

Modellazione idrologica in continuo per il monitoraggio delle risorse idriche in agricoltura

Flavio LUPIA (*), Andrea Cozzini (*), Andrea FAIS (*)

(*) INEA, Via Barberini, 38, ROMA. lupia@inea.it; andrea.cozzini@ing.unitn.it; fais@inea.it.

Nell'ambito del Progetto MONIDRI, basato sulla definizione di metodologie e modelli integrati per l'ottimizzazione degli usi idrici su base agro-ambientale ed economica, è stata eseguita una caratterizzazione quantitativa del bilancio idrologico del torrente Cuga (Sardegna), che costituisce un elemento fondamentale di un Sistema di Supporto alle Decisioni per l'utilizzo delle risorse idriche in agricoltura.

L'analisi del bilancio idrologico di bacino, basata sul modello afflussi-deflussi, è stata sviluppata con il software HEC-HMS. La stima dei parametri relativi è stata eseguita in ambiente GIS utilizzando alcuni dataset spaziali ed implementando anche opportuni algoritmi di calcolo per l'estrazione delle caratteristiche fisiche di bacino. L'esistenza di alcuni dati termo-pluviometrici ed idrometrici hanno permesso la calibrazione del modello e la valutazione dei parametri non modellizzati fisicamente.

Il contributo delinea un workflow di processamento sinergico, che prevede l'utilizzo congiunto di software GIS e di modellazione idrologica, per la stima e la calibrazione dei parametri necessari. I risultati, integrati nel Sistema di Supporto alle Decisioni in via di sviluppo, saranno utili ai gestori delle risorse idriche per l'analisi di differenti scenari climatici (annate siccitose e piovose), favorendo la sostenibilità della risorsa irrigua.

Abstract

In the context of MONDRI Project, based on the definition of integrated models for economic and agro-environmental irrigation resources optimization, has been evaluated the hydrologic budget of Cuga River basin (Sardinia), with the final aim to develop a Decision Support System (DSS) for agricultural water resources management.

The hydrologic budget modelling is based on inflow-outflow model implemented by HEC-HMS software. The assessment of input parameters has been performed by GIS using spatial datasets and suitable algorithms for basin physical characteristics extraction. Parameters that are not extractable by GIS or with a non-physical modelling have been estimated calibrating the model using the available streamflow records, air temperature and rain gauge measurements.

The study describes a synergic workflow, based on the use of GIS and hydrologic modelling software, for parameters estimation and calibration. The results, integrated in the DSS, currently under construction, will be useful to water resources managers for several climate scenarios simulations (drought or rainy years), encouraging irrigation resources sustainability.

1.0 Introduzione

La definizione di metodologie e modelli per l'ottimizzazione delle risorse irrigue in agricoltura del progetto MONIDRI¹ ha alla base lo studio e la modellizzazione del bilancio idrologico di bacino. I

¹ MONIDRI (finanziato dal MIUR) - "Definizione di metodologie e modelli integrati per la determinazione dinamica del bilancio idrico e di ottimizzazione degli usi idrici su base agroambientale ed economica con sistemi di supporto alle decisioni multi-utente su bacini - pilota rappresentativi della variabilità fisico - climatica e socio - economica italiana "

risultati ottenuti, unitamente allo studio delle risorse idriche sotterranee, dei dati climatici, dei sistemi di adduzione e distribuzione irrigui e dei fabbisogni irrigui delle colture, costituiscono le componenti di un Sistema di Supporto alle Decisioni che potrà essere utilizzato per la gestione sostenibile delle risorse irrigue.

Nel presente lavoro sono presentati i risultati dello studio del bilancio idrologico del bacino del torrente Cuga, che appartiene ad un sistema complesso di corpi idrici (fig. 1). Il sistema è composto da invasi artificiali (Lago Temo e Lago Cuga), sistemi di canali artificiali e naturali (Rio Sette Ortas, Rio Badde de Jana) e torrenti (Temo e Cuga). Il Consorzio di Bonifiche della Nurra, che gestisce l'irrigazione di tutto il distretto agricolo dell'entroterra di Alghero (SS), utilizza le acque prelevate dall'invaso del Cuga per uso irriguo e potabile.

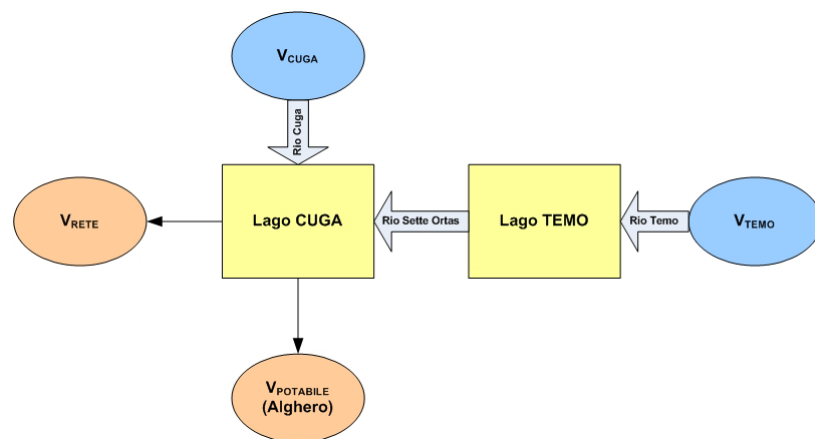


Figura 1 – Interconnessione dei corpi idrici e volumi di ingresso ed uscita per l'invaso del Cuga..

La valutazione del bilancio idrologico di bacino è stata eseguita utilizzando una modellazione in continuo distribuita. A differenza dei modelli ad evento, essa tiene conto del bilancio dell'umidità del suolo su lunghi periodi e simula i flussi con diversa granularità temporale (giorno, mese, anno), inoltre essendo distribuita i vari parametri sono valutati puntualmente attraverso l'analisi su una griglia di calcolo sovrimposta al bacino. L'analisi idrologica è stata eseguita preliminarmente sul bacino del Temo, per il quale esistono delle misure di portata storiche, e in seguito sul bacino del Cuga (privo di misure ideologiche) in questo modo è stato possibile validare il modello.

2.0 Area di studio

Il torrente Cuga costituisce il tronco sud-est del reticolo del rio Barca, il bacino idrologico è compreso tra il monte San Giovanni a sud-est e il monte Unturzu a sud-ovest. Nel presente lavoro la sezione di chiusura è stata posta in corrispondenza dello sbarramento dell'invaso del Cuga, delimitando così un bacino di area pari a circa 64 km² (fig. 2-a), di seguito sono riportate le principali caratteristiche morfoclimatiche del bacino.

Tabella 1 - Principali caratteristiche morfoclimatiche del bacino del Cuga chiuso sull'invaso artificiale omonimo.

Area bacino	64 km ²	Pendenza media	7,63 %
Quota media	ca 286 m s.l.m.	Estensione rete idrografica	18,98 km
Quota max	ca 535 m s.l.m.	Piuvosità media (1995-2004)	666,1 mm (Putifigari)
Quota minima	ca 50 m s.l.m.	ETP media (1995-2004)	1001,31 mm

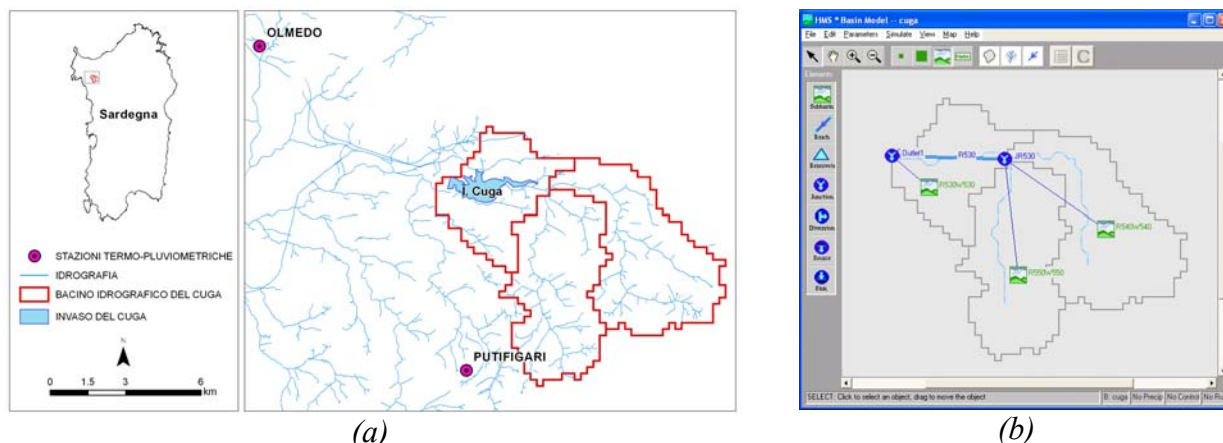


Figura 2 – Area di studio con il bacino idrografico del Cuga delineato con HEC- GeoHMS (a) e schematizzato con HEC-HMS (b).

3.0 Metodologia

L'analisi del bilancio idrologico è stata sviluppata con il software HEC-HMS 2.2.2 (*U.S. Army Corps of Engineers*) mentre la stima dei parametri è stata eseguita in ArcView 3.2 (*ESRI Inc.*) con l'ausilio dell'estensione HEC-GeoHMS 1.1. L'utilizzo di HEC-HMS prevede la schematizzazione del bacino idrologico attraverso opportuni elementi (fig. 2-b), la suddivisione in sottobacini e canali e la definizione di un modello meteorologico. La delimitazione del bacino idrografico, la suddivisione in sottobacini e l'estrazione delle caratteristiche morfologiche è stata eseguita in ambiente GIS, utilizzando il DEM dell'area e le funzioni dell'estensione HEC-GeoHMS (fig. 2-a). Analoghe elaborazioni sono state effettuate per il bacino idrografico del fiume Temo.

In HEC-HMS per ogni sottobacino occorre definire i modelli di calcolo da utilizzare per le componenti *LOSS* (produzione dei deflussi), *TRANSFORM* (aggregazione dei deflussi) e *BASEFLOW* (deflusso profondo), mentre per i canali occorre selezionare il modello di trasporto.

L'algoritmo selezionato per la produzione dei deflussi è il *Soil Moisture Accountig* (SMA), la scelta è stata obbligata poiché si vuole sviluppare una simulazione in continuo. Concettualmente il modello SMA suddivide la pioggia che cade su un bacino in cinque zone di accumulo: vegetazione, depressioni superficiali, suolo e due orizzonti di acqua sotterranea. L'algoritmo richiede in input un numero elevato di parametri (Tabella 2) che devono essere opportunamente stimati per ogni sottobacino.

Per l'aggregazione dei deflussi è stato utilizzato il modello di Clark, esso si basa sul metodo dell'idrogramma unitario istantaneo secondo il quale la trasformazione della pioggia in deflusso è generata da una traslazione attraverso il reticolo idrografico ed una laminazione dovuta all'immagazzinamento transitorio dell'acqua nel bacino. Il modello di Clark prevede il calcolo del tempo di corrivazione e di un coefficiente di immagazzinamento temporale per il bacino, questi sono stati stimati rispettivamente attraverso la formula di Giandotti (Giandotti, 1934) ed una relazione empirica.

Per il deflusso ipodermico e profondo si è utilizzato un modello a serbatoi lineari in serie. I parametri da definire sono il numero di serbatoi ed il coefficiente di immagazzinamento espresso in ore, questi sono stati ricavati attraverso una serie di verifiche grafiche condotte confrontando le variazioni di volume nell'invaso del Cuga.

Il modello di trasporto utilizzato all'interno dei canali è il modello Lag, in cui l'idrogramma in ingresso al canale coincide con quello in uscita a meno di un ritardo temporale (assenza di laminazione dell'onda di piena). Per definire il ritardo si è utilizzata la lunghezza dei canali e la velocità media di flusso posta pari a 0,55 m/s (stimata in base alla pendenza, alla vegetazione e al carattere torrentizio dei canali).

Tabella 2 – Parametri necessari per il modello SMA.

CODICE	DESCRIZIONE	UNITA'
<i>IMP</i>	Percentuale di bacino impermeabile	%
<i>INTVEG</i>	Intercettazione della vegetazione	mm
<i>CADSUP</i>	Capacità di accumulo nelle depressioni superficiali	mm
<i>MCIS</i>	Massima capacità di infiltrazione nel suolo	mm/h
<i>CAS</i>	Capacità di immagazzinamento nel suolo:	mm
<i>CAZTS</i>	Acqua immagazzinata in forma igroscopica	mm
<i>MCPS</i>	Massima capacità di percolazione dal suolo	mm/h
<i>CADS1</i>	Capacità di immagazzinamento nello strato 1:	mm
<i>MCPDS1</i>	Massima capacità di percolazione dallo strato 1:	mm/h
<i>TADS1</i>	Coefficiente di ricarica dello strato 1:	h
<i>CADS2</i>	Capacità di immagazzinamento nello strato 1:	mm
<i>MCPDS2</i>	Massima capacità di percolazione dallo strato 2 (rappresenta la quota persa dal sistema)	mm/h
<i>TADS2</i>	Coefficiente di ricarica dello strato 2:	h
<i>CIINTVEG</i>	Percentuale iniziale di acqua intercettabile dalla vegetazione	%
<i>CIADSUP</i>	Percentuale iniziale di acqua accumulata nelle depressioni superficiali	%
<i>CIAS</i>	Percentuale iniziale di acqua immagazzinata nel suolo	%
<i>CIADS1</i>	Percentuale iniziale di acqua immagazzinata nello strato 1:	%
<i>CIADS2</i>	Percentuale iniziale di acqua immagazzinata nello strato 2	%

Utilizzando l'algoritmo SMA, per definire il modello meteorologico occorre considerare la pioggia distribuita in maniera uniforme su una griglia di calcolo sovrapposta al bacino. A tal scopo sono state create delle matrici di peso per ogni stazione pluviometrica contenuta e/o vicina al bacino, per definire una pioggia uniforme per ogni cella della griglia (celle di ampiezza pari a 2 km). L'algoritmo SMA richiede anche l'inserimento dei valori di evapotraspirazione media mensile, questa è stata calcolata (in mm/giorno) con la formula di Hargreaves (Hargreaves, 1982) mediante fogli elettronici.

3.1 Stima dei parametri del modello SMA

Per la stima dei parametri, non avendo a disposizione misure di portata dirette su cui tarare il modello, si è fatto riferimento alla cartografia tecnica disponibile (pedologica, di copertura del suolo e geologica) definendo un insieme di valori rappresentativo delle caratteristiche del suolo e del sottosuolo del bacino, tenendo anche conto delle similitudini in senso idrologico con il bacino del fiume Temo.

Mediante cartografia di uso del suolo, è stata valutata l'intercettazione della pioggia da parte della vegetazione (INTVEG) e l'estensione della superficie impermeabile per ogni sottobacino (IMP).

La capacità di immagazzinamento all'interno delle depressioni superficiali (CADSUP), che dipende dalla pendenza, è stata valutata per ogni cella elaborando il DEM ed utilizzando come riferimento i valori riportati in letteratura.

Per quanto riguarda i parametri del suolo si è fatto riferimento alla cartografia pedologica prodotta dall'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze, definendo per ogni unità di suolo, sulla base dei rilievi podologici, i valori dei parametri MCIS, CAS CAZTS ed MCPS.

I parametri che caratterizzano gli strati profondi del suolo CADS1, MCPDS1, TADS1, CADS2, MCPDS2 e TADS2 sono stati determinati sulla base della cartografia geologica disponibile (scala 1:50.000) e della classifica SCS (SCS, 1972), attribuendo i terreni del bacino alle classi A e B.

I parametri relativi alle condizioni iniziali (CIINTVEG, CIADSUP, CIAS, CIADS1, CIADS2) sono stati posti pari al 100% del loro valore, poiché essi influenzano soltanto l'andamento dei deflussi nei primi dieci giorni di simulazione.

I parametri definiti per l'algoritmo SMA sono stati calibrati attraverso le simulazioni effettuate con il software HEC-HMS, raffinandone progressivamente il valore mantenuto all'interno di un range fisicamente realistico, tenendo conto anche della validazione effettuata per il bacino del Temo. Per il controllo dell'efficacia della calibrazione sono stati utilizzati metodi grafici basati sul confronto

tra l'andamento dei deflussi misurati (solo per il Temo) e calcolati. Il confronto è stato eseguito tra: valori giornalieri di deflusso (idrogrammi continui), valori medi mensili accumulati e valori giornalieri ordinati in senso decrescente (curve di durata).

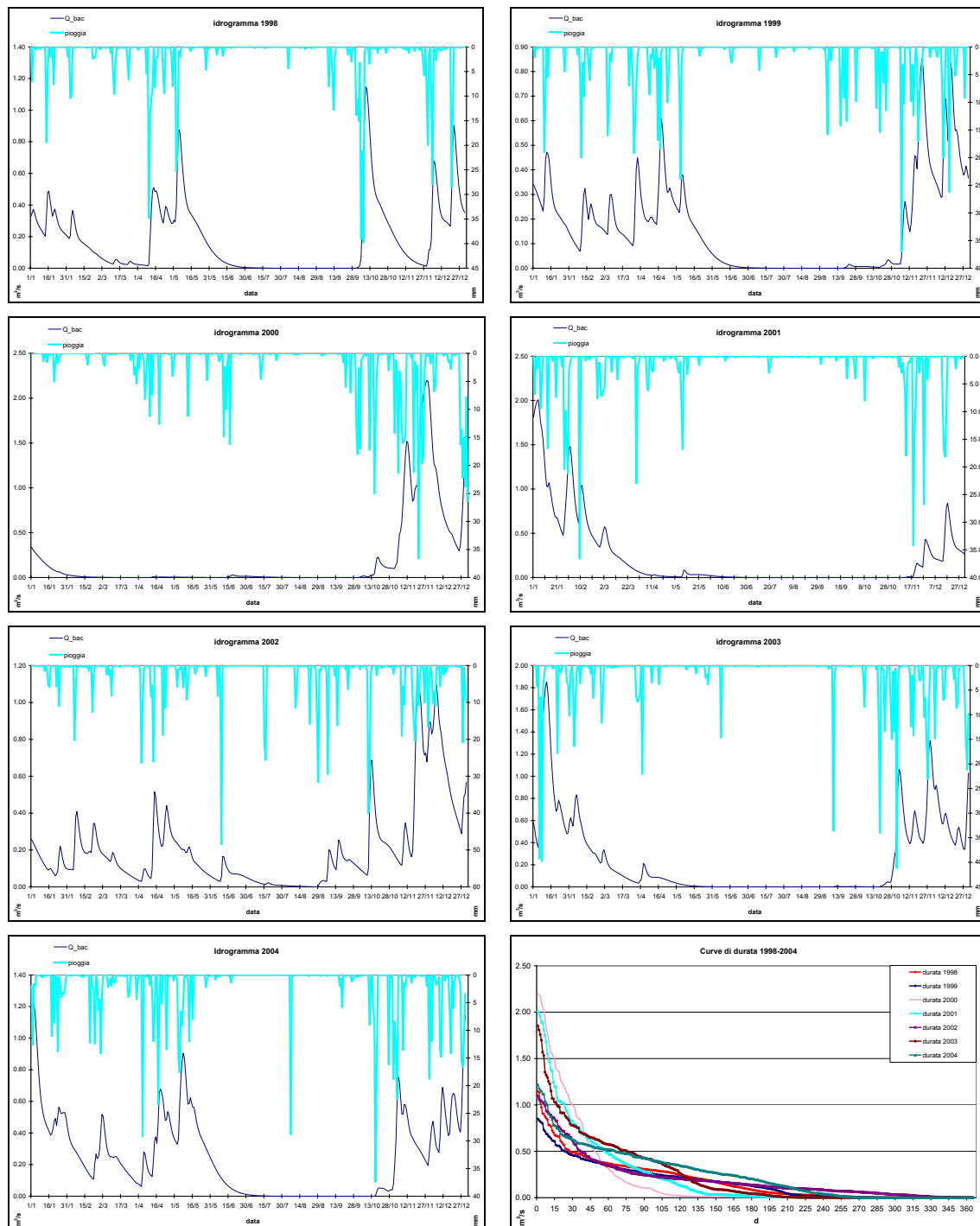


Figura 3 – Idrogrammi di piena simulati (flussi giornalieri in m^3/s) alla sezione di chiusura dell'invaso del Cuga e curve di durata per il periodo 1998-2004.

La bontà dell'adattamento è stata valutata in termini quali-quantitativi riferendosi ai seguenti aspetti in ordine decrescente di priorità:

- Curve di durata: analisi dell'andamento (concavità) e del ramo inferiore per la verifica della corretta ricostruzione del regime idrologico e dell'ordine di grandezza dei deflussi di magra;

- Idrogrammi continui: ricostruzione dell'andamento (curvatura e/o pendenza) e dei valori del flusso base (portate di esaurimento-magra in periodi privi di afflussi meteorici);
- Ricostruzione dell'andamento e dell'ordine di grandezza dei deflussi medi mensili per garantire la conservazione dell'ordine di grandezza dei volumi totali annui e/o mensili;
- Ricostruzione quali-quantitativa degli eventi più significativi, sia isolati che in sequenza, con particolare attenzione alla capacità di ricostruire l'entità dei picchi di piena dopo periodi siccitosi (indicativo di una corretta concettualizzazione del serbatoio suolo) e l'andamento (curvatura e/o pendenza) del ramo discendente dell'idrogramma di piena (indicativo di una buona ricostruzione del passaggio fra ruscellamento diretto e deflussi ipodermici e/o profondi).

L'analisi dettagliata dei risultati evidenzia che il bacino del Cuga ha:

- una risposta praticamente immediata alle piogge di maggiore intensità;
- una risposta modesta ad eventi intensi di pioggia successivi ad lungo periodo secco (tipicamente le piogge tardo estive o di inizio autunno), tale comportamento è dovuto alla ricarica dei serbatoi sotterranei del bacino;
- un coefficiente di deflusso annuale con valore medio di 0.2 che è tipico per i bacini sardi;
- un periodo secco ricostruito di circa 80-100 giorni all'anno che si estende notevolmente negli anni più siccitosi fino ad arrivare anche a 240 giorni come nel 2002 (curve di durata).

4.0 Conclusioni

L'utilizzo congiunto di software GIS e di modellazione idrologica costituisce un valido sistema per la stima dei parametri necessari alla valutazione del bilancio idrologico di bacino qualora sia disponibile un valido dataset spaziale. Tuttavia per validare il modello e calibrare i parametri occorrono i dati idrometrici. Nel presente lavoro, la mancanza di misure di portata per il bacino analizzato è stata superata eseguendo la modellazione su un bacino vicino dotato di misurazioni di flusso e calibrando ugualmente i parametri attraverso criteri di similitudine.

I risultati ottenuti, nel limite degli errori del modello e delle approssimazioni, sono un componente fondamentale per la valutazione del bilancio idrico dell'invaso del Cuga. La stima di tali volumi, insieme alla valutazione degli altri contributi idrici dell'area di studio, costituisce l'input principale del DSS del Progetto Monidri, che simulando diversi scenari climatici, fornirà indicazioni utili per una gestione sostenibile delle risorse irrigue.

5.0 Bibliografia

- Fleming M., Neary V. (2004), "Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System". *Journal Of Hydrologic Engineering*, May/June.
- Giandotti M. (1934), "Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua". *Memorie e studi idrografici*, Pubbl. 2 del Servizio Idrografico Italiano, vol. VIII, pp. 107.
- Gobierno de Cantabria (2005), "Estudio de los Recursos Hídricos de los Ríos de la Vertiente Norte de Cantabria". *Memoria*, Santander.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., (1982), "Estimating potential evapotranspiration". Tech. Note, *J.Irrig. and. Drain Eng.*, ASCE, 108.
- Hydrologic Engineering Center (2000), "Hydrologic modeling system HEC-HMS: Technical reference manual". *U.S. Army Corps of Engineers-Hydrologic Engineering Center*, Davis, California.
- SCS-Soil Conservation Service, (1972), "Hydrology". *National engineering handbook*, Section 4. Washington: USDA, p 101- 1023.