

## **Elaborazione di dati geomorfologici per la modellazione idrologica in paesi in via di sviluppo**

Andrea Ajmar (\*), Adriana Albanese (\*), Filippo Miotto (\*\*)

(\* ) ITHACA (Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action)

Via Pier Carlo Boggio 61, 10138 Torino, Tel. 011/1975.1852, andrea.ajmar@ithaca.polito.it, adriana.albanese@polito.it

(\*\*) Politecnico di Torino, DITIC (Dip. di Idraulica Trasporti ed Infrastrutture civili)

C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, filippo.miotto@polito.it

### **Riassunto**

Nell'ambito di un progetto finanziato dal Programma Alimentare Mondiale (PAM) delle Nazioni Unite, l'associazione ITHACA ha avuto l'incarico di sviluppare una metodologia per lo studio di eventi alluvionali in Etiopia e, in particolare, nel bacino del fiume Awash, zona storicamente colpita da inondazioni. La finalità dello studio consiste nello sviluppo di un sistema di preallerta e di elaborazione di scenari basato sull'analisi di immagini satellitari e su modellistica idrologica. In particolare l'attività di modellazione ha richiesto un'analisi preliminare finalizzata alla caratterizzazione geomorfologica dell'area, per derivare in maniera automatica informazioni quali: delimitazione degli spartiacque, determinazione del reticolato idrografico, derivazione delle pendenze dei tratti fluviali, ecc. La disponibilità di informazioni di questo tipo nel caso di paesi in via di sviluppo non è sempre assicurata, e non è semplice né economicamente sostenibile l'acquisizione di nuovi dati in campo. Di conseguenza in questo studio è stato necessario ricorrere all'uso di dati disponibili a scala globale. In particolare, per quanto riguarda dataset altimetrici; con questo studio si dimostra la possibilità di utilizzare questo tipo di dati a media scala e di pubblico dominio per derivare i parametri di input che soddisfino i requisiti del modello utilizzato. Per la realizzazione del modello idrologico è stato utilizzato il software HEC-HMS, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, ampiamente applicato nel contesto internazionale in studi riguardanti la valutazione delle piene. Il software è specifico per la modellazione idrologica dei bacini idrografici e quindi per la determinazione delle portate di piena attese in determinate sezioni del bacino.

La soluzione proposta, che utilizza dati e applicazioni di pubblico dominio e che non richiedono la sottoscrizione di licenze, costituisce un elemento chiave per un'implementazione in un sistema operativo di allerta e gestione delle emergenze anche in paesi in via di sviluppo.

### **Abstract**

*In the framework of a project financed by the UN World Food Programme, ITHACA association is in charge for the development of a methodology for the analysis of flood events in Ethiopia, with a specific focus on the Awash basin, an area historically prone to floods and inundations. The purpose of the project is the implementation of an early-warning system and scenario production, based on satellite images analysis and hydrological modeling. Hydrological modeling requires a preliminary analysis finalized to define geomorphologic characteristics of the area, in order to automatically derive information like watershed delimitation, drainage network, slope of each network element, etc. Especially in developing countries, availability of such information is not granted, and the acquisition of new data on the field is not always possible and economically sustainable. Consequently, it was decided to use as source global coverage datasets; present work aims to verify the possibility to use medium scale, public domain elevation datasets in order to derive input parameters for the hydrological model adopted. The hydrological model has been implemented using HEC-HMS software, developed by US Army Corps of Engineers, successfully*

*applied in international contexts for flood analysis. The software is specially conceived for the hydrological modeling at watershed level, obtaining flood discharges at pre-defined closing sections.*

*The proposed solution, based on free and public domain software and datasets, not requiring license acquisition, is the key element for the implementation of an operative early-warning and emergency management system in developing countries.*

## Introduzione

Il lavoro presentato costituisce parte di un progetto più ampio sviluppato per il Programma Alimentare Mondiale (PAM), in cui l'attenzione è rivolta allo studio degli eventi alluvionali in Etiopia e in particolare alle aree di questo territorio che risultano più vulnerabili a questo tipo di calamità naturale.

Il lavoro è consistito nell'utilizzo di un applicativo di simulazione idrologica, che permette di ricostruire un evento di piena conoscendo parametri quali le precipitazioni, la tipologia del suolo, la sua destinazione d'uso e la sua morfologia. In particolare, come dati di input sono stati utilizzati quasi esclusivamente dati di pubblico dominio disponibili a scala globale; gli unici dati di input acquisiti in campo sono i dati di precipitazione, registrati dalle stazioni meteorologiche locali.

Nell'ambito dei modelli di simulazione idrologica l'individuazione del reticolo idrografico è di fondamentale importanza in quanto permette di conoscere l'estensione delle aste fluviali, le loro pendenze e la loro struttura complessiva in modo che possano essere determinati altri parametri necessari a un corretto utilizzo dei modelli stessi. Si descrive il metodo di estrazione automatica del reticolo idrografico a partire dal modello digitale del terreno, a cui è seguita l'implementazione dei dati nel software di modellazione idrologica.

## Descrizione dell'area di studio: il bacino del fiume Awash

Il bacino dell'Awash è uno dei più importanti dell'Etiopia, sia dal punto di vista dell'estensione, pari a 110.000 km<sup>2</sup>, che per il fatto che al suo interno risiedono oltre 10 milioni di persone (Figura 1). Il bacino dell'Awash è suddivisibile in due parti. La prima, di circa 64.000 km<sup>2</sup>, corrispondente all'area analizzata nel presente studio, è composta dal corso d'acqua principale e dalla rete di drenaggio dei suoi affluenti in un territorio prevalentemente montuoso. Il tratto terminale dell'Awash drena un'area di circa 46.000 km<sup>2</sup>, percorrendo un'area desertica e sfociando nel lago chiuso Abbe. La lunghezza dell'asta principale è di circa 1.200 km. Lungo il corso dell'Awash si incontrano due laghi di notevole dimensione. Il primo, Lago Koka, è di tipo artificiale, destinato all'uso idroelettrico e alla laminazione delle piene. Il secondo, Lago Caddabassa, è costituito da una depressione naturale.

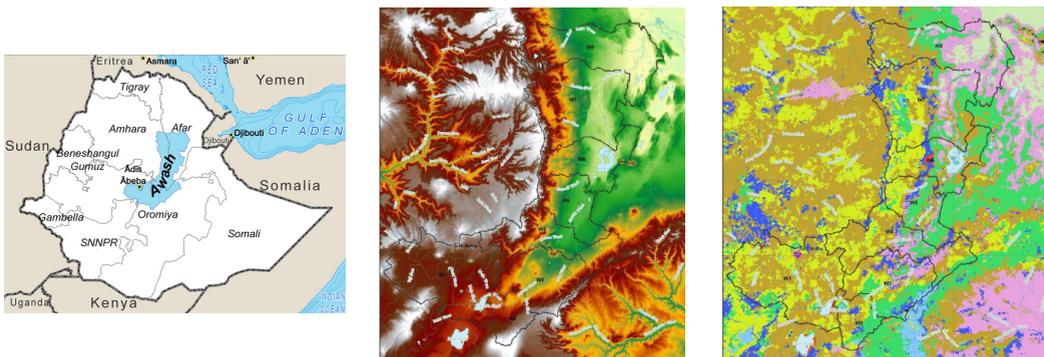


Figura 1 – Il bacino dell'Awash: inquadramento territoriale (sinistra), altimetria (centro) e uso del suolo (destra).

La distribuzione delle precipitazioni segue un andamento fortemente stagionale, con la stagione delle piogge principale nel periodo luglio-ottobre e una seconda in marzo-aprile.

### **Derivazione dei parametri morfologici dell'area di studio**

La delimitazione e delimitazione dei bacini e relativo reticolato idrografico costituiscono un pre-requisito per l'esecuzione di simulazioni basate su modelli idrologici. La disponibilità di informazioni di questo tipo non è sempre assicurata, soprattutto nel caso di paesi in via di sviluppo, e non è semplice né economicamente sostenibile l'acquisizione di nuovi dati in campo. Per tale ragione si è deciso di verificare la possibilità di estrarre tali informazioni da *Digital Elevation Model* (DEM) realizzati a scala mondiale, verificando l'accuratezza del dato prodotto e la sensibilità del modello di simulazione a tali dati.

Sono state analizzate tre diverse fonti di dati per il DEM:

- GTOPO30, con risoluzione al suolo pari a 30 arcosecondi (circa 1 km), completato nel 1996 e derivato da fonti diverse, sia raster che vettoriali. Il GTOPO30 è la fonte principale per il database geografico HYDRO1K, che fornisce in maniera completa e consistente tutti i tematismi necessari per la modellazione idrologica. Il progetto GLOBE della NASA costituisce un aggiornamento di GTOPO30;
- La Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) è una missione compiuta nel 2000 con lo scopo di produrre dati di elevazione a scala quasi globale (circa l'80% delle terre emerse). Ha una risoluzione di circa 90 m all'equatore. L'accuratezza verticale assoluta, misurata per confronto con punti di controllo a terra, è pari a 9 m, con errori maggiori nelle aree più rilevate;
- ASTER GDEM è un prodotto derivante dal processamento automatico, comprensivo di stereo-correlazione per la rimozione della copertura nuvolosa, dell'archivio ASTER, composto da 1,5 milioni di scene. La risoluzione geometrica è di circa 30 m, mentre l'accuratezza verticale è di circa 20 m.

Sulla base delle caratteristiche sopra descritte, è stato deciso di usare SRTM per derivare le principali informazioni territoriali necessarie, tra cui il reticolato idrografico, la pendenza media dei singoli tratti fluviali, gli spartiacque e i bacini. La procedura per la derivazione di tali informazioni segue un processo consolidato che comprende la creazione di un DEM idrologicamente corretto, il calcolo della direzione e dell'accumulo del flusso, la delimitazione dei bacini e infine la creazione della rete di drenaggio (Jenson, 1988; Mark, 1988).

Per una corretta modellazione idrologica è necessario ricostruire anche le sezioni trasversali al corso d'acqua; a tal fine è stato ritenuto più appropriato utilizzare ASTER GDEM come fonte di dato altimetrico, vista la sua maggiore risoluzione geometrica, anche se questo ha richiesto importanti operazioni di pre-processamento del dato. Il processo è stato automatizzato al fine di creare sezioni a intervalli regolari, da cui derivare un valore medio per ogni singolo tratto fluviale modellato.

### **Altre fonti per la derivazione di parametri necessari per la modellazione idrologica**

I modelli idrologici richiedono ulteriori informazioni, quali la tessitura, le proprietà fisico-chimiche e l'uso del suolo. Anche in questo caso, vista l'impossibilità di eseguire campagne di rilievo specifiche, si è deciso di utilizzare fonti a scala globale. In particolare la Digital Soil Map of the World prodotta da FAO/UNESCO (FAO, 1995) costituisce la fonte per derivare il *runoff curve number* (CN, utilizzato per stimare l'infiltrazione e il deflusso dall'eccesso di pioggia), la tessitura dei suoli, la *water holding capacity* (la capacità di ritenzione idrica dei suoli) e la conducibilità idraulica.

Il database Global Land Cover Characteristics (GLCC) (Loveland et al., 2000) è utilizzato per ottenere informazioni legate alla vegetazione e conseguentemente stimare i parametri per il bilancio idrico (ruscellamento, infiltrazione ed evapotraspirazione).

## Utilizzo del software HEC-HMS per la modellazione idrologica

Per realizzare il modello idrologico del bacino dell'Awash si è scelto di utilizzare il software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) distribuito gratuitamente dall'USACE (*US Army Corp of Engineer*). La scelta è stata effettuata in seguito all'analisi e comparazione del software indicato con altri quattro (sia gratuiti che con licenza a pagamento) largamente utilizzati nella modellazione idrologica in ambiti simili a quello oggetto del presente studio.

I parametri, le potenzialità e le capacità di ogni singolo software sono state definite e comparate utilizzando differenti criteri. Sono state prese in considerazione le linee guida che la FEMA (*Federal Emergency Management Agency* degli Stati Uniti) utilizza per definire le capacità di analisi di nuovi software destinati alla modellazione delle piene fluviali. A questi criteri ne sono stati aggiunti altri reperiti in letteratura (Cunderlik, 2003; Cunderlik, Simonovic, 2007), sulla base dei quali è stato possibile definire i parametri di confronto e stabilire il peso da attribuire a ciascuno di essi. In questo caso, i pesi sono stati definiti in base alle esigenze specifiche del progetto, sia in termini di disponibilità di risorse finanziarie, di richieste degli utenti finali, di disponibilità e di caratteristiche dei dati di input e di possibilità di intervenire facilmente nella variazione dei parametri del modello.

Come esito di tale comparazione si è deciso di utilizzare il software HEC-HMS che permette la realizzazione di modelli afflussi-deflussi in bacini idrografici con estensione, caratteristiche idrauliche, idrologiche e geomorfologiche variabili. Il software permette la creazione del modello idrologico, realizzando una schematizzazione ad albero del bacino in esame, dei suoi sottobacini ed delle varie connessioni tra gli elementi idraulici (Figura 2). Tramite l'estensione per ESRI ArcGIS Desktop denominata HEC-GeoHMS, è possibile creare in modo semi-automatico lo schema ad albero del bacino direttamente dal DEM.

Il modello afflussi-deflussi implementato dal software è di tipo semi-distribuito: ogni singolo sottobacino risponderà a una sollecitazione meteorica tramite la convoluzione dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) scelto come funzione di risposta del sottobacino. A livello di sottobacino è possibile scegliere varie metodologie di valutazione delle perdite (evaporazione, infiltrazione, ...). Tramite un'operazione di trasferimento lungo i canali del reticolo idrografico, l'idrogramma di ogni sottobacino viene convogliato nella rete idrografica e trasferito alle sezioni successive. La somma dei vari idrogrammi ottenuti permette di ottenere l'onda di piena in transito lungo il reticolo fluviale.

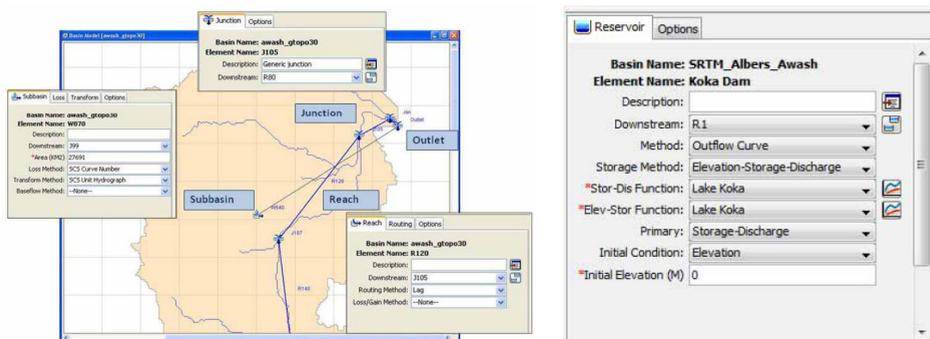


Figura 2 – Schematizzazione del bacino e finestre di controllo/caricamento dei dati.

Opportune funzionalità del software permettono di tener conto della presenza di opere idrauliche, quali dighe, laghi naturali e artificiali, risultando ottimale per l'area di studio.

I risultati sono forniti sia in forma grafica, quali idrogrammi e pluviogrammi, sia in forma tabellare.

## Conclusioni

La disponibilità e l'elaborazione dei dati precedentemente descritti ha consentito la predisposizione di un modello idrologico del bacino dell'Awash, tramite l'uso del software HEC-HMS.

La validazione e la taratura del modello è stata effettuata tenendo conto delle caratteristiche climatiche ed idrologiche del bacino. I dati meteorologici osservati a disposizione riguardano le precipitazioni cumulate giornaliere e l'evaporazione mensile in un numero di stazioni esiguo. Data la notevole estensione del bacino queste permettono di descrivere in modo non del tutto efficiente la reale distribuzione spaziale delle precipitazioni.

Per predisporre correttamente il modello finale è necessario avere a disposizione dati di portata misurati e relativi ad eventi di piena storici, al fine di validare i risultati simulati. Tale attività si rende particolarmente necessaria nel caso dell'area di studio, caratterizzata da valori elevati di evaporazione, da una particolare morfologia del bacino e da caratteristiche idrauliche del corso d'acqua, tra cui la presenza di ampie aree di allagamento. I dati di portata sono relativi alle principali stazioni di misura lungo l'asta principale dell'Awash, riportano le portate giornaliere e sono riferiti al medesimo periodo di tempo per cui sono disponibili i dati di precipitazione.

Le prime analisi hanno mostrato che il metodo SCS-CN (Maidment, 2003; Mishra and Singh, 2003) non fornisce risultati attendibili, in quanto la taratura obbliga ad adottare valori del CN per i sottobacini molto ridotti e fisicamente non validi per le caratteristiche di uso del suolo presenti. Un altro risultato riguarda il tempo di ritardo del bacino, che dalle prime simulazioni risulta essere molto più elevato rispetto a quanto può essere ottenuto con le formule disponibili in letteratura. Il reticolo idrografico, infatti, sembra avere un'elevata capacità di accumulo di volumi di acqua, dovuto probabilmente a estese aree che vengono allagate durante gli eventi di piena anche di tipo ordinario. La presenza di due laghi determina accumuli e rilasci differiti nel tempo delle piene, con conseguente alterazione degli idrogrammi direttamente valutabili.

I dati di portata consentiranno anche un'analisi della sensitività del modello rispetto ai dati morfologici, di proprietà e di uso del suolo derivati da dataset globali, al fine di avere conferma che tali fonti siano idonee per l'individuazione degli eventi di piena.

## Bibliografia

- Cunderlik J.M. (2003), *Hydrologic Model Selection for the CFCAS Project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climate Conditions. Report No. 1*, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.
- Cunderlik J.M., Simonovic S.P. (2007), "Hydrologic models for inverse climate change impact modeling, Challenges for water resources engineering in a changing world", *18th Canadian Hydrotechnical Conference*, Winnipeg, Manitoba, August 2007.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO) (1995), *Digital Soil Map of the World (DSMW)*, CD-ROM V.3.5, FAO, Rome, Italy.
- Jenson S. K., J. O. Domingue (1988), "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54 N. 11: 1593-1600.
- Loveland T.R., Reed B.C., Brown J.F., Ohlen D.O., Zhu J, Yang L., Merchant J.W. (2000), "Development of a Global Land Cover Characteristics Database and IGBP DISCover from 1-km AVHRR Data", *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, no. 6/7, 1303-1330.
- Mark D.M. (1988), "Network Models in Geomorphology", *Modelling in Geomorphological Systems*. John Wiley.
- Maidment D.R. (1993), *Handbook of hydrology*, McGraw Hill, New York.

Mishra S. K., Singh V. P.(2003), *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1132–1136.

U.S. Army Corp of Engineer (USACE) (2000), *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual*, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA.

U.S. Army Corp of Engineer (USACE) (2009), *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – User’s Manual, Version 3.4*, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA.

U.S. Army Corp of Engineer (USACE) (2009), *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Quick Start Guide, Version 3.4*, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, USA.