

Mappatura del deflusso annuo superficiale in Sicilia

Vincenzo OLIVERI(*), Francesco LO CONTI(*), Lorena LIUZZO(*), Leonardo V. NOTO(*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Applicazioni Ambientali, Università degli studi di Palermo – viale delle Scienze edificio 8 – 90128 Palermo, tel +39 091 6657726, fax +39 0916657749, e-mail: vincenzooliveri@gmail.com, loconti@idra.unipa.it, liuzzo@idra.unipa.it, valerio@idra.unipa.it,

Abstract

Nella risoluzione di numerosi problemi pratici dell'idrologia delle acque superficiali è importante poter far affidamento su informazioni relative ai deflussi che siano contemporaneamente affidabili e diffuse sul territorio. La creazione di uno strumento capace di restituire il deflusso e soprattutto la portata che attraversa una determinata sezione di un corso d'acqua è di fondamentale importanza sia per la pianificazione delle risorse idriche in una data regione sia per l'individuazione delle possibili zone soggette al rischio della desertificazione. La stima del deflusso superficiale permette inoltre la determinazione della concentrazione degli inquinanti, concentrati o diffusi, nei corpi idrici negli studi relativi alla qualità delle acque (come ad esempio i piani di tutela delle acque) noto che sia il carico totale. Obiettivo di questo lavoro è la mappatura del deflusso superficiale a scala annuale relativo al territorio siciliano attraverso l'utilizzo delle tecniche GIS utilizzando le serie storiche degli afflussi e dei deflussi medi mensili e annui forniti dall'Ufficio Idrografico Regionale (UIR). Tale lavoro, basato sull'impiego dei rapporti adimensionali fra gli L-moments e di due test statistici, prevede la suddivisione della regione in zone idrometriche omogenee; per ciascuna delle quali viene individuata un modello di trasformazione afflussi-deflussi a scala annua. I risultati più importanti sono rappresentati da strati informativi (trasformati anche in mappe) che forniscono a scala regionale della Sicilia, a risoluzione 100 m il deflusso medio annuo prodotto e l'andamento delle portate medie annue.

Abstract

The solution of many practical problems in surface hydrology is strictly connected to the availability of reliable and widespread information concerning runoff. The creation of a tool able to estimate surface runoff and discharge in a fixed basin outlet is fundamental for water resources planning and for the identification of areas prone to desertification. Surface runoff assessment allows also the determination of concentration of point and non-point pollutants in water bodies starting from the estimation of total polluting loads. The main aim of this work is mapping the annual surface runoff for the entire island of Sicily using GIS techniques and time series data of annual rainfall and runoff coming from the Hydrographic Regional Office (UIR). The proposed procedure, based on the use of L-moment ratios and two statistic tests, consists of subdivision of the region in different hydrometric homogeneous zones; for each one of these zones a rainfall-runoff hydrological model is implemented at annual scale. The most important results of this procedure are represented by different layers and maps which are able to reproduce at a regional scale and with a resolution of 100 m, the mean annual runoff and the mean annual discharge for any point in Sicily.

Introduzione

Le mappe di deflusso rappresentano un utile strumento attraverso il quale è possibile stimare i deflussi in una data regione. Creare uno strumento capace di restituire il deflusso e soprattutto la portata che attraversa una determinata sezione di un corso d'acqua è fondamentale per l'individuazione delle possibili aree soggette al rischio di desertificazione. Tali mappe possono

anche essere utilizzate per la stima delle perdite idrologiche, attraverso la differenza tra le informazioni relative alla precipitazione meteorica e al deflusso medio annuo. In letteratura scientifica la maggior parte delle mappe sono state prodotte a diverse scale, dalla scala di bacino a quella continentale (Liebscher, 1972; Bishop e Church, 1992, 1995; Sauquet et al., 2000); quasi tutte si basano su una rappresentazione a isolinee. Tali mappe risultano adatte per descrivere la variabilità spaziale di una grandezza continua nello spazio, come la precipitazione, mentre si rivelano meno adatte per descrivere il deflusso idrico. Per questo tipo di variabile le mappe coroplete, ricavate riportando i dati su di una griglia regolare, si mostrano più adatte (Arnell, 1995). La mappa coropleta è un sistema di rappresentazione cartografica, utilizzata per raffigurare la distribuzione spaziale di un fenomeno, che impiega colori di distinzione applicati ad aree differenti; la gradazione di intensità esprime la variazione del fenomeno sulle unità territoriali scelte. Obiettivo di questo lavoro è la realizzazione di mappe spazialmente distribuite relative al deflusso medio annuo a scala regionale attraverso l'impiego delle tecniche GIS. La metodologia proposta è stata applicata alla Sicilia.

Caratteristiche dal dataset

Nella fase di reperimento dei dati, si sono esaminati i dati mensili e annui di afflusso e di deflusso contenuti degli annali idrologici forniti dall'Ufficio Idrografico Regionale della Sicilia a partire dal 1923 fino al 1997. Al fine di garantire una maggiore affidabilità alle successive analisi si sono dapprima eliminate le stazioni con numerosità campionaria inferiore a dieci anni e successivamente si è verificato se nel tempo sono accaduti eventi che abbiano potuto alterare la serie storica della stazione stessa riconducendo pertanto l'informazione idrografica inizialmente disponibile da 105 stazioni a 69. Tramite tecniche GIS si sono individuati i bacini idrografici a partire dal DEM della Sicilia attraverso l'utilizzo delle seguenti funzioni standard:

1. *Fill*, che consente di correggere il *Digital Elevation Model* per renderlo compatibile con l'individuazione delle linee di impluvio e di displuvio eliminando le aree depresse;
2. *Flow Direction*, che consente di ottenere lo strato raster delle direzioni di flusso;
3. *Flow Accumulation*, che applicato allo strato raster delle direzioni di flusso, consente di ottenere la rete di drenaggio
4. *Watershed*, che consente l'individuazione del bacino, una volta definita la cella che rappresenti la sezione di chiusura (Figura 1);

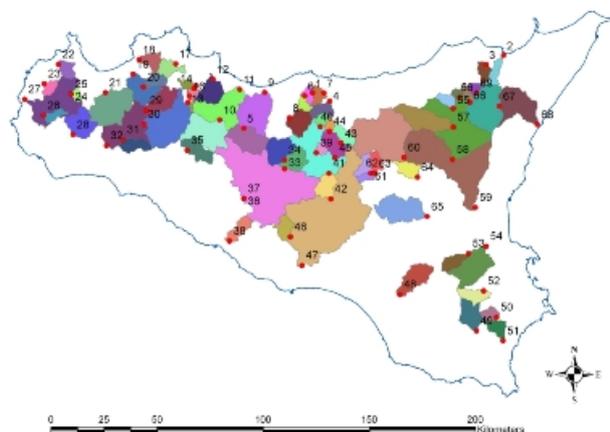


Figura 1 – Ubicazione e delimitazione dei bacini idrografici



Figura 2 – Suddivisione della Sicilia in 6 sottozone idrometriche omogenee

Terminata la fase di *screening* dei dati, il passo successivo è stata l'individuazione delle zone omogenee, basandosi sul concetto di similitudine idrologica secondo cui i bacini con caratteristiche geomorfoclimatiche simili dovrebbero avere comportamenti analoghi dal punto di vista idrologico. Per la determinazione delle regioni idrometriche omogenee si sono calcolati le statistiche

riassuntive dei dati, calcolare i valori dei rapporti tra gli *L-moments* (L_{cv} , L_{skew} , L_{kur}) espressi come combinazione lineare dei momenti pesanti in probabilità (Hosking e Wallis, 1997) e l'utilizzo di due test: il test di discordanza, che permette di identificare quelle stazioni in cui i valori dei suddetti rapporti sono significativamente diversi da quelli delle altre stazioni; e il test di eterogeneità che verifica se un gruppo di stazioni possano essere considerate o meno appartenenti ad una regione omogenea. Si riporta in Figura 2 la suddivisione della Sicilia nelle sei sottozone idrometriche omogenee ottenuta tramite l'applicazione dei test basati sugli *L-moments*.

Costruzione e taratura di trasformazione afflussi-deflussi a scala annuale

Per la realizzazione del modello di trasformazione afflussi-deflussi valido per ogni sottozona omogenea in cui si è suddivisa la Sicilia, è stato necessario elaborare una grande quantità di dati, utilizzando il software ArcView GIS. Si è svolta un'analisi critica sui bacini contenenti le 44 "grandi dighe" presenti sul territorio siciliano (Bruno et al., 2003), in quanto la realizzazione di un invaso artificiale, provoca, oltre alla variazione del regime idrico e fluviale nella superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso, l'arresto del deflusso che viene intercettato dallo sbarramento e quindi non giunge più attraverso la rete fluviale alla sezione di misura dove vi può essere la presenza della stazione idrometrica.

Al fine di stimare il deflusso anche nei bacini non strumentati, si è cercato di implementare un semplice modello di trasformazione afflussi-deflussi a scala annua. Il metodo che verrà qui di seguito presentato fornisce una curva di "previsione" del deflusso annuale in funzione dell'afflusso stimato sulla stessa finestra temporale. Si è analizzata la particolare configurazione morfologica e geografica dei bacini in quanto in alcuni casi lungo lo stesso corso d'acqua e quindi all'interno dello stesso bacino idrografico, è presente più di una stazione idrometrica che sottende bacini diversi. In questi casi l'informazione idrologica contenuta nel bacino sotteso dalla stazione di valle comprende l'informazione contenuta nei bacini di monte ed è pertanto necessario rendere le informazioni idrologiche di ogni sottobacino indipendenti dalle altre escludendo in questo modo informazioni ridondanti. A titolo di esempio in Figura 3 vengono riportate le unità territoriali individuate relativamente al bacino del Belice. Per ciascuna di queste unità indipendenti si sono calcolate le altezze medie annue di afflusso e di deflusso e disposte nel diagramma riportato in Figura 4. Realizzato il diagramma si è cercata la funzione che rappresenti al meglio la relazione tra afflussi e deflussi. La funzione adottata al fine di minimizzare gli scarti è data dall'insieme di due equazioni che, in funzione di un parametro discretizzante (afflusso critico, A_c), tendono a rappresentare al meglio la relazione cercata. La scelta delle due differenti equazioni è legata alla non linearità dei processi idrologici soprattutto nel caso di afflussi bassi; pertanto si preferisce utilizzare la funzione esponenziale nei casi in cui la pioggia risulti inferiore ad un valore critico A_c , mentre si impiega la funzione lineare per valori delle precipitazioni maggiori di A_c . Il modello afflussi-deflussi è descritto dalle seguenti formule che minimizzano la somma dei quadrati degli errori tra deflussi misurati e stimati:

$$D = 0.10725 \cdot A \cdot e^{(0.00123 \cdot A)} \quad \text{per } A < A_c \quad [1]$$

$$D = 0.65342 \cdot A - 296.38 \quad \text{per } A \geq A_c \quad [2]$$

in cui D è il deflusso medio annuo [mm annuo^{-1}] e A è l'afflusso medio annuo [mm annuo^{-1}].

La procedura fin qui mostrata, non viene applicata a scala di bacino, bensì alla scala delle sei zone idrologicamente omogenee precedentemente individuate. Il fatto che i dati relativi ai bacini con dimensioni da poche decine a alcune centinaia di chilometri quadrati seguano la stessa relazione e quindi lo stesso trend, è un indice del fatto che il fenomeno osservato risulta poco dipendente dalla dimensione del bacino giungendo quindi alla conclusione che il comportamento della curva del deflusso atteso, è tipicamente scala-invariante, il che rappresenta un risultato di notevole interesse.

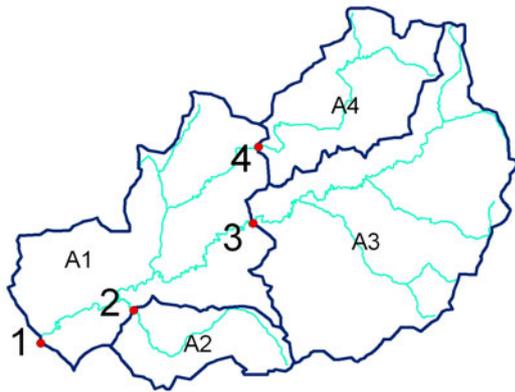


Figura 3 – Sottobacini del Belice

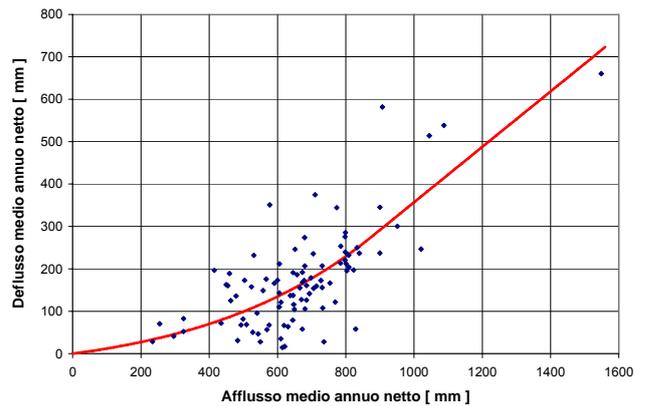


Figura 4 – Relazione afflussi netti - deflussi netti relativi al bacino del Belice

Le relazioni ottenute, utilizzate per stimare il deflusso superficiale in ognuna delle sei sottozone omogenee, vengono applicate, tramite l'utilizzo di tecniche GIS, a scala regionale, utilizzando una struttura di tipo raster, realizzando, come prodotto ultimo, mappe spazialmente distribuite relative al deflusso medio annuo. In particolare a partire dallo strato informativo delle precipitazioni medie annuali (Figura 5), avente risoluzione di cella 500m, è stato creato, applicando il modello afflussi-deflussi descritto dalle [1] e [2] lo strato informativo del deflusso medio annuo "atteso" (Figura 6).

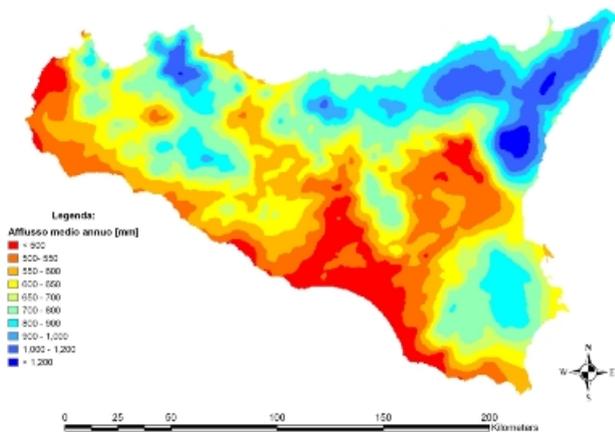


Figura 5 – Strato informativo delle precipitazioni medie annuali

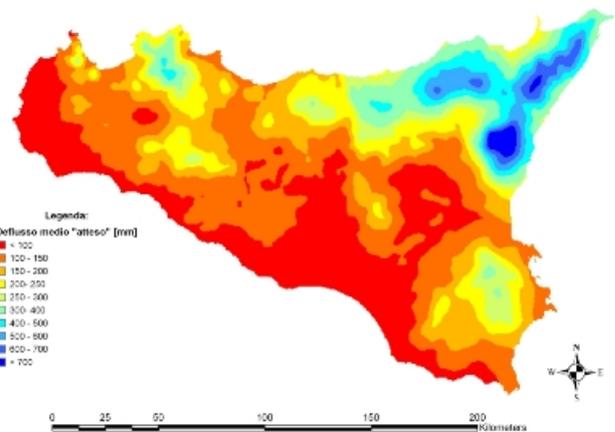


Figura 6 – Strato informativo del deflusso medio "atteso"

Realizzato lo strato informativo relativo al deflusso medio "atteso" si osserva che questo per i bacini strumentati non fornisce valori uguali a quelli medi annui con cui il modello è stato creato; ciò è dovuto alla circostanza che le relazioni utilizzate per la determinazione del deflusso, stimano il comportamento medio dei bacini appartenenti a ciascuna delle sei sottozone, e tali stime si discostano di una quantità più o meno variabile dal comportamento del singolo sottobacino. A titolo di esempio si riportano in Figura 7, relativamente ai sottobacini del Belice, i valori dell'afflusso medio annuo \bar{A} e del deflusso medio annuo \bar{D} entrambi relativi alle unità territoriali A_i ; si riporta infine il valore del deflusso medio stimato \bar{D}^* come la media areale dal layer del deflusso medio annuo "atteso".

Lo strato informativo "correttivo", riportato in Figura 8, è uno strato in cui ai diversi bacini strumentati viene assegnato il relativo valore del deflusso necessario per far coincidere il valore del deflusso medio, stimato nella mappa in una sezione di chiusura di un bacino strumentato, con quello misurato dalla relativa stazione idrometrica.

Sottobacini del Belice				
Valori medi dei sottobacini	Belice destro a Sparacia [mm]	Belice sinistro a Casa Balate [mm]	Senore a Finocchiarà [mm]	Belice a Belice [mm]
\bar{A}	702.78	692.19	661.67	583.60
\bar{D}	219.86	192.25	147.97	128.44
\bar{D}^*	181.12	176.99	159.98	117.76

Figura 7 – Valori di afflusso e di deflusso medi netti relativi ai sottobacini del Belice

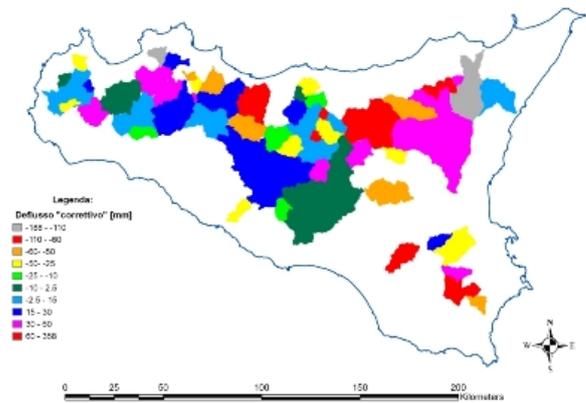


Figura 8 – Strato informativo del deflusso annuo medio “reale”

Tale strato viene quindi sommato allo strato informativo del deflusso atteso ottenendo in tal modo lo strato informativo del deflusso “reale” (Figura 9) che esprime per ciascuna cella, avente dimensione caratteristica di 500 m, il valore del deflusso specifico, cioè quello generato nella stessa.

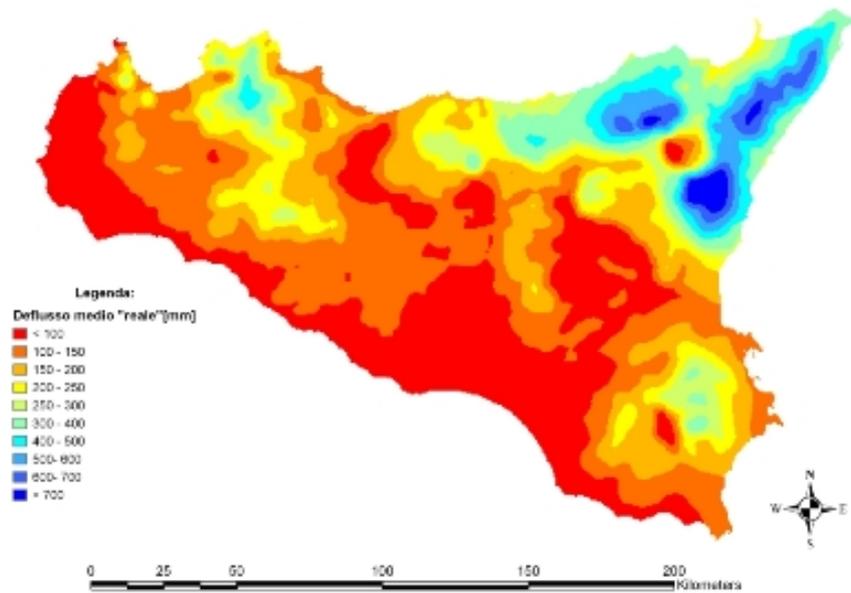


Figura 9 – Strato informativo del deflusso annuo medio “reale”

Obiettivo ultimo di questo lavoro è la creazione di uno strato informativo che esprima in ogni cella il deflusso prodotto da tutte le aree contribuenti che sversano in quel punto, ossia il deflusso cumulato. Lo strato informativo dei deflussi cumulati è stato ottenuto implementando l’algoritmo *Weighted Flow-Accumulation* in ArcMap. L’algoritmo in input utilizza lo strato informativo *Flow Direction*, e restituisce un raster in cui ogni cella assume il valore cumulato dei pixel, dello strato informativo utilizzato come raster dei pesi, che sversano in quel punto. Poiché il raster dei pesi utilizzato è quello relativo al deflusso medio “reale” in termini di altezza di deflusso, ogni cella del raster in output è caratterizzato dal valore del deflusso cumulato specifico [mm/anno] riferito all’unità di cella (100 m x 100 m). Si riporta in Figura 10 lo strato informativo delle portate medie annue per portate superiori a 100 l/s.

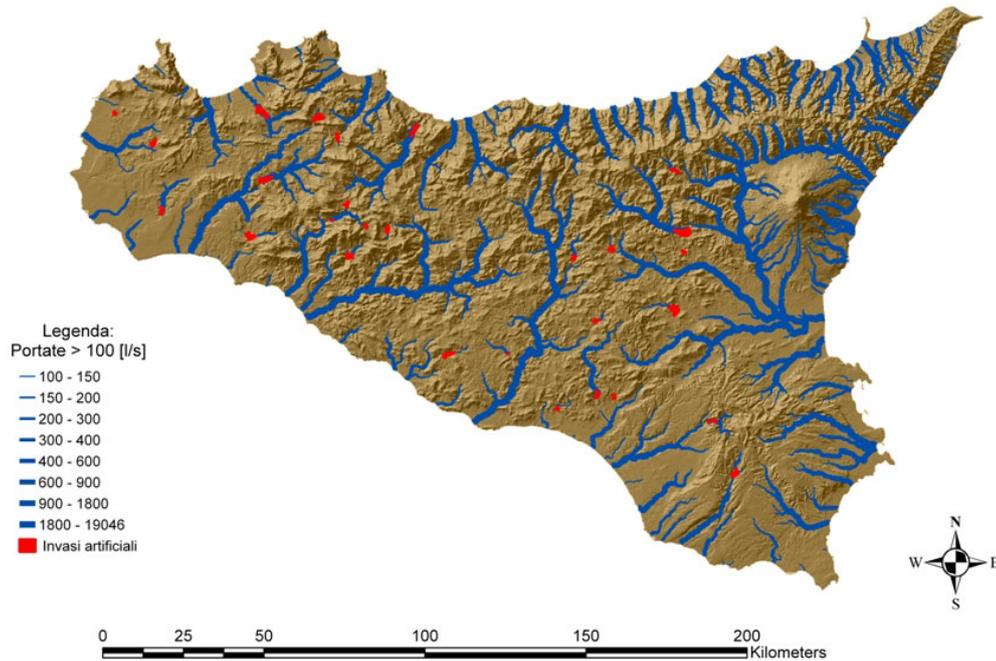


Figura 10 – Portate medie annue in l/s con valore di soglia posto uguale a 100 l/s

Conclusioni

In questo lavoro è stata sviluppata e applicata alla regione Sicilia una metodologia per mappare il deflusso medio annuo. Questo tipo di mappatura ha fornito buoni risultati e rappresenta un ottimo punto di partenza in molti altri campi come quello della determinazione delle perdite idrologiche con particolare riguardo all'attuale e diffuso fenomeno della desertificazione, costituisce inoltre un ottimo strumento di supporto per la stesura del PTA (*Piano di Tutela delle Acque*) previsto dal *D. Lgs 152/99* in quanto permette la stima della concentrazione degli inquinanti a partire dalla conoscenza dei relativi carichi.

Riferimenti bibliografici

- ARNELL, N. W., (1995), "Grid Mapping and River Discharge," *Journal of Hydrology*, 167, 39-56;
- BISHOP, G.D., CHURCH, M.R., (1992), "Automated Approaches for Regional Runoff Mapping in the Northeastern United States," *Journal of Hydrology*, 138, 361-383;
- BISHOP, G.D., CHURCH, M.R., (1995), "Mapping Long-Term Regional Runoff in the Eastern United States Using Automated Approaches," *Journal of Hydrology*, 169, 1, 189-207;
- BRUNO, G., CANNAROZZO, M., CIRAIOLO, G., (2003), "Le Grandi Dighe in Sicilia," Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Applicazioni Ambientali, Università degli Studi di Palermo;
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. (1997), *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- LIEBSCHER, H., (1972), "Results of research on some experimental basins in the upper Harz Mountains (Federal Republic of Germany)", *Symposium of Wellington: Results of research on Representative and Experimental Basins*, IASH Pub. No. 97, 150-162.
- SAUQUET, E., GOTTSCHALK, L., LEBLOIS, E., (2000), "Mapping Average Annual Runoff: a Hierarchical Approach Applying a Stochastic Interpolation Scheme," *Hydrological Sciences Journal*, 45(6), 799-815;
- SERVIZIO IDROGRAFICO ITALIANO, sezione di Palermo: *Annali Idrologici*, parte II, Servizio Poligrafico dello Stato, 1923-1997