Technical Reports

CENTRO EURO-MEDITERRANEO
PER I CAMBIAMENTI CLIMATICI

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

Giugno 2007 ■ TR5

Primo Rapporto Semestrale

Sommario

Alla scadenza del primo 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 fin qui svolti. Le attività sono state eseguite in stretto contatto con il dr. Pasquale Schiano e le ricercatrici del CIRA dr. Paola Mercogliano e dr. Gabriella Ceci. La collaborazione in atto è finalizzata alla realizzazione di una catena idro-meteorologica 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. Al riguardo si è impostato il problema a partire dalle shallow water equations complete che descrivono l’evoluzione spazio-temporale delle correnti a superficie libera in moto vario a partire da un input pluviometrico fornito dal modello ad area limitata utilizzato dal CIRA.

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: f.macchione@unical.it

Struttura del modello

Il modello matematico utilizzato è basato sulle equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto lungo le due direzioni *x*-*y*; in tale approccio il contributo di pioggia totale fornito dal CIRA è inteso come "termine sorgente" da inserire nell'equazione del bilancio di massa. Il sistema di equazioni considerato è dunque il seguente:

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

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

in cui si è indicato con h il tirante idrico, *u* e *v* le velocità lungo le direzioni *x* e *y*, *R* è l'intensità di pioggia totale, *f* rappresenta l'intensità di infiltrazione, S_{0x} e S_{0y} le pendenze del fondo lungo *x* e *y*, S_{fx} e S_{fy} le resistenze al moto lungo le due direzioni.

Tale approccio è sufficientemente consolidato in letteratura. I modelli proposti si differenziano sostanzialmente per la descrizione del processo di infiltrazione e per le semplificazioni introdotte nelle shallow water equations. Alcuni modelli ricorrono alla risoluzione dell'equazione di Richards per la componente subsuperficiale abbinata alle equazioni delle acque basse monodimensionali (Singh e Bhallamudi, 1998) e bidimensionali (Gandolfi e Savi, 2000). La maggior parte degli approcci ricorre a metodi semplificati per la valutazione dell'intensità di infiltrazione all'interno delle equazioni del moto vario complete (Fiedler e Ramirez 2000, Esteves et al. 2000, Howes e Abrahams 2003, Liu et al. 2004, Kalin e Hantush 2006, Howes et al. 2006) o secondo l'approssimazione cinematica (Vieux et al. 2004, Jain e Singh 2005, Fiener e Auerswald 2005). La stima della capacità di infiltrazione viene condotta secondo diversi metodi cui viene fatto un breve cenno nel paragrafo 2.

Le attività svolte nel primo semestre hanno riguardato sostanzialmente quattro aspetti:

1. sviluppo della modellistica bidimensionale e rappresentazione del territorio;
2. analisi dei modelli per la valutazione quantitativa delle perdite di massa liquida dovuta ai fenomeni di infiltrazione
3. implementazione del modulo di infiltrazione all'interno di un modello di propagazione monodimensionale
4. interfaccia CIRA – LAMPIT.

1. Modellistica bidimensionale e rappresentazione del territorio

I bacini idrografici naturali sono caratterizzati da una topografia particolarmente complessa. Da un punto vista modellistico, tale situazione comporta la necessità di disporre di un'adeguata griglia computazionale, in grado di approssimare con sufficiente grado di dettaglio il dominio spaziale di integrazione, nonché di idonei risolutori numerici atti alla descrizione dei complessi fenomeni idraulici che ivi si possono generare.

Di conseguenza si è focalizzata l'attenzione su due aspetti:

1.1 generazione di griglie computazionali non strutturate (unstructured meshes) di tipo triangolare
1.2 implementazione di un codice di calcolo opportunamente pensato per il tipo di griglia in esame.

1.1 Generazione di mesh non strutturate

Nell'ambito della prima attività è stata eseguita un'indagine riguardante le tecniche di discretizzazione del dominio di calcolo. Queste tecniche di discretizzazione consentono di rappresentare il territorio aumentando il livello di dettaglio topografico nelle aree in cui sono presenti singolarità. Tale attività richiede l'uso di software che creano mesh triangolari a partire da un modello digitale del terreno (DEM) per la caratterizzazione fisica e morfologica del territorio, facendo uso di Sistemi Informativi Territoriali (meglio noti come GIS - Geographical Information Systems). Mediante strumenti GIS è possibile realizzare procedure di map algebra per l'assegnazione alle celle di calcolo della quota e della scabrezza. Le quote delle celle vengono desunte dall'integrazione di informazioni provenienti da carte vettoriali e dal modello digitale del terreno.
Parallelamente a tale attività, sono state approfondite alcune tecniche per la generazione di griglie non strutturate come la triangolazione di Delaunay e il metodo Advancing Front.
E' stata altresì condotta un'accurata indagine su software commerciali in ambito idraulico-idrologico a partire da versioni demo gratuite. Da tale studio è emerso come il software SMS (Surface water Modeling System) sia particolarmente funzionale sia per la manipolazione, l'editing e la visualizzazione dei dati geometrici e idraulici che per la creazione, l'editing e la formattazione di griglie da utilizzare nelle analisi numeriche.
A titolo di esempio è stata effettuata un'applicazione al bacino dell'Esaro di Crotone ai fini della costruzione del modello concettuale del territorio.

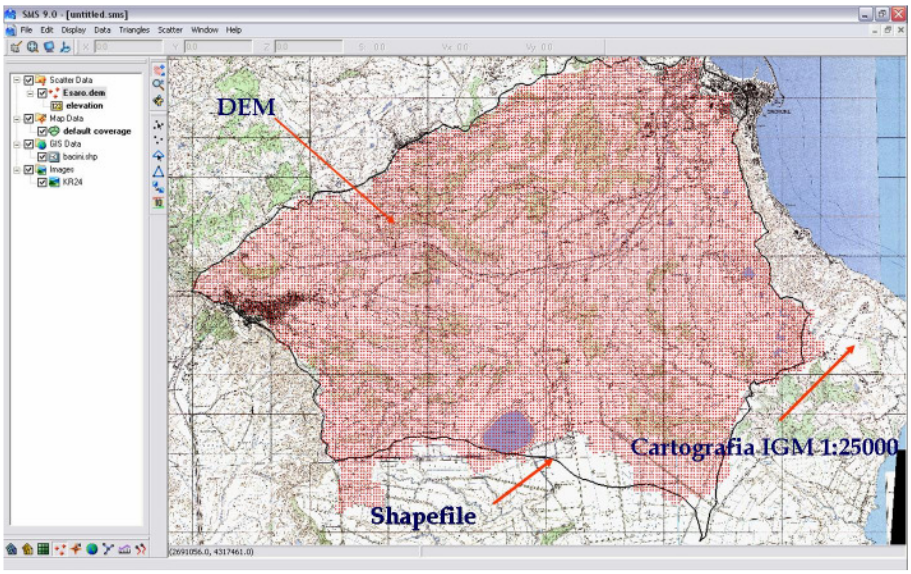

Figura 1. Cartografia, DEM e shape file importati da SMS

A partire da una cartografia georiferita e da un DEM dell'area di studio è possibile ottenere uno shape file da importare in SMS (figura 1) ed eventualmente ottenere una rappresentazione a curve di livello del bacino (figura 2); quindi si può generare una

griglia secondo metodi opportuni (figura 3) e con scale differenti di risoluzione spaziale (figura 4).

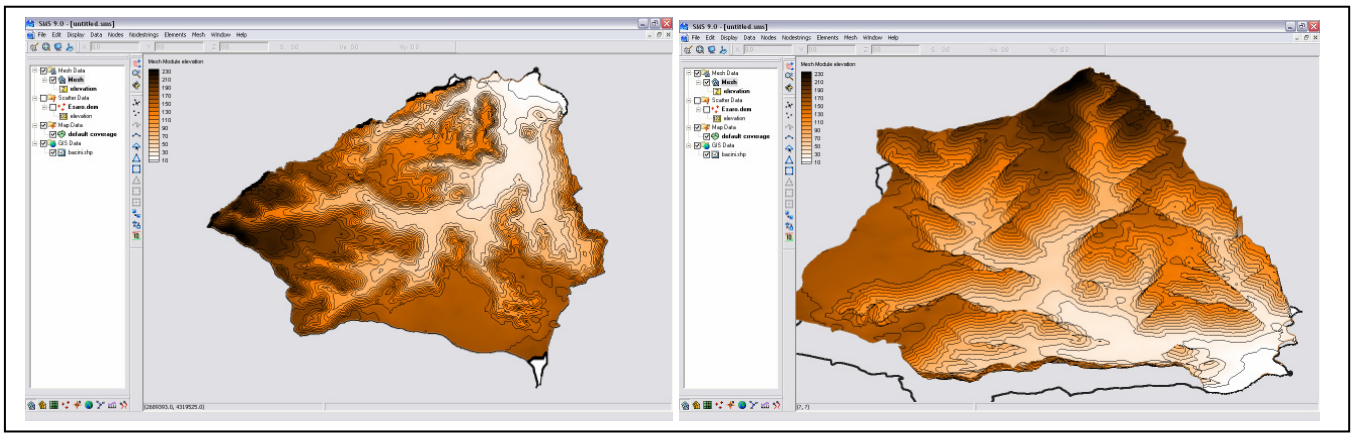

Figura 2. Rappresentazione a curve di livello del bacino dell'Esaro di Crotone

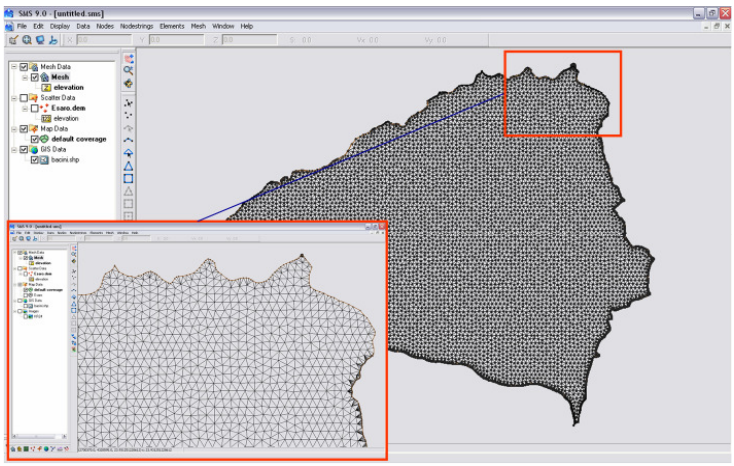

Figura 3. Generazione della griglia non strutturata sul bacino dell'Esaro di Crotone

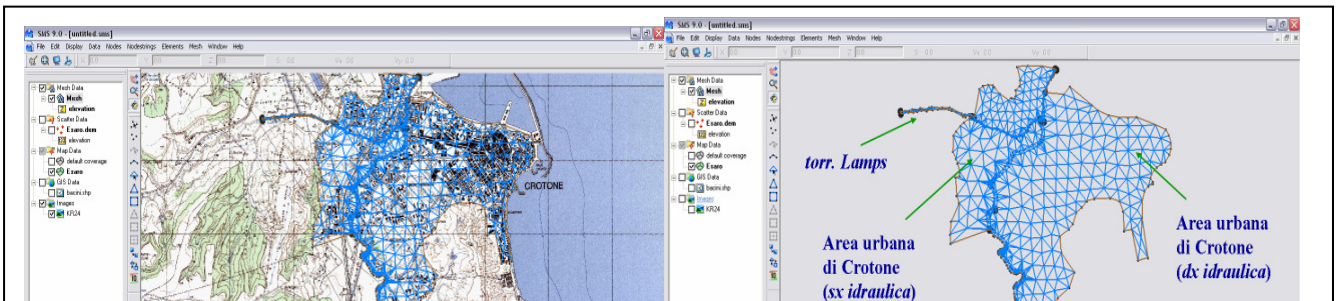

Figura 3. Generazione della griglia non strutturata sul bacino dell'Esaro di Crotone

1.1 Implementazione di un codice di calcolo su griglie non strutturate

L'utilizzo di griglie non strutturate ha richiesto l'implementazione di un codice ad hoc per l'integrazione numerica delle equazioni del moto vario. Sulla scorta dell'esperienza accumulata dal laboratorio LAMPIT sulle prestazioni di diversi schemi numerici ai volumi finiti, è stato implementato lo schema HLL al primo ordine di accuratezza in quanto le sue performance sono paragonabili a quelle ottenibili con schemi di ordine superiore (Costanzo e Macchione 2005). Tale conclusione è stata derivata sulla base di una vasta indagine comparativa delle prestazioni di alcuni schemi numerici bidimensionali ai volumi finiti accurati al primo e al secondo ordine come gli schemi upwind HLL, HLLC, lo schema di Roe e lo schema centrale di MacCormack corretto con il termine TVD di viscosità artificiale. Tale indagine è stata condotta focalizzando l'attenzione su alcune peculiarità sia del calcolo, come l'onerosità dell'implementazione dello schema e i tempi di calcolo, che sull'accuratezza delle grandezze ingegneristiche più rilevanti come i massimi tiranti idrici, i tempi di arrivo del fronte d'onda e le velocità.
Il codice su griglia non strutturata è stato già validato con una serie di test di laboratorio ed è attualmente in fase di completamento per ciò che riguarda il contributo del termine sorgente; in particolare si sta provvedendo alla introduzione di metodi accurati per la valutazione numerica della pendenza nelle equazioni di conservazione della quantità di moto e delle perdite per infiltrazione nell'equazione di conservazione della massa.

2. Analisi dei metodi per la stima delle perdite dovute ad infiltrazione

Nell'ambito della catena idro-meteo, la valutazione della pioggia al netto della sommatoria delle perdite all'interno del bacino acquisisce una rilevanza particolare ai fini della generazione del ruscellamento superficiale (runoff). Tale problematica è stata approfondita dal LAMPIT attraverso un'analisi di alcuni metodi atti alla stima dell'infiltrazione anche se, come si dirà nel paragrafo successivo, è possibile ottenere diverse informazioni sulle perdite di volumi di acqua a partire dai processi fenomenologici descritti nel modulo "Terra_LM" . Gli approcci esaminati si basano sull'idea fondamentale che il ruscellamento superficiale inizi solo dopo la saturazione dello strato superficiale del terreno (ponding time). Di conseguenza l'intensità di infiltrazione è pari all'intensità di pioggia per istanti di tempo inferiori al ponding time per poi diminuire nel tempo in funzione di una determinata capacità di infiltrazione.
Il fenomeno dell'infiltrazione è inteso come il movimento dell'acqua superficiale nella zona insatura secondo le tre direzioni principali del moto (x,y,z). Tale fenomeno, tuttavia, può essere considerato lungo un'unica direzione e, pertanto, ricondotto ad un problema di tipo monodimensionale lungo la direzione verticale secondo l'asse z. L'equazione che regge tale problema può essere espressa in termini di contenuto d'acqua nel suolo θ o del carico capillare ψ nel modo seguente:

$$\left(\frac{\partial\theta}{\partial t}\right)=\frac{\partial}{\partial z}\left(D(\theta)\frac{\partial\theta}{\partial z}+K(\theta)\right)\ \text{, con } D(\theta)=K(\theta)\left(\frac{\partial\psi(\theta)}{\partial\theta}\right)$$

$$C(\psi)\left(\frac{\partial\psi}{\partial t}\right)=\left(\frac{\partial\theta}{\partial t}\right)=\frac{\partial}{\partial z}\left(K(\theta)\left(\frac{\partial\psi}{\partial z}+1\right)\right)$$

L'ultima relazione è nota come equazione di Richards della quale non esiste una soluzione generale, anche se sono stati proposti in letteratura alcune soluzioni basate su differenti assunzioni semplificative.
I metodi presi in considerazione per la stima della capacità di infiltrazione possono essere classificati, secondo l'impostazione di Mishra et al. (2003) in metodi fisicamente basati, semi empirici ed empirici.
Gli approcci fisicamente basati sono strettamente connessi alle leggi di conservazione della massa e alla legge di Darcy e, sotto opportune ipotesi semplificative, sono stati derivati alcuni modelli a differente grado di complessità tra i quali spiccano quelli di Green & Ampt (1911), di Philip (1957) e di Smith & Parlange (1978). Il modello di Green & Ampt (1911) è basato su una schematizzazione semplificata del profilo verticale del contenuto d'acqua nel suolo immaginato come un fronte di umidificazione che divide una zona superiore completamente satura da una inferiore con umidità inferiore θi; il suolo a sua volta è ipotizzato omogeneo e saturo in superficie. La capacità di infiltrazione fc è data dalla seguente relazione:

$$f_c(t)=K_s\left(\frac{\psi\Delta\theta}{F(t)}+1\right)$$

in cui Ks è il coefficiente di permeabilità a saturazione, Δθ= θs- θi con θs contenuto d'acqua a saturazione, ψ è il carico capillare in corrispondenza del fronte di suzione, F(t) è l'infiltrazione cumulata al tempo t. Nell'ambito della modellistica per la generazione e propagazione delle onde di piena in un bacino, il modello di Green &

Ampt (1911) è molto utilizzato (Fiedler & Ramirez 2000, Esteves et al. 2000, Liu et al. 2004, Vieux et al. 2004).
Il modello di Philip (1957) consiste nel tentativo di sviluppare una soluzione approssimata dell'equazione di Richards anziché trovare la soluzione esatta di un modello fisico di suolo approssimato come del modello di Green & Ampt (1911). Trascurando i dettagli analitici, l'espressione proposta da Philip (1957) è la seguente:

$$f_c(t) = 0.5St^{0.5} + A$$

in cui S è detto sortività del suolo (sorptivity) ed A è un parametro che corrisponde alla minima intensità di infiltrazione che può essere inferiore alla permeabilità idraulica a saturazione (Mishra & Singh 2003). Esempi recenti dell'applicazione dell'equazione di Philip (1957) nell'ambito della modellistica dell'overland flow possono essere trovati ad esempio in Jain & Singh (2005), Fiener & Auerswald (2005).
Il modello di Smith & Parlange (1978) si basa sull'ipotesi che la diffusività varia esponenzialmente con il contenuto di acqua; l'espressione per la capacità di infiltrazione è la seguente:

$$f_c(t) = K_s \frac{e^{F(t)/C_D}}{e^{F(t)/C_D} - 1}$$

in cui CD, detto capillary drive, è funzione sia del carico capillare che delle condizioni iniziali di umidità del suolo. Anche tale modello trova vasto utilizzo nella letteratura tecnica per la generazione e propagazione dell'onda di piena a scala di bacino (Howes & Abrahams 2003, Howes et al. 2006, Kalin & Hantush 2006).
I modelli empirici si basano su una serie di dati ed evidenze sperimentali derivati da prove di campo e di laboratorio. Il più celebre modello appartenente a questa categoria è SCS-CN, molto utilizzato negli Stati Uniti soprattutto grazie alla notevole mole di dati reperibili in letteratura per la sua applicazione; studi recenti hanno contribuito ad una più profonda comprensione del metodo e conseguentemente delle sue potenzialità nelle applicazioni reali (Mishra & Singh 1999, Mishra et al. 2005, Mishra et al. 2006). A partire dall'equazione di continuità ai fini del bilancio idrologico:

$$P_e = P - F - I_a$$

in cui Pe (mm) è il volume defluito superficialmente (pioggia netta) fino all'istante t per unità di superficie, P(mm) è il volume affluito fino al medesimo istante per unità di superficie, F è il volume infiltrato per unità di superficie, e Ia è la sommatoria delle perdite iniziali, il metodo assume la seguente relazione di proporzionalità:

$$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

dove S(mm) indica il volume massimo immagazzinabile nel terreno per unità di superficie in condizione di saturazione. In genere viene posto Ia=0.1÷0.2 S. La determinazione di S(mm) avviene sulla base della relazione seguente:

$$S = 25.4\left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$

in cui CN (curve number) è il parametro di assorbimento pari a 100 se la capacità di immagazzinamento del suolo è massima, pari a zero se il suolo è completamente impermeabile. I valori di CN sono ampiamente tabellati in letteratura in funzione della classe litologica, del tipo di copertura ed alle condizioni di umidità precedenti l'inizio dell'evento di tipo standard (Antecedent Moisture Condition, AMC) ricavabile in funzione della pioggia complessivamente caduta nei 5 giorni precedenti l'evento considerato.
I modelli semi-empirici costituiscono un compromesso tra i modelli fisicamente basati e quelli empirici; essi sono basati su alcune ipotesi semplificative introdotte sia nell'equazione di continuità che nelle relazioni per il calcolo dell'intensità di infiltrazione. Molto celebre, fra questi, è il modello di Horton (1938) che fu derivato ritenendo valida l'ipotesi che la variazione temporale della capacità di infiltrazione fosse in ogni istante proporzionale alla differenza tra la capacità istantanea e quella finale. La sua espressione è la seguente:

$$f_c(t) = f_f + \left(f_0 - f_f\right)e^{-kt}$$

in cui ff è la capacità di infiltrazione finale (L/T) e quindi prossima alla conduttività idraulica a saturazione, f0 (L/T) è la capacità di infiltrazione all'istante iniziale del fenomeno, k (T) è una costante di esaurimento. L'ipotesi del modello di Horton ha alla base una evidenza empirica ma è stato mostrato che la relazione precedente rappresenta una soluzione approssimata dell'equazione di Richards sotto alcune ipotesi semplificative (Eagleson 1970).
Altro modello appartenente alla famiglia degli approcci semi-empirici è quello introdotto da Singh & Yu (1990) derivato sulla base di due ipotesi: l'eccesso di infiltrazione, inteso come eccesso della intensità di infiltrazione attuale rispetto a quella finale, è in ogni istante proporzionale alla potenza m-esima del volume della colonna di suola disponibile per l'immagazzinamento di acqua ed inversamente proporzionale alla potenza n-esima dell'infiltrazione cumulata fino a quell'istante. La relazione introdotta da Singh & Yu (1990) è la seguente:

$$f_c(t) = f_f + \frac{a\left[S(t)\right]^m}{\left[S_0 - S(t)\right]^n}$$

in cui ff è la capacità di infiltrazione finale (L/T), S0 è il volume della colonna di suolo disponibile all'inizio del fenomeno per l'immagazinamento, a, m, n sono costanti. Gli autori hanno evidenziato che tale modello rappresenta un generalizzazione di alcuni modelli presentati in precedenza (Green & Ampt, Horton, Philip).
In letteratura sono presenti alcune indagini comparative sulle prestazioni dei modelli di infiltrazione (Mishra et al. 2003, Chahinian et al. 2005). In particolare Mishra et al. (2003) hanno applicato 14 approcci di varia natura (fisicamente basati, semi empirici, empirici) per la riproduzione di un'ampia serie di dati di infiltrazione relativi a misure di laboratorio e di campo. Lo studio ha evidenziato le migliori prestazioni dei modelli semi-

empirici in quanto in generale quelli fisicamente basati hanno dato buoni risultati principalmente nei terreni utilizzati in prove di laboratorio. Tra i modelli fisicamente basati quello di Smith & Parlange (1978) spicca in termini di performance e risulta molto vicino ai risultati globalmente ottenuti con gli approcci semi-empirici.
Ad eccezione dell'approccio SCS-CN, gli altri metodi presentano almeno due parametri che dovrebbero esser valutati con misure in situ. In alternativa, alcuni parametri come l'umidità del suolo residua, il coefficiente di permeabilità a saturazione, il carico capillare, possono essere stimati in funzione del contenuto di sabbia e di argilla nel suolo attraverso le cosiddette "pedofunzioni" di cui esistono in letteratura alcune formulazioni.

3. Implementazione del modulo di infiltrazione all'interno di un modello di propagazione monodimensionale

Ai fini dell'analisi dei metodi per la valutazione della perdite dovute ad infiltrazione, è stato preliminarmente realizzato un codice monodimensionale di generazione e propagazione di piene. Data l'assenza di casi di studio per la validazione del codice, si è preferito inizialmente considerare semplici situazioni topografiche in cui la risposta del modello fosse in qualche modo intuibile, almeno da un punto di vista qualitativo. Il primo test che è stato eseguito è relativo ad una pioggia costante che interessa un ipotetico versante, a pendenza costante, avente larghezza pari a 1 km e lunghezza 2.5 km. Il suolo è supposto omogeneo, caratterizzato all'inizio dell'evento da una fissata umidità inziale (ipotizzando un valore maggiore di zero per la variabile F). Il modello di infiltrazione utilizzato è quello di Smith & Parlange (1978); per la stima dei parametri sono stati considerati dei valori medi per una sabbia.
Fisicamente è facilmente intuibile che negli istanti di tempo successivi al ponding time si registri una fase di crescita del deflusso superficiale, che si attesterà nel tempo ad un valore costante. Tale comportamento è effettivamente simulato dal modello come evidenzia la figura 4 in cui è presentato il risultato del calcolo nella sezione terminale del canale.

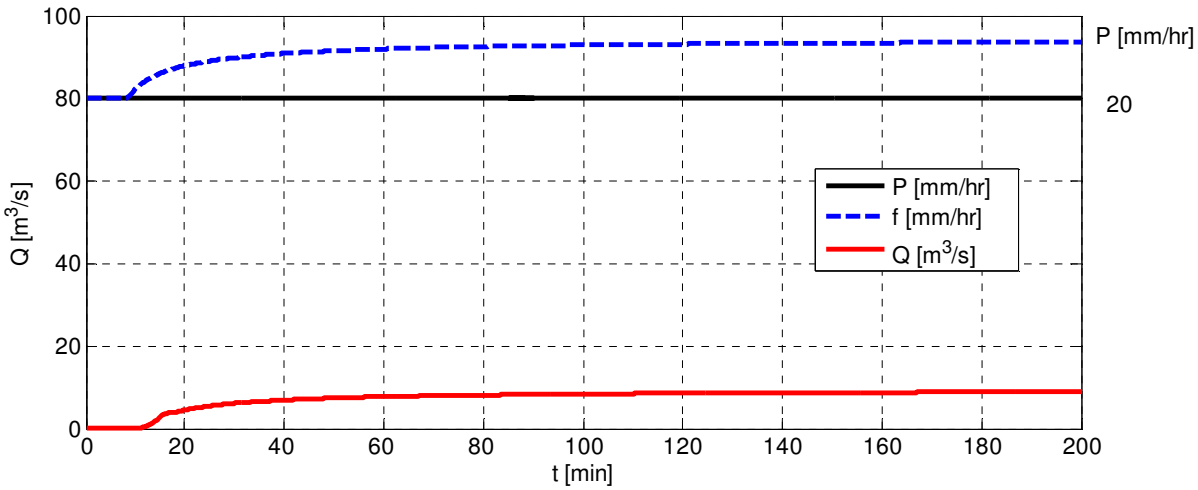

Figura 4. Deflusso superficiale Q, pioggia totale (P) e perdite per infiltrazione (f) nella sezione terminale del canale

In seguito si è passato all'esame del comportamento del modello nel caso la pioggia presenti un'intensità variabile nel tempo. In figura 5 è presentato il risultato della simulazione in cui si può apprezzare un realistico andamento della portata generata dall'evento piovoso; l'area tratteggiata rappresenta il volume di pioggia per unità di superficie perso per infiltrazione.

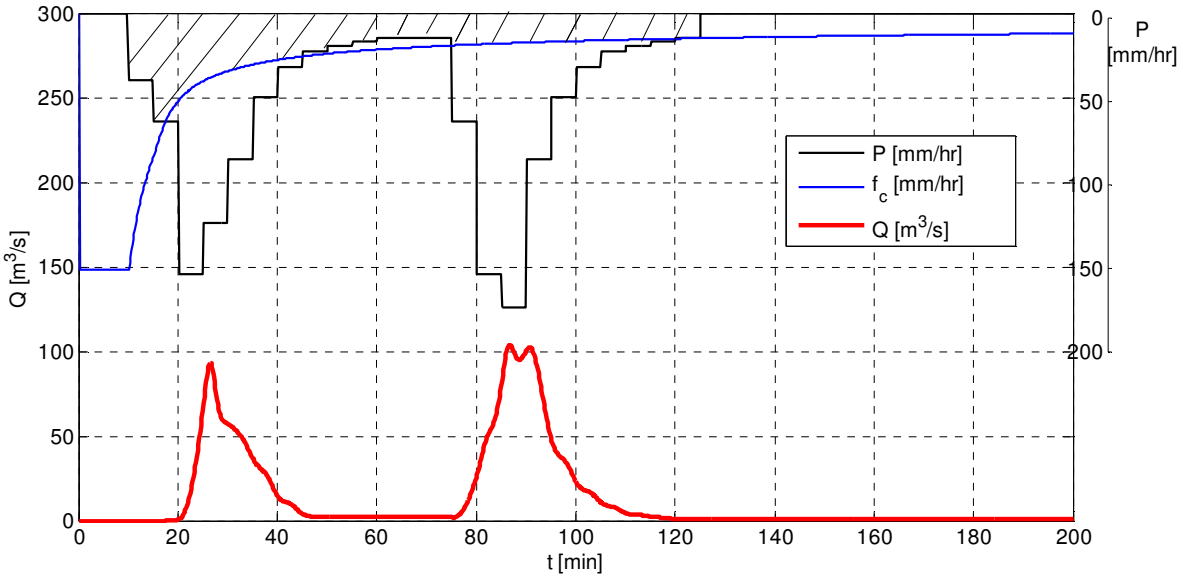

Figura 2. Deflusso superficiale Q, pioggia totale (P) e capacità di infiltrazione (f_c) nella sezione terminale del canale

4. Interfaccia CIRA-LAMPIT

Nel corso di incontri di lavoro tenuti presso il LAMPIT e il CIRA è stato possibile focalizzare l'attenzione sia sulla individuazione di possibili casi di studio che su una serie di aspetti relativi alle realizzazione della catena idro-meteo; in particolare, si è scelto di studiare un caso di pioggia intensa che ha interessato una parte dell'area campana tra il 4 e il 5 marzo 2005 e per il quale si dispone del Rapporto d'evento della Protezione Civile.
Per comprendere le potenzialità della catena idro-meteorologica che si intende sviluppare, si è preferito, in questa fase iniziale, dedicare particolare attenzione alla scelta di un sottobacino di caratteristiche tali da ridurre le cause di incertezza nella modellazione dei fenomeni idraulici e idrologici.
La scelta del sottobacino si effettuerà, di conseguenza, valutando congiuntamente più fattori quali:

- l'estensione del bacino e l'uniformità del tipo di suolo ivi presente
- l'assenza di singolarità idrauliche che possono rendere problematica la validazione
- il numero e la localizzazione geografica delle stazioni di misura dei livelli idrici nonché le scale delle portate

- assenza di significativi fenomeni di trasporto solido
- l'uso del suolo
- le caratteristiche della vegetazione presente

Per effettuare tali valutazioni il CIRA si è fatto carico di acquisire una serie di elementi di natura cartografica e territoriale:

- Cartografia vettoriale 1:5000 e DEM alla massima risoluzione possibile (5x5m o 25x25m);
- Ortofoto
- Reticolo idrografico (in formato shape file .shp);
- Eventuali Sedimentogrammi
- Ricerca bibliografica relativa all'area d'analisi (tesi, articoli, ecc.)

Si è convenuto che per quanto riguarda l'uso preminente del suolo e le caratteristiche della vegetazione si farà ricorso, per omogeneità, ai database esterni utilizzati nel modello meteo COSMO_LM.
E' stato altresì evidenziato come una serie di risultati ottenibili dal modello COSMO_LM possano essere utili ai fini della modellistica che il LAMPIT sta realizzando; in particolare è stata evidenziata la possibilità di utilizzare i risultati relativi alla quantificazione delle perdite, calcolati dal modulo TERRA_LM, come input al modello di propagazione bidimensionale. I dati sui quali si può operativamente strutturare la catena idro-meteo sono stati individuati essenzialmente nei seguenti parametri:

- precipitazione (ogni 3 ore e/o 6 ore e/o 24),
- contenuto d'acqua nel suolo e in superficie
- fattore di distribuzione tra pioggia infiltrata e interception store,
- infiltrazione diretta nel terreno,
- infiltrazione massima (potenziale),
- runoff a partire dall'interception store,
- aliquota di ruscellamento legata alla più o meno limitata capacità del terreno di permettere l'infiltrazione della precipitazione.

5. Sommario e Conclusioni

La collaborazione in atto è finalizzata alla realizzazione di una catena idro-meteorologica 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. Attualmente si sta studiando la valutazione di scenari di rischio idraulico mediante un approccio basato sulle shallow water equations bidimensionali complete che descrivono l'evoluzione spazio-temporale delle correnti a superficie libera in moto vario, a partire da un input pluviometrico fornito dal modello ad area limitata. La definizione di tale modello passa anche attraverso la scelta sia di opportuni schemi di integrazione numerica che di un'adeguata trattazione fisico-numerica del termine sorgente, nel quale, relativamente all'equazione di conservazione della massa liquida,

è presente la differenza tra la pioggia fornita dal modello meteo e le perdite per infiltrazione, mentre, nell'equazione di conservazione della quantità di moto, compaiono i contributi della pendenza topografica e della resistenza al moto. Le perdite per infiltrazione possono essere schematizzate con modelli semiempirici o fisici. Il modello può essere quindi validato attraverso la simulazione di eventi storici e test sperimentali. Tali simulazioni richiedono inoltre, oltre al dato di pioggia, la generazione del modello concettuale del bacino idrografico il cui sviluppo passa attraverso l'utilizzo di opportuni software capaci di gestire ed elaborare una serie di dati topografici, a partire da cartografie digitali.
Le caratteristiche del modello presentato hanno richiesto di conseguenza l'attivazione di una serie di fasi di lavoro articolate secondo i seguenti punti:

- sviluppo della modellistica bidimensionale e rappresentazione del territorio
- analisi dei modelli per la valutazione quantitativa delle perdite di massa liquida dovuta ai fenomeni di infiltrazione
- implementazione del modulo di infiltrazione all'interno di un modello di propagazione monodimensionale
- interfaccia CIRA – LAMPIT

E' stata completa la fase di analisi dei modelli per la valutazione dei processi di infiltrazione che si è tradotta in una implementazione di uno di essi all'interno di un codice di propagazione monodimensionale: tale approccio è stato utilizzato per effettuare alcune semplici simulazioni che hanno permesso di valutare qualitativamente la correttezza dei risultati. Passo successivo sarà l'implementazione del modulo di infiltrazione all'interno del modello di propagazione bidimensionale su griglia non strutturata.
Il codice su griglia non strutturata è stato già validato con una serie di test di laboratorio ed è attualmente in fase di completamento per ciò che riguarda il contributo del termine sorgente.
Una serie di incontri tecnici tra i ricercatori del CIRA e del LAMPIT ha infine permesso l'individuazione un'area di studio, all'interno della regione Campania, per l'applicazione della catena idro-meteo.

Lavori Citati

Chahinian, N., Moussa, R., Andrieux, P., Voltz, M. (2005). Comparison of infiltration models to simulate flood events at the field scale, *Journal of Hydrology*, 306: 191-214, Elsevier.

Costanzo, C., Macchione F. (2005). Comparison of two-dimensional finite volume schemes for dam break problem on an irregular geometry. Proceedings of the XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea, 2005.

Esteves, M., Faucher, X., Galle, S., Vauclin, M. (2000). Overland flow and infiltration modelling for small plots unsteady rain: numerical results versus observed values, *Journal of Hydrology*, 228: 265-282, Elsevier.

Fiedler, F. R., Ramirez, J. A. (2000). A numerical method for simulating discontinuos shallow flow over an infiltrating surface, *International journal of numerical method in fluids*, 32: 219-240, John Wiley & Sons Ltd.

Fiener, P., Auerswald, K. (2005). Measurement and modelling of concentrated runoff in grassed waterways, *Journal of Hydrology*, 301: 198-215, Elsevier.

Gandolfi, A., Savi, F. (2000). A mathematical model for the coupled simulation of surface runoff and infiltration, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75: 49-55, Silsoe Research Institute.

Green, W., Ampt, G. (1911). Studies on soil physics part I: the flow of air and water through soils, Journal of Agricultural Science, 4: 1:24.

Howes, D. A., Abrahams, A. D. (2003). Modeling runoff and runon in a desert shrubland ecosystem, Jornada Basin, New Mexico, *Geomorphology*, 53: 45-73, Elsevier.

Howes, D. A., Abrahams, A. D., Pitman, B. (2006). One- and two-dimensional of overland flow in semiarid shrubland, Jornada Basin, New Mexico, *Hydrological Processes*, 20:1027-1046, Wiley.

Jain, M. K., Singh, V. P. (2005). DEM-based modelling of surface runoff using diffusion wave equation, *Journal of Hydrology*, 302: 107-126, Elsevier.

Kalin, L., Hantush, M. H. (2006). Comparative assessment of two distributed watershed models with application to a small watershed, *Hydrological Processes*, 20:2285-2307, Wiley.

Liu, Q. Q., Chen, L., Li., J.C., Sing, V.P. (2004). Two dimensional kinematic wave model of overland-flow, *Journal of Hydrology*, 291: 28-41, Elsevier

Mishra, S. K., Tyagi, J. V., Singh, V. P., (2003). Comparison of infiltration models, *Hydrological Processes*, 17:2629-2652, Wiley.

Mishra, S. K., Singh, V. P., (1999). Another look at SCS-CN method, *Journal of hydrologic engineering*, 4 (3): 257-264, ASCE.

Mishra, S. K., Singh, V. P., (2006). A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria, *Hydrological Processes*, 20: 2755-2768, Wiley.

Mishra, S. K., Jain, M. K., Pandey, R. P., Singh, V. P. (2006). Catchment area-based evaluation of the AMC-antecedent SCS-CN based rainfall-runoff models, *Hydrological Processes*, 19: 2701-2718, Wiley.

Philip, J. (1957). The theory of infiltration. *Soil Science*, 85:278-286.

Singh, V., Bhallamudi, S. M. (1998). Conjunctive surface-subsurface modeling of overland flow, *Advances in water resources*, 21:567-579, Elsevier.

Singh, V. P., Yu, F. X., (1990). Derivation of infiltration equation using systems approach, Journal of irrigation and drainage engineering, 116(6):837-858, ASCE.

Smith, R. E., Parlange, J. Y. (1978). A parameter efficient hydrologic infiltration model, *Water Resources Research*, 14(3): 533-538, AGU.

Vieux, B., Cui, Z., Gaur, A. (2004). Evaluation of a physics-based distributed hydrologic model for flood forecasting, *Journal of Hydrology*, 298: 155-177, Elsevier.