguata validazione del modello idraulico; guest'ultima operazione può consistere, ad esempio, nella riproduzione di idrogramma di piena in qualche sezione di riferimento. Ciò ha suggerito la ricerca di stazioni idrometriche in alcune sezioni del bacino del Volturno (figura 2) eventualmente dotate di scala delle portate per il necessario passaggio da un'informazione in termini di livelli idrici a quella in termini di portate. Il RPC in particolare evidenzia la presenza di cinque stazioni di misura avente le caratteristiche precedenti: quattro sui fiumi Volturno (ad Amorosi e a Grazzanise) e Calore (Benevento e Solopaca) ed un'altra sul fiume Tammaro (Paduli).

L'analisi precedente è stata condotta all'interno del LAMPIT integrando i dati cartografici forniti dal CIRA con l'ausilio di un software GIS. Inizialmente è stato analizzato il reticolo idrografico della regione Campania (figura 3) disponibile in formato vettoriale. Si è osservato che la tabella dei dati associati ad ogni elemento del reticolo riportava informazioni riguardanti la lunghezza del tratto e soltanto per i fiumi più importanti era riportato il nome del corso d'acqua di appartenenza. Queste informazioni sono state comunque sufficienti per l'estrazione di corsi d'acqua principali ricadenti nella zona in cui si è verificato l'evento del 4 e 5 marzo 2005.

Ai fini dell'individuazione del bacino di studio, si è resa poi necessaria l'identificazione spaziale degli idrometri. Come detto in precedenza infatti, ai fini della validazione del modello, è necessario disporre dell'idrogramma di piena per una sezione di riferimento. Sono state fornite le coordinate relative a 10 stazioni idrometriche. Di queste, 6 riguardano il fiume Volturno, 3 il Calore Irpino, affluente in sinistra idraulica del Volturno e 1 stazione riguarda il fiume Tammaro, a sua volta affluente in destra idraulica del Calore Irpino. Le coordinate relative ad ogni idrometro erano in questo caso espresse nel sistema UTM-ED50 e ciò ha richiesto, ai fini della corretta proiezione dei punti, il passaggio al sistema Gauss-Boaga con cui erano espresse tutte le altre informazioni geografiche. In figura 4 sono riportate le aste principali dei fiumi precedentemente menzionati con le relative stazioni idrometriche.

Alla fine di tale lavoro e in previsione dell'onere computazionale dovuto all'applicazione del modello idraulico, l'attenzione è stata rivolta alla sezione che sottende il sottobacino di minore estensione, il Tammaro a Paduli (670 km2). Alcune caratteristiche dell'evento osservato del Fiume Tammaro a Paduli sono riportate in figura 5.



La proposta dello studio del sottobacino Tammaro è stata accettata dal CIRA, che nel settembre scorso ha fornito la cartografia mancante per la copertura dell'intera estensione del bacino.

Attività finalizzata alla discretizzazione topologica del dominio di calcolo

L'applicazione della modellistica numerica bidimensionale, richiede tra i diversi dati in ingresso la definizione del modello digitale del terreno (DTM). Inizialmente è stata svolta un'indagine sulla disponibilità di modelli digitali del terreno, liberamente accessibili, al fine effettuare una valutazione sulla loro adeguatezza alle finalità dello studio. Sono stati individuati alcuni modelli a scala globale. Tra questi è da segnalare il modello GTOPO30. Questo è un modello digitale del terreno con grid spacing di 30 arcosecondi (circa un chilometro), derivato da diverse fonti topografiche raster e vettoriali. Il modello copre l'intero globo ed è fornito in coordinate geografiche con datum WGS84. Un modello di terreno a risoluzione più alta, liberamente accessibile, è costituito dal SRTM 90m CGIAR. Il modello ha in questo caso una risoluzione di 3 arcosecondi (circa 90m) ed è stato ricavato processando nuovamente un omologo modello prodotto su iniziativa della NASA e della NGA (la National Geospatial-Intelligence Agency del Dipartimento della Difesa statunitense) con il progetto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) mediante l'uso di radar per la mappatura tridimensionale del globo terrestre. In questo caso è da attendersi un errore verticale inferiore ai 16 m.

Nel caso in esame, date le finalità dello studio, si è ritenuto più adeguato un DEM con una risoluzione e un'accuratezza maggiore. Per questo motivo si è scelto di ricavare il DTM a partire dalle informazioni che possono essere desunte dalla cartografia. In particolare il CIRA ha fornito la cartografia in formato digitale di tipo vettoriale in scala 1:5000 per i bacini dei fiumi Tammaro e Volturno (figura 6). In linea generale, in una cartografia vettoriale gli elementi presenti sul territorio sono rappresentati come punti, linee e poligoni in relazione alle loro dimensioni e caratteristiche geometriche. I vari tipi di dati sono poi ulteriormente suddivisi in layers in relazione al tipo particolare di elemento che viene rappresentato. Ciò è di notevole importanza in quanto consente una notevole semplificazione nell'estrazione dei dati di interesse. Ad ogni elemento è poi associata una serie di informazioni tra cui il tipo di dato e la quota rispetto al livello medio del mare. In particolare per la costruzione del DTM è stato necessario estrarre le curve di livello e i punti quotati. Le isoipse nella cartografia a scala 1:5000 sono poste ogni 5 m, mentre i punti quotati integrano le informazioni delle curve di livello e sono particolarmente utili per le aree pianeggianti dove queste sono più distanti tra loro.

Data l'organizzazione dei dati in layer, a partire dalla tabella associata agli elementi è stato possibile selezionare quelli di interesse, che nel caso in esame sono rappresentati da curve di livello e punti quotati.





Figura 2. Bacino del Volturno delimitato con linea rossa (da RPC)





Figura 3. Reticolo idrografico della regione Campania





Figura 4. Aste principali dei fiumi Volturno, Calore e Tammaro e rispettivi idrometri





Figura 5. Ietogramma netto e idrogramma di piena per il bacino del fiume Tammaro a Paduli (da RCP)

Figura 6: Cartografia digitale in formato vettoriale. Individuazione della stazione strumentata di Paduli sul fiume Tammaro



Questi dati, sono stati successivamente esportati in un formato GIS e sono stati interpolati per la realizzazione del DTM. Il modello digitale del terreno è ovviamente in formato raster e quindi consiste in una matrice di celle quadrate cui è associato un valore rappresentativo dalla quota media della cella. Mediante una scala di colori è possibile rappresentare graficamente questa matrice; il DEM è stato ottenuto imponendo una risoluzione pari a 5m ed è riportato, insieme alle curve di livello, in figura 7. La scelta della risoluzione è stata fatta a priori considerando che generalmente la risoluzione massima che si può ottenere è calcolabile dividendo per 1000 la scala della carta.

È necessario comunque operare una serie di controlli per verificare l'accuratezza dell'elaborazione. Gli errori nella generazione del DEM, infatti, sono abbastanza frequenti. Alcune verifiche possono essere condotte, in primo luogo, semplicemente in maniera visiva poiché spesso si tratta di discontinuità facilmente identificabili. In una eventuale fase successiva per un controllo più accurato è possibile ricavare le curve di livello a partire dal modello digitale del terreno per poi confrontarle con quelle originali. In alcuni casi si osservano delle depressioni artificiali, che nel linguaggio tecnico vengono identificate con il termine "sink"; le depressioni, come anche gli innalzamenti artificiali, possono essere generati da punti quotati che riportano un'informazione altimetrica notevolmente diversa dai punti circostanti o più spesso da elementi a cui non è associata alcuna guota del terreno. È importante riconoscere ed eliminare i punti depressi artificiali in guanto modificano il percorso del deflusso calcolato in base alle direzioni di massima pendenza, possono determinare un'erronea delimitazione del bacino e in ogni caso determinano una topografia non corretta. Altre depressioni di dimensione più grande possono essere dovute alla presenza di invasi artificiali. Anche in questo caso è necessario, ai fini della modellistica idraulica e idrologica segnalare la presenza dei principali specchi d'acqua. Mediante queste operazioni di controllo è guindi possibile giungere a un DTM che sia sufficientemente accurato.

Nel caso in esame, l'area del bacino è superiore ai 600 km2 e ciò significa che non è possibile interpolare simultaneamente tutte le curve di livello del bacino. Nel caso in esame infatti l'area del bacino del fiume Tammaro è coperta da circa 80 fogli della cartografia in scala 1:5000 e per limiti di memoria non è possibile processare tutte le carte contemporaneamente. In tali situazioni è necessario considerare le curve di livello appartenenti ad un numero limitato di fogli, tenendo però in considerazione il problema dell'interpolazione che si presenta nei pressi del contorno degli stessi. Infatti, in tali aree, il minor numero di informazioni, rispetto alle zone poste al centro del foglio, comporta delle incongruenze che si manifestano come discontinuità gualora si affianchino i DEM ricavati da ogni singolo foglio. È possibile superare questo problema processando il singolo foglio o il gruppo limitato di fogli con l'ausilio delle informazioni di tutti quelli adiacenti. Ottenuti i DEM relativi ad ogni foglio è poi necessario unire i singoli raster. Gli strumenti disponibili in ambiente GIS consentono di unire i raster adiacenti correggendo le eventuali discontinuità che si hanno sui contorni di ogni singolo elemento. La correzione dei contorni di due elementi adiacenti è effettuata sfruttando le informazioni che provengono da entrambi gli elementi. Il risultato di tali operazioni è riportato in figura 8 mentre nella figura 9 è mostrata una vista tridimensionale del DEM del fiume Tammaro a Paduli.

A partire dal modello digitale del terreno, attraverso una serie di elaborazioni mediante strumenti disponibili in ambito GIS, è possibile delimitare il bacino e ricostruire eventualmente il reticolo idrografico. Ai fini della modellazione idraulica è necessario esportare il DEM in formato ASCII affinché possa essere fornito come input al modello di propagazione.



L'elaborazione del DEM dell'intero bacino del fiume Tammaro è attualmente in corso. Nel prossimo periodo inoltre sarà valutata la disponibilità e la qualità di dati riguardanti l'uso del suolo e delle tipologie di suolo. Queste informazioni infatti possono essere utilizzate per la definizione delle caratteristiche di infiltrazione e di scabrezza dei suoli.



Figura 7: Curve di livello e DTM del fiume Tammaro a Paduli





Figura 8: Effetto della procedura di "mosaico"





Figura 9: vista tridimensionale del Tammaro a Paduli (esagerazione verticale: x3)



Conclusioni

Al termine del primo anno di attività all'interno dell'attività di ricerca sulla "Modellistica idraulica delle alluvioni conseguenti ad eventi meteorologici intensi", la stretta collaborazione tra il gruppo di ricerca del CIRA e quello del LAMPIT ha permesso il compimento di una serie di aspetti teorici, ed in parte applicativi, sulla realizzazione della catena idro-meteo.

Il contributo del LAMPIT in questo anno si è articolato secondo attività differenti tese ad inquadrare alcune questioni teoriche relative alla strutturazione della catena stessa costruendo, al contempo, gli strumenti da adottare per una immediata fase operativa del progetto di ricerca.

In questo contesto si è pensato di impostare il problema a partire dalle shallow water equations che descrivono l'evoluzione spazio-temporale delle correnti a superficie libera in moto vario. La notevole esperienza del LAMPIT sulla modellistica avanzata dei fenomeni alluvionali si è tradotta nella realizzazione di codici numerici, basati su griglie di calcolo strutturata e non, organizzati in modo tale da ricevere in ingresso le piogge totale previste con il modello ad area limitata utilizzato dal CIRA. E' stato altresì sviluppato un approfondimento teorico sui principali metodi per la valutazione delle piogge nette attraverso il calcolo delle perdite nel bacino per fenomeni di infiltrazione; ciò ha comportato l'individuazione di un metodo particolarmente quotato in ambito scientifico cui si intende dare la priorità all'interno delle applicazioni numeriche.

La continua interazione con il gruppo di ricerca del CIRA ha inoltre favorito un più profondo livello di comunicazione tra il modello idraulico e quello di previsione meteorologica; in particolare attraverso l'analisi del modulo TERRA_LM, è stato possibile individuare una serie di informazioni quantitative in esso contenute che permetteranno una valutazione più omogenea tra parametri concettualmente similari all'interno dei due modelli (contenuto idrico iniziale, permeabilità idraulica a saturazione ecc.).

Infine è stato individuato il caso di studio su proposta del gruppo di ricerca del CIRA. Tale scelta è riferita ad un caso di pioggia intensa che ha interessato una parte dell'area campana tra il 4 e il 5 marzo 2005 ed in particolare il bacino del Volturno. Attraverso un esame della cartografia (fornita dal CIRA al termine del secondo periodo) e con l'ausilio di software GIS, si è concordato di focalizzare l'attenzione su un sottobacino del Volturno: il Tammaro la cui estensione è pari a circa 700 km2. La scelta del caso reale da studiare, perfezionata solo nel mese di settembre, non ha consentito a tutt'oggi di eseguire l'applicazione numerica del modello ai fini della sua validazione. Pertanto la costruzione del modello digitale del terreno del bacino del Tammaro e l'applicazione del modello idraulico sulla topografia così generata costituirà parte del lavoro per il secondo anno di attività che prevede come tematica prevalente l'approfondimento di una serie di aspetti operativi per verificare l'efficacia previsionale della catena idro-meteo.



Lavori Citati

- Di Giammarco, P., Todini, E., Lamberti, P. (1996). A conservative finite elements approach to overland flow: the control volume finite element formulation. *Journal of Hydrology*, Elsevier, 175: 267-291.
- Fiener, P, Auerswald, K. (2005). Measurement and modeling concentrated runoff in grassed waterways. *Journal of Hydrology*, Elsevier, 301: 198-215.
- Fraccarollo L., Toro E. F. (1995). Experimental and numerical assessment of the shallow water model for twodimensional dam-break type problems. *Journal of Hydraulic Research* 33 (6) 843-863.
- Harten A., Lax P., van Leer B. (1983). On upstream differencing and Godunov-type schemes for hyperbolic conservation laws. *SIAM Review*, 25: 35-61.
- Howes, D. A., Abrahams, A. D., Pitman, E. B. (2006). One- and two-dimensional modeling of overland flow in semiarid shrubland, Jornada basin, New Mexico. *Hydrological Processes*, Wiley, 20: 1027-1046.
- Jain, M. J., Singh, V. P. (2005). DEM-based modelling of surface runoff using diffusion wave equations. *Journal of Hydrology*, Elsevier, 302: 107-126.
- Kazezyilmaz-Alhan, C. M., Medina, M. A., Rao, P. (2005). On numerical modelling od overland flow. Applied Mathematics and Computation, Elsevier, 166: 724-740.
- Kazezyilmaz-Alhan, C. M., Medina, M. A. (2007). Kinematic and diffusion wave: analytical and numerical solutions to overland and chanel flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 133(2): 217-228.
- Liu, Q. Q., Chen, L., Li, J. C., Singh, V.P. (2004). Two-dimensional kinematic wave model of overland-flow. *Journal* of Hydrology, Elsevier, 291: 28-41.
- Natale, L., Savi, F. (1991). Espansione di onde di sommersione su terreno inizialmente asciutto. Idrotecnica, 6: 397-406.
- Panday, S., Huyakorn, P. S. (2004). A fully coupled physically-based spatially-distributed model for evaluating surface/subsurface flow. *Advances in Water Resources*, Elsevier, 27: 361-382.
- Singh, V. P., Jain, S. K., Sherif, M. M. (2005). Errors of kinematic wave and diffusion wave approximations for timeindependent flows with infiltration and momentum exchange included. *Hydrological Processes*, Wiley, 19: 1771-1790.
- Toro E.F. (2001). Shock -Capturing Methods for Free Surface Shallow Flows. Wiley, Chichester.
- Tsai, T.L., Yang, J.C. (2005). Kinematic wave modeling of overland flow using characteristics method with cubicspline interpolation. *Advances in Water Resources*, Elsevier, 28:661-670

Secondo Rapporto Semestrale e applicazione del modello ad un caso reale

Sommario

Alla scadenza del secondo semestre di attività di ricerca sulla "Modellistica idraulica delle alluvioni conseguenti ad eventi meteorologici intensi", il presente rapporto documenta lo stato di avanzamento dei lavori svolti a partire da Giugno 2007, data di presentazione del precedente rapporto semestrale.

La collaborazione in atto è finalizzata alla realizzazione di una catena idrometeorologica intesa come strumento utile ai fini pratici in tema di previsione delle piene, mitigazione del rischio e quindi come supporto decisionale per l'attività di protezione civile. Il contributo del LAMPIT alla catena idro-meteorologica verte sulla descrizione fisico-matematica della genesi e della propagazione degli eventi di piena a scala di bacino. Il lavoro svolto, eseguito in stretto contatto con il dr. Pasquale Schiano e le ricercatrici del CIRA dr. Paola Mercogliano e dr. Gabriella Ceci, si è articolato secondo due tipi di attività:

- Integrazione del modello idraulico di propagazione
- Attività finalizzate all'applicazione del modello in casi reali

Keywords: Catena Idro-Meteorologica, Propagazione delle piene, Shallow water equations

JEL Classification:

Address for correspondence: Prof. Francesco Macchione Laboratorio LAMPIT Dipartimento di Difesa del Suolo – Università della Calabria Ponte P.Bucci – Cubo 42/B 87036, Rende (CS) . E-mail: <u>f.macchione@unical.it</u>