

# I SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI

## NELLA VALUTAZIONE DEI DEFLUSSI NEI BACINI IDROGRAFICI

*A. Calvano*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Libero professionista

### 1 – Stato dell'arte dello specifico problema

Nell'ambito della predisposizione del Piano di Bacino, Stralcio Bilancio Idrico, diverse Autorità di Bacino hanno messo a punto procedure capaci di determinare l'infiltrazione efficace a scala regionale finalizzata a stimare il contributo del regime pluviometrico al bilancio idrico delle acque sotterranee.

I fattori che concorrono a determinare il bilancio sono molteplici: la distribuzione spaziale e temporale delle precipitazioni e temperature al suolo, i parametri morfometrici del rilievo, le caratteristiche stratigrafiche delle formazioni affioranti, l'uso del suolo, etc.

Le dinamiche che si stabiliscono tra tali parametri sono caratterizzate da comportamenti sensibilmente non lineari; la loro modellazione richiede inevitabilmente un grado di approssimazione più o meno elevato per una realistica ricostruzione degli stati.

La procedura utilizzata finalizzata ad applicazioni alla scala del bacino idrografico, è stata sviluppata in modo da considerare solamente alcuni termini fondamentali per la stima dell'infiltrazione efficace, per poi applicare una procedura a sovrapposizione di layers in ambiente GIS utilizzando algoritmi in parte presi dalla bibliografia esistente e in parte modificati per meglio adattarli alla realtà.

Il risultato finale è stato validato su alcuni sottobacini ritenuti significativi per la consistenza delle serie storiche dei dati idrologici disponibili.

Lo studio idrogeologico di un bacino costituisce caso pratico di situazioni in cui è necessario passare da una fase puramente cognitiva ad una di vera e propria programmazione. Il ciclo idrologico può essere descritto in termini sistemici analizzando i flussi in ingresso, quelli in uscita, le trasformazioni e i vari livelli di immagazzinamento. Quantitativamente si applica, quindi, il principio di conservazione della massa, tramite il quale è possibile impostare un bilancio.

Questo può essere formulato con riferimento ad un qualsiasi volume di controllo elemento tridimensionale attraverso il quale avvengono i flussi. Tale volume può essere costituito da una particella di terreno o da un versante, ma l'unità territoriale più conveniente per l'indagine è quella del bacino. L'equazione di continuità globale, all'uopo, può essere scritta come:

$$P = ET + R + I \quad (1)$$

dove P è la precipitazione, I è l'infiltrazione, R è il deflusso superficiale o ruscellamento, ET è l'evapotraspirazione.

La quantità  $P_n = (P - ET)$  rappresenta la pioggia netta disponibile al ruscellamento definito come:

$$R = CK * P_n \quad (2)$$

dove CK, annuale o pluriennale, rappresenta il coefficiente di deflusso medio annuo. Per il calcolo dell'evapotraspirazione reale viene impiegata la relazione di Turc (1954):

$$ET = P / [0,9 + (P / 300 + 25 * T + 0,05 * T^3)^{2,5}]^{0,5} \quad (3)$$

dove P e T rappresentano, nell'anno, rispettivamente gli afflussi, pioggia (mm) totale, e la Temperatura media (°C) nella località di riferimento.

#### 1.1 – Il contesto nazionale

##### Bacino idrografico

Il problema idrologico principale è costituito dall'individuazione dell'area drenante del bacino imbrifero inteso come il luogo dei punti della superficie terrestre che raccoglie le acque che scorrendo in superficie convergono nella sezione di chiusura.

I sistemi informativi territoriali consentono, tramite appositi pacchetti, di effettuare la delimitazione automatica a partire dal modello delle quote del terreno.

Questo presenta delle depressioni locali che in alcuni casi esistono naturalmente (laghi, doline, ecc.) ma che spesso sono dovute ai metodi di calcoli impiegati. Una depressione (cella o gruppo) è un pozzo che isola una porzione del bacino dalla sezione di chiusura.

E' indispensabile, quindi, filtrare il modello per eliminare le depressioni locali.

Per una data cella assegnando, tra una delle otto direzioni limitrofe, il valore di massima pendenza, gradiente di quota, si ottiene la mappa della direzione del flusso.

La mappa dell'area contribuyente è ottenuta sommando progressivamente il numero di celle che si trovano lungo tutti i percorsi dallo spartiacque alla sezione di chiusura.

### Deflussi

La valutazione dei deflussi di un bacino imbrifero può essere effettuata attraverso una metodologia che, prescindendo da limitazioni territoriali (corrispondenza o meno tra spartiacque superficiale e sotterraneo) e strumentali (presenza o meno di idrometri), offre la possibilità di risalire ad essi per mezzo della stima del coefficiente di deflusso medio annuo effettuata in funzione di alcune caratteristiche fisiografiche e climatiche dell'area esaminata.

Per coefficiente di deflusso medio annuo (CK) si intende il rapporto fra il deflusso annuale del corso d'acqua, riferito ad una determinata sezione di chiusura, e il volume delle precipitazioni cadute durante lo stesso periodo all'interno del suo bacino imbrifero, secondo la formula:

$$CK = D / P \quad (4)$$

dove D e P sono, rispettivamente, il deflusso e l'afflusso totale annuo (mm). Per le stazioni idrometriche strumentate, insieme ai valori di afflusso è disponibile il deflusso annuo riferito all'area drenante.

La valutazione, quindi, consiste nel calcolare il coefficiente di deflusso medio annuo di un bacino, o di un'area qualsiasi, come semplice somma di tre coefficienti: Ca, Cv, Cp relativi all'influenza esercitata sul deflusso, rispettivamente, dall'acclività, dalla copertura vegetale e dalla permeabilità secondo il metodo proposto da Kennessey.

$$CK = Ca + Cv + Cp \quad (5)$$

Il valore dei coefficienti è ottenuto correlando le caratteristiche del territorio con l'Indice di aridità secondo le tab. 1, 2 e 3.

Ca	Ia < 25	25 < Ia < 40	Ia > 40
> 35%	0,22	0,26	0,3
10 – 35	0,12	0,16	0,2
3,5 – 10	0,01	0,03	0,05
< 3,5	0,00	0,01	0,03

**Tab. 1** – *Coefficiente di acclività*

Cv	Ia < 25	25 < Ia < 40	Ia > 40
Roccia (1)	0,26	0,28	0,3
Pascolo (2)	0,17	0,21	0,25
Coltivo (3)	0,07	0,11	0,15
Bosco (4)	0,03	0,04	0,05

**Tab. 2** – *Coefficiente di vegetazione*

Cp	Ia < 25	25 < Ia < 40	Ia > 40
Molto bassa (1)	0,21	0,26	0,3
Medioce (2)	0,12	0,16	0,2
Buona (3)	0,06	0,08	0,1
Elevata (4)	0,03	0,04	0,05

**Tab. 3** – *Coefficiente di permeabilità*

### Indice di Aridità

L'indice di Aridità, espressione delle caratteristiche climatiche della zona di interesse, indica la propensione ad un comportamento umido o arido in relazione agli afflussi e alla temperatura nel periodo di riferimento. L'Indice di Aridità medio annuo è definito dalla relazione di Thornthwaite:

$$I_a = 0,5 * ((P / (T + 10)) + (12 * p / t)) \quad (6)$$

dove P,T sono, rispettivamente, nell'anno di interesse, pioggia totale (mm) e temperatura media (°C), mentre p e t sono le stesse grandezze riferite al mese più arido. Il territorio, in relazioni ai valori dell'indice nella cella, potrà quindi essere classificato nelle zone climatiche della tabella 4.

Ia	Clima
> 40	Molto umido
25 – 40	Umido
< 25	Arido

**Tab. 4** – *Indice di aridità*

### *1.2 – Il contesto locale*

#### Bacino idrografico

La delimitazione del bacino, secondo il metodo tradizionale, si effettua individuando su una carta topografica base il cosiddetto spartiacque sotteso dalla sezione di chiusura.

Lo spartiacque individua il luogo dei punti da cui hanno origine le linee di massima pendenza che finiscono per raggiungere la sezione di chiusura e si traccia in base alle isoipse e alle teste dei canali del reticolo imponendo il passaggio per le vette e le selle.

La Regione Calabria ha prodotto la delimitazione dei bacini idrografici delimitati alla foce e il reticolo idrografico naturale.

La posizione delle stazioni idrometriche solo in pochi casi coincide con la foce, molto di frequente è posizionata a monte, risalendo il corso d'acqua.

Negli annali idrografici, per le stazioni funzionanti, può essere letto il valore dell'area contribuente con la cartografia che individua il bacino, o sotto bacino, di riferimento.

L'Arpacal ha prodotto altre delimitazioni inerenti i principali sotto bacini.

#### Stazioni di misura

La Regione Calabria (ARPACAL) dispone di una rete di monitoraggio puntuale costituita da:

- 322 stazioni pluviometriche;
- 114 stazioni termometriche;
- 58 stazioni idrometriche.

#### Dati di Base

Il dato raster impiegato è il modello di elevazione digitale della Regione Calabria con dimensione della cella, quadrata, pari a 20 m.

I dati vettoriali disponibili sono: i bacini idrografici delimitati alla foce; il reticolo idrografico naturale; l'uso del suolo; la litologia.

I primi due sono contenuti nel PAI, piano di assetto idrogeologico della Regione Calabria, prodotto dall'Autorità di Bacino. L'uso del suolo è quello del progetto corine land cover anno 2006 classificato in 44 classi.

La geologia è quella della carta geologica d'Italia classificata in 48 classi.

#### Bilancio Idrologico

La Regione Calabria ha adottato con D.G.R. n. 394 del 30/06/2009 il Piano di Tutela delle Acque, ai sensi dell'art. 121 del Dlgs. 152/06 e s.m.i.

La spazializzazione delle piogge è stata realizzata mediante Poligoni di Thiessen.

Il bilancio è stato effettuato mediante il modello matematico prodotto dal Servizio Geologico Americano.

## 2 – Metodologia

Obiettivo del presente lavoro è la stima del deflusso medio annuo (mm) in corrispondenza di bacini idrografici strumentati e non. In particolare, la procedura prevede la stima del deflusso alla foce per bacini non strumentati, oppure in corrispondenza di fissate sezioni di chiusura coincidenti con le stazioni idrometriche gestite dal Centro Funzionale Multirischi della Regione Calabria.

Per i soli bacini strumentati sarà possibile effettuare il confronto con i valori registrati all'interno degli annali idrologici al fine di quantificare l'errore di stima del metodo.

I valori di pioggia, temperatura e portata, registrati nelle stazioni dall'anno 1920 al 2007, attraverso interrogazione, permettono di conoscere tutte le stazioni esistenti, nell'anno, rispetto le tre grandezze fisiche indagate.

La funzione di congiunzione, che combina le tuple di due relazioni presenti in una base di dati, restituisce le stazioni con valori significativi nell'insieme su richiamato.

L'interpolazione pesata sull'inverso della distanza, tra la cella in cui si effettua la misura e quella incognita, restituisce le mappe delle piogge totali e temperature medie, annue. La formula (3) è costruita all'interno del software GIS, algebra delle mappe, utilizzando un costruttore di pacchetti ad hoc. (fig. 1). La quantità  $P_n = (P - ET)$  può essere ottenuta mediante operatore GIS di tipo locale.

La formula (6) è costruita all'interno del software GIS, algebra delle mappe, utilizzando un costruttore di pacchetti ad hoc. (fig. 2).

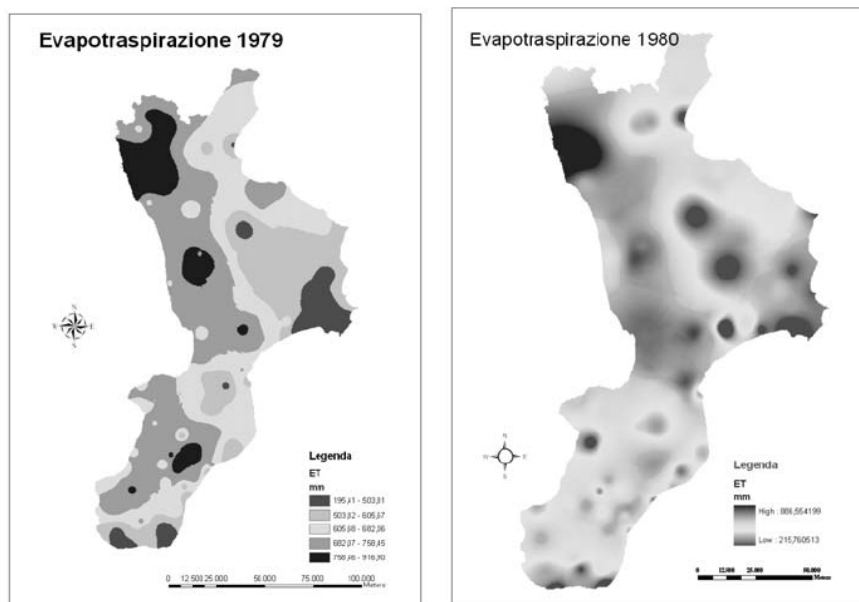
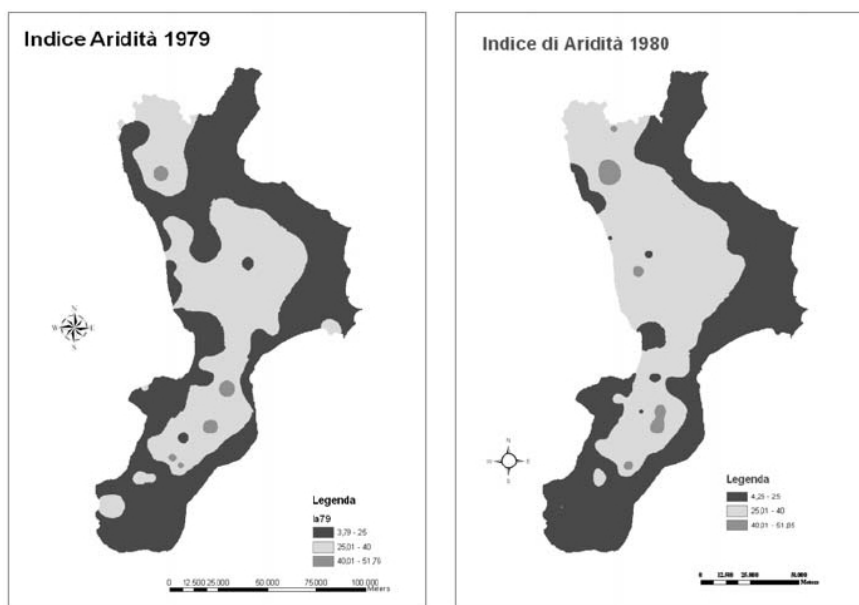


Fig. 1 – Carte dell'evapotraspirazione per gli anni 1979 e 1980



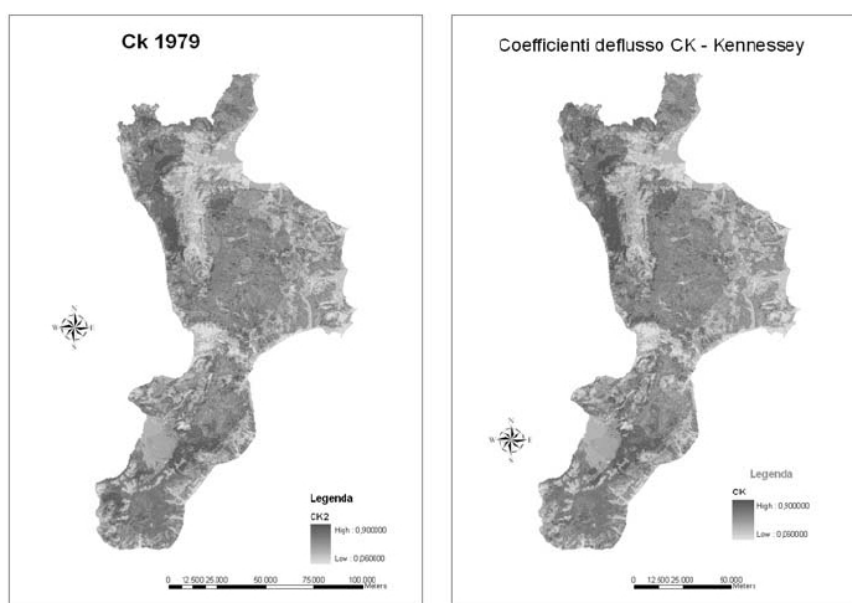
**Fig. 2** – Carte dell'indice di aridità per gli anni 1979 e 1980

*2.1 - Coefficiente di deflusso medio annuo (Kennessey)*

La formula (5) può essere ottenuta mediante operatore GIS di tipo locale. I singoli addendi sono ottenuti a partire dai dati di base. Il modello delle quote del terreno viene processato per come descritto al paragrafo 1.1 al fine di ottenere l'acclività classificata secondo i valori di tabella 1.

La geologia e gli usi del suolo vengono classificati secondo i valori delle tabelle, rispettivamente, 3 e 2.

Il passaggio ai valori dei coefficienti è ottenuto costruendo un algoritmo decisionale, all'uopo prodotto, le cui condizioni sono i valori contenuti nelle tabelle citate. (fig. 3)



**Fig. 3** – Carte del coefficiente deflusso CK - Kennessey per gli anni 1979 e 1980

*2.2 - Deflusso medio annuo totale e superficiale*

Le formule (2) e (4) sono ottenute mediante operatore GIS di tipo locale. (fig. 4, 5 e 6).

### 2.3 - Area drenante del bacino

Il modello delle quote del terreno viene processato per come descritto al paragrafo 1.1. Il software SIT possiede pacchetti, interni o esterni, che ci permettono di effettuare la delimitazione automatica. Nel nostro caso, come mostrato in (fig. 4, 5 e 6), è necessario adeguare i pacchetti esterni dopo aver forzato il modello delle quote con il reticolo idrografico.

### 2.4 - Deflusso medio annuo totale del bacino

Afflussi, coefficienti CK, deflussi sono ottenute mediante operatore GIS di tipo zonale. (fig. 4,5,6)

## 3 – Applicazione del metodo

Gli anni oggetto di indagine sono il 1979 e il 1980.

La ricerca del bilancio idrologico, per ogni bacino oggetto di interesse, ha permesso di produrre, a scala regionale, la cartografia dell'evapotraspirazione, dell'indice di aridità e il coefficiente di Kennessey. In relazioni alle stazioni funzionanti si sono considerate due località per l'anno 1979: Spadola (Fiume Ancinale) e Chiaravalle/Razzona (Fiume Ancinale) cui si è aggiunta, per il 1980, Camerata (Fiume Coscile).

Il valore dell'area contribuyente (kmq), da annali, per le tre stazioni, sono: Ancinale a Spadola 42.5, Ancinale a Chiaravalle 116, Coscile a Camerata 303.

La delimitazione automatica dell'area presso Spadola è stata condotta con un pacchetto esterno richiamato all'interno del GIS. Il risultato è rappresentato da un bacino il cui numero di celle è pari a 116500 (46,6 kmq).

La delimitazione automatica dell'area presso Chiaravalle è stata condotta con un pacchetto esterno richiamato all'interno del GIS. In questo caso, però, è necessario forzare il modello verso il risultato attraverso l'impiego di tecniche di tipo locale e del reticolo idrografico. Il risultato è rappresentato da un bacino il cui numero di celle è pari a 290907 (116,4 kmq).

La delimitazione automatica dell'area presso Camerata è stata condotta con un pacchetto interno al software GIS. Il risultato è rappresentato da un bacino il cui numero di celle è pari a 716815 (287 kmq). Il calcolo dell'afflusso teorico ad una superficie è la principale caratteristica delle misure di precipitazione riferita al punto in cui è situato lo strumento.

La quantità di pioggia che, in un assegnato intervallo di tempo, affluisce a una data area, si deve dunque stimare adoperando un certo numero di misure locali. Per chiarire il problema del calcolo dell'afflusso meteorico ad una superficie si impiega il concetto di solido di pioggia.

Definita l'area drenante del bacino con operatore di tipo zonale si ottengono i valori degli afflussi negli anni oggetto di interrogazione (tab. 5 e 6).

Stazione	Afflussi annuali	Afflusso	CK annuali	CK Kennessey
Spadola	1.389	1.335	0,64	0,45
Chiaravalle	1.434	1.356	0,55	0,47

**Tab. 5** – Afflussi e CK per l'anno 1979

Stazione	Afflussi annuali	Afflusso	CK annuali	CK Kennessey
Spadola	1.724,4	1.633,96	0,59	0,57
Chiaravalle	1.591,5	1.412,25	0,56	0,53
Camerata	1.390,7	1.34354	0,27	0,36

**Tab. 6** – Afflussi e CK per l'anno 1980

Per stimare il valore del deflusso totale medio annuo nella sezione di chiusura coincidente con l'idrometro è necessario utilizzare lo strumento del GIS che calcola le direzioni del flusso. Queste pesate con i valori di deflusso del bacino producono la funzione di accumulo del flusso nella sezione di chiusura di confronto. (tab. 7 e 8). Le fig. 4, 5, 6 riportano la distribuzione spaziale dell'informazione.

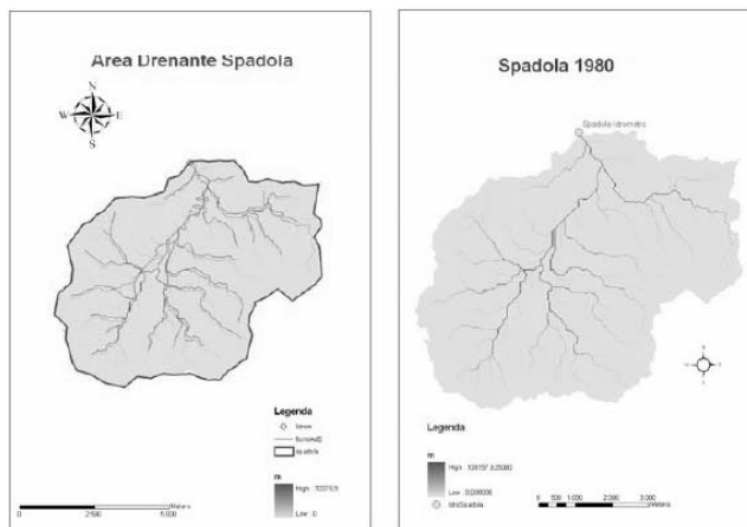


Fig. 4 – Carte dei deflussi presso Spadola per gli anni 1979 e 1980

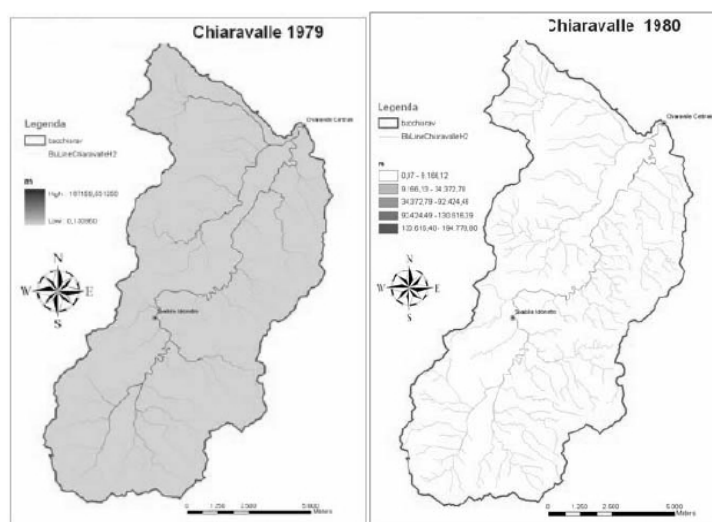


Fig. 5 – Carte dei deflussi presso Chiaravalle per gli anni 1979 e 1980

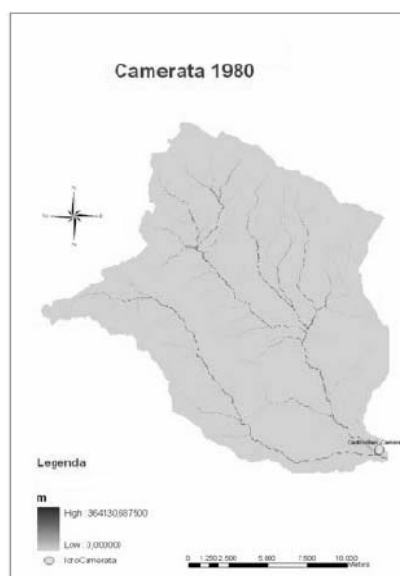


Fig. 6 – Carte dei deflussi presso Camerata per l'anno 1980

Stazione	Deflussi annuali	Deflussi Kennessey
Spadola	888,96	601,31
Chiaravalle	788,7	643,36

Tab. 7 – Deflussi per l'anno 1979

Stazione	Deflussi annuali	Deflussi Kennessey
Spadola	1.020,6	828,39
Chiaravalle	891,24	670
Camerata	377,6	507,98

Tab. 8 – Deflussi per l'anno 1980

#### 4 - Conclusioni

Il modello sopra stima dei valori di CK e D nella stazione idrometrica di Camerata a differenza delle altre situazioni di sotto stima.

L'analisi statistica degli errori del campione mostra un intervallo di variazione dell'errore di stima compreso tra i valori di:

- 3,34% e 11,26% (media 5,82%) per gli afflussi A,
- 3,39% e 34,43% (media 17,48%) per il coefficiente di deflusso CK,
- 8,75% e 35,35% (media 23,95%) per i deflussi D.

L'analisi critica del metodo fa riflettere sulla stima puntuale dei dati di pioggia, temperatura, portata, unica fonte informativa, che varia in relazione all'anno di interrogazione.

La spazializzazione degli afflussi spinge a ritenere l'interpolatore adottato adeguato allo studio.

Il trend mostra un aumento degli afflussi nel passare dall'anno 1979 all'anno 1980.

Diverso è invece il discorso per il coefficiente di deflusso CK. Questo è influenzato sia dall'indice di aridità che dalle caratteristiche del territorio.

L'indice di aridità dipende dalle precipitazioni e temperature. Si è ritenuti a credere che l'esiguo numero di stazioni termometriche presenti sul territorio possa costituire un forte handicap.

Il trend mostra un lieve aumento delle temperature nel passare dall'anno 1979 all'anno 1980.

L'indice evidenzia un forte aumento della zona umida rispetto la zona arida passando dall'anno 1979 all'anno 1980.

Numericamente il fatto si traduce in un aumento dei valori attribuibili al coefficiente di deflusso CK. Questo, inoltre, per come precedentemente accennato, è influenzato anche dal territorio.

Per quanto concerne la carta della vegetazione e della permeabilità bisogna riscontrare che non sono sufficientemente dettagliate per l'analisi a scala di bacino.

L'analisi dei deflussi risente ed amplifica gli errori che sono stati prodotti in precedenza.

Trattandosi di un metodo semi quantitativo e viste le diverse definizioni di CK, formule (2) e (4) secondo l'interpretazione della comunità scientifica, l'errore può essere letto come la quantità che viene immagazzinata nel sottosuolo cioè riserva idrica di interesse per l'approvvigionamento della risorsa.

I valori elevati di CK possono tradursi laddove le condizioni ambientali sono sfavorevoli (pendenze accentuate e condizioni geologiche e di uso del suolo che aumentano il trasporto solido e diminuiscono il tempo di corruzione) e le precipitazioni intense come aumento della probabilità di alluvioni.

#### Bibliografia

- La Loggia G. e Calvano A. 2008, «I Sistemi informativi territoriali per la valutazione dei deflussi nei bacini idrografici» in Tesi di laurea, Facoltà di Architettura UNIPA, aprile 2008, Palermo.
- Mendicino G. e Calvano A., 2000, «Metodologie di analisi del rischio di piena attraverso l'integrazione della modellistica distribuita con i GIS» in Tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria UNICAL, Rende.
- Mendicino G. e Calvano A., 2012, «I Sistemi Informativi Territoriali come strumento di Supporto alle Decisioni» in Tesi di Master, Scuola Superiore di Scienze delle Amministrazioni Pubbliche UNICAL, Rende.