

## ASPETTI IDROLOGICI DELLA GESTIONE OPERATIVA DELLE RISORSE IDRICHE IN UNO SCHEMA INTERCONNESSO

*Pierluigi Claps\**, *Guglielmo Silvagni\*\**

*\*Dip. Ing. e Fisica dell'Ambiente, Univ. della Basilicata, Via della Tecnica, 3, 85100 Potenza*

*\*\*Dip. Ing. Civile, Univ. di Roma "Tor Vergata", Via della Ricerca Scientifica, 00133 Roma*

### ABSTRACT

Some hydrologic aspects related to the construction of a real-time management model of a water resources system are discussed in this paper. The emphasis is on the assessment and adaptive updating of the hydrologic information, which require the use of techniques of regional analyses, particularly when ungauged river sections are dealt with. Hydrologic information needed for building a management model is represented by the probability distribution of monthly areal rainfall, which represents the input to the runoff forecasting model, and by the mean value of runoff in the ungauged sections, necessary for the calibration of the runoff model. This latter is a bivariate conceptually-based rainfall-runoff model, based on two distinct modules for transformation of total to effective rainfall and of effective rainfall to runoff. A simple real-time management scheme is also suggested, based on the building of different scenarios according to the hydrologic risk assumed and to some operative decisions. In the scheme, the basic idea is to highlight the hydrological and structural state of the system and to present different alternatives with clearly defined hydrological information and uncertainties. A case study is presented, related to the Basento-Bradano water system in Basilicata (Italy), in which three dams on two rivers are being connected in order to subsidize each other.

### INTRODUZIONE

Nello sviluppo di modelli di supporto alla gestione dei sistemi idrici, in particolare di quelli resi complessi da interconnessioni che consentono trasferimenti di volumi tra dighe poste anche su corsi d'acqua diversi, in molti casi si approfondiscono gli aspetti legati all'ottimizzazione delle regole gestionali affidando le valutazioni e le previsioni idrologiche a metodiche standard (v. *es. Loucks et al.*, 1981). Ciò non comporta particolari problemi quando siano disponibili i dati idrologici necessari all'applicazione di schemi statistici empirici, mentre in condizioni di scarsità di dati la definizione del quadro idrologico di riferimento comporta la necessità di far ricorso ad analisi regionali e, comunque, di approfondire l'aspetto di incertezza idrologica del problema.

Nell'ambito della definizione di modelli di gestione in assenza o scarsità di dati idrometrici, con il presente contributo si intende approfondire alcuni aspetti dell'analisi idrologica preliminare e delineare uno schema per la gestione assistita delle risorse "in tempo reale" (v. *es. Todini*, 1990) che tenga nella dovuta evidenza i fattori idrologici di incertezza.

L'analisi regionale preliminare tende alla costruzione di un quadro idrologico di riferimento per il sistema idrico attraverso il quale si perviene alla definizione dell'input da assegnare ad un modello di previsione dei deflussi e si determinano le condizioni per la taratura del modello stesso in assenza di dati storici di deflusso. Essa consiste quindi nella ricostruzione delle distribuzioni di probabilità degli afflussi meteorici mensili, che costituiscono appunto l'input al modello di previsione, e nella valutazione del deflusso annuo medio relativo ai bacini di interesse che

rappresenta il valore di taratura del modello in assenza di dati idrometrici. Queste fasi verranno esposte in dettaglio nei paragrafi seguenti con riferimento ad un caso di studio. Saranno poi sinteticamente riportati i criteri adottati per la predisposizione del modello di trasformazione afflussi-deflussi e dello schema per il confronto di scenari gestionali.

Il caso di studio si riferisce ai bacini compresi nello schema idrico Basento-Bradano, in Basilicata, che fornisce acqua per uso potabile ed irriguo. Il sistema è costituito da tre invasi ed una traversa, tutti realizzati, tra i quali sono ipotizzati o in via di realizzazione alcuni collegamenti. In particolare, da una traversa sul fiume Basento a Trivigno una galleria di derivazione convoglierà le portate verso due serbatoi (Acerenza e Genzano) posti sul fiume Bradano, portate che potrebbero essere integrate dai rilasci di un terzo serbatoio (sul torrente Camastra, che confluisce nel Basento a valle di Trivigno) qualora si realizzasse un canale derivatore per convogliarli a monte della traversa stessa. Le sezioni fluviali di interesse sono elencate in Tab. 1.

<i>Sezione</i>	<i>corso d'acqua</i>	<i>Area (Km<sup>2</sup>)</i>
TRIVIGNO	Basento	398.3
CAMASTRA	Basento	349.6
ACERENZA	Bradano	141.7
GENZANO	Bradano	36.1

**Tab. 1.** *Bacini di interesse dello schema idrico Basento-Bradano*

## **DISTRIBUZIONE DI PROBABILITÀ DEGLI AFFLUSSI MENSILI AI BACINI**

Per la determinazione della distribuzione di probabilità dell'afflusso mensile ai bacini sono state prese in considerazione i dati delle stazioni pluviometriche del Servizio Idrografico Italiano (oggi Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale - SIMN) le cui aree "di influenza", determinate attraverso i poligoni di Thiessen, comprendessero parte dei bacini di interesse. I pluviometri considerati sono elencati in Tab. 2, nella quale sono anche riportati la quota sul mare ed il valore di  $\bar{X}$  di precipitazione media annua.

<i>Stazione</i>	$\bar{X}$ (mm)	<i>Quota</i> (m.s.m.m.)	<i>Stazione</i>	$\bar{X}$ (mm)	<i>Quota</i> (m.s.m.m.)
Accettura	930.0	799	Marsico N.	1001.5	850
Acerenza	648.2	833	Marsico V.	1016.7	1039
Albano	786.2	899	Oppido L.	739.4	650
Anzi	707.2	1066	Palazzo S.G.	659.4	483
Calvello	925.1	700	Pietragalla	741	839
Cancellara	663.2	620	Pignola	982.8	924
Cognato	894.7	557	Potenza	751.1	826
Colonna CC	609.1	350	Ripa d'Api	613.5	298
Forenza	741.7	836	Sellata	1084.5	1200
Genzano	641.5	591	S.Nicola	685.2	848
Grancia	775.5	747	Tolve	636.8	568
Lagopesole	828.1	829	Tricarico	672.9	698
Laurenzana	757.8	850	Vaglio	762	933

**Tab. 2.** *Stazioni pluviometriche considerate e relativi parametri di interesse.*

Per il tipo di variabili idrologiche che stiamo considerando, la selezione della distribuzione di probabilità si riduce essenzialmente a determinare l'indice  $\lambda$  della trasformata di Box-Cox della legge Normale, con lo schema secondo il quale la variabile trasformata  $Y = X^\lambda$  (per  $\lambda \neq 0$ ) o  $Y = \log(X)$  (per  $\lambda = 0$ ) segue una distribuzione Normale nell'ambito dell'intera regione considerata.

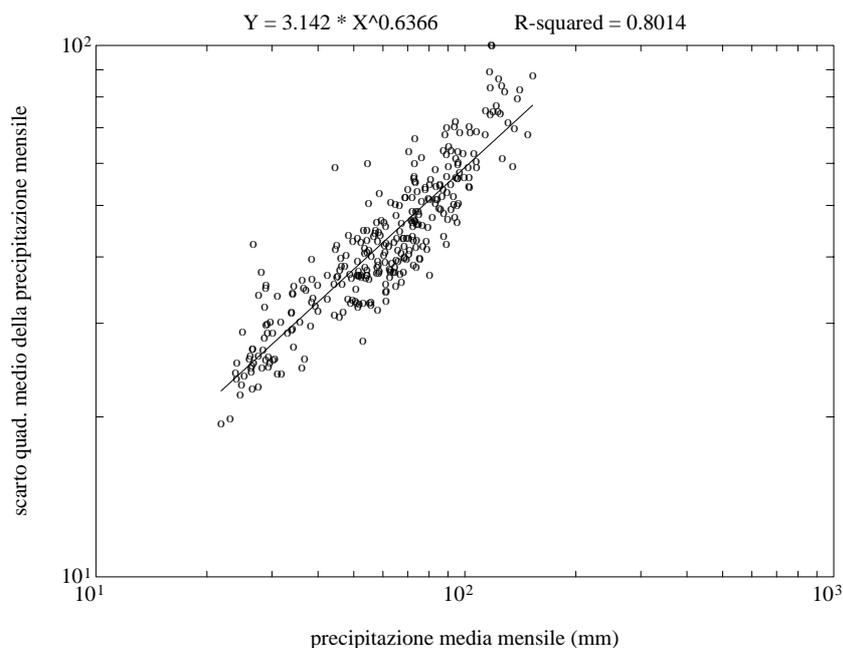
I criteri per la determinazione di  $\lambda$  sono riportati in dettaglio in *Rossi and Silvagni* (1980). Basta qui ricordare che l'obiettivo dell'analisi è quello di selezionare per  $\lambda$  un valore per cui la  $Y$  sia Normale ed il suo scarto  $\sigma_Y$  sia costante nella regione considerata.

Il primo obiettivo è conseguito se il coefficiente di asimmetria della variabile  $Y$  è statisticamente equivalente a zero. Con riferimento al secondo obiettivo, risulta utile precisare che la trasformazione che rende Normale la variabile  $X^\lambda$  di norma rende anche costante la varianza (v. *Rossi and Silvagni*, 1980), cosa che consente di determinare implicitamente il parametro di varianza della distribuzione di probabilità. In base all'assunzione di varianza costante  $\lambda$  viene determinato tenendo conto del fatto che, al primo ordine di approssimazione, lo scarto quadratico medio  $\sigma_X$  della variabile non trasformata è legato con legge di potenza alla media  $\mu_X$  secondo la relazione:

$$\sigma_Y = \sigma_X \left. \frac{dY}{dX} \right|_{X=\mu_X} \quad (1)$$

che, nel caso in cui  $Y = X^\lambda$ , diventa  $\sigma_Y = \sigma_X \mu_X^{\lambda-1}$ . Assumendo  $\sigma_Y = \text{cost.}$  risulta  $\sigma_X = C \mu_X^{1-\lambda}$ , con  $\lambda$  che risulta quindi determinabile attraverso una regressione lineare sui logaritmi di  $\sigma_X$  e  $\mu_X$ . Il coefficiente  $\lambda$  che risulta dalla stima della suddetta relazione è quello che meglio consente l'approssimazione dell'assunto  $\sigma_Y = \text{cost.}$

Nell'applicazione di questo metodo va stabilito come trattare la periodicità che caratterizza la variabile in esame. Infatti, sia la media che lo scarto della precipitazione mensile sono variabili da mese a mese. C'è quindi un obiettivo in più connesso alla trasformazione dei dati, che è quello di rendere la varianza della variabile trasformata indipendente dal mese. Entrambi gli obiettivi sono raggiunti con la trasformata  $\lambda=0.5$  che risulta, con lieve scarto dal valore effettivamente stimato di  $\lambda$ , dalla regressione tra i valori medi e gli scarti di tutti i mesi e di tutte e 26 le stazioni (Fig. 1). Questo risultato è in piena concordanza con quello ottenuto da *Claps* (1992) relativamente ad altre serie di afflussi areali dell'Italia centro meridionale.



**Fig. 1.** Relazione media-scarto delle altezze di pioggia mensili di tutte le stazioni considerate e per tutti i mesi dell'anno.

L'effettivo utilizzo di un unico valore di varianza per le radici quadrate della precipitazione mensile risulta necessario solo in zone per le quali non fossero disponibili dati pluviometrici storici. Nel nostro caso, essendo possibile ricostruire gli afflussi mensili ai bacini di interesse, non vi è motivo di non affinare ulteriormente l'analisi pervenendo a diverse distribuzioni di probabilità per gli afflussi mensili di ogni mese dell'anno, precisando le relative medie e varianze. In particolare, i suddetti parametri relativi ad ogni mese andranno espressi con riferimento alla grandezza  $Y=X^{1/2}$ .

Per determinare i parametri delle distribuzioni degli afflussi mensili si è ritenuta affidabile una valutazione diretta, effettuata, cioè, sui dati di afflusso calcolati mese per mese attraverso il metodo dei poligoni di Thiessen. Esistono procedure certamente più raffinate per l'interpolazione spaziale del dato pluviometrico (es. *Pegram and Pegram*, 1993, *Bacchi and Kottegoda*, 1995) di cui non ci occuperemo in questo lavoro tenuto conto della densità elevata di stazioni pluviometriche che caratterizza lo standard italiano, della relativamente bassa variabilità spaziale della precipitazione mensile e degli scopi di questa indagine. Per dare massima affidabilità alle valutazioni dei parametri statistici si sono lasciati dati mancanti per l'intero bacino in corrispondenza di dati mancanti in qualcuna delle stazioni ad esso afferenti. I parametri ottenuti per i quattro bacini di interesse relativamente ai dati trasformati con la radice quadrata sono riportati in Tab. 3.

	Trivigno		Camastra		Acerenza		Genzano	
mese	media	scarto	media	scarto	media	scarto	media	scarto
G	9.58	2.12	9.89	2.34	8.79	1.82	8.1	2.14
F	8.95	2.01	9	2.33	8.48	1.73	6.82	2.01
M	8.3	2.03	8.45	2.27	7.89	1.79	7.37	2.27
A	7.59	1.9	7.59	2.06	7.6	1.62	6.83	1.89
M	7.42	1.77	7.34	2.04	7.23	1.64	6.99	2.05
G	6.31	1.96	6	1.87	6.1	1.8	5.76	2.18
L	4.97	1.73	5.06	1.93	4.97	1.55	4.36	1.7
A	5.18	1.99	4.95	2.07	5.07	1.78	4.46	2.12
S	7.19	2.05	7.21	2.35	7.07	2	6.42	2.21
O	8.92	1.9	9.02	2.11	8.37	1.83	7.77	2.06
N	10.11	1.99	10.37	2.21	9.47	1.67	8.8	2.09
D	9.94	2.24	10.44	2.5	9.4	1.9	8.13	2.4

**Tab. 3.** Parametri delle distribuzioni di probabilità delle radici quadrate dell' afflusso mensile.

### DETERMINAZIONE DEL DEFLUSSO MEDIO ANNUO ALLE SEZIONI DI INTERESSE

In assenza di dati idrometrici diretti, come è il caso di tre sezioni sulle quattro considerate (si hanno dati solo per l'invaso del Camastra), il deflusso medio annuo  $\bar{D}$  viene valutato in funzione dell'afflusso medio annuo attraverso un modello di regressione. Ai fini della definizione di questo modello va ricordato che il legame tra le due variabili è certamente non lineare, nel senso che non c'è proporzionalità tra esse, poiché il deflusso è pari all'afflusso sottratto della evapotraspirazione, la quale dipende a sua volta dalla umidità del suolo e quindi dall'afflusso stesso.

Quanto appena detto, in aggiunta a considerazioni teoriche sulle modalità ottimali di applicazione delle leggi di regressione (es. *Piccolo e Vitale*, 1984) ed a verifiche su una estesa zona dell'Italia meridionale (*Triuzzi*, 1982), suggerisce che, in assenza di forti componenti di deflusso da falde profonde, la relazione tra deflusso ed afflusso debba essere del tipo

$$\bar{D}^{1/3} = c_1 + c_2 \log \bar{X} \quad (2)$$

con  $\bar{X}$  = media degli afflussi annui e  $c_1, c_2$  parametri della legge di regressione. E' il caso di precisare che le distribuzioni di probabilità delle precipitazioni e dei deflussi su base annua, selezionate in un'ampia zona comprendente quella in indagine, sono appunto la Lognormale e la Normale delle radici cubiche, rispettivamente (v. *Rossi and Silvagni, 1980, Triuzzi, 1982*).

La stima dei coefficienti della (2) è stata fatta utilizzando dati raccolti per bacini delimitati da sezioni di misura del SIMN, riportati sulla Pubblicazione N.17: "Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani". Si sono presi in considerazione bacini appartenenti ad una zona omogenea geologicamente e climaticamente rispetto all'area di interesse, e cioè tutti i sottobacini del Basento e del Bradano monitorati in passato dal SIMN. Si è ritenuto di escludere da questa analisi il bacino del Bradano a Tavole Palatine, per il quale una peculiarità geologica presente nella sua parte bassa (affioramento di calcari fratturati, fortemente permeabili per carsismo) altera significativamente l'omogeneità della relazione afflussi-deflussi.

Usando i dati riportati in Tab. 4 si sono stimati i parametri della (2) con il metodo dei minimi quadrati, pervenendo alla relazione (ottenuta con  $R^2=0.99$ ):

$$\bar{D}^{1/3} = -47.57 + 18.59 \text{Log}(\bar{X}) \quad (3)$$

Bacino	Stazione	$\bar{D}$ (mm)	$\bar{X}$ (mm)	$\text{Log}(\bar{X})$	$\bar{D}^{1/3}$
Bradano	S. Giuliano	127	676	2.83	5.03
Bradano	P.te Colonna	136.3	688.5	2.84	5.15
Basento	Menzena	275.9	796	2.90	6.51
Basento	P.te S. Vito	331	845	2.93	6.92
Basento	Gallipoli	338	874.5	2.94	6.97
Basento	Pignola	570.2	1010.2	3.00	8.29

**Tab. 4.** *Afflussi e deflussi medi relativi ai bacini delimitati da sezioni di misura del S.I.M.N.*

L'unica informazione necessaria per il calcolo di  $\bar{D}$  resta quindi il valore dell'afflusso medio annuo al bacino. Introducendo nella (3) i suddetti valori di  $\bar{X}$  ricavati per il caso in esame, si sono ottenute le relative stime dei valori medi del deflusso annuo. I risultati sono riportati in Tab. 5.

Sezione:	Trivigno	Camagra	Acerenza	Genzano
<i>Afflusso medio annuo (mm)</i>	830.4	858.0	751.0	642.4
<i>Deflusso medio annuo (mm)</i>	301	338	204	99

**Tab. 5.** *Valori del deflusso medio annuo stimati per i bacini di interesse.*

Per il bacino del Camastra è stato possibile validare la stima di  $\bar{D}$  in base alle misure volumetriche effettuate alla diga negli anni 1969-1990 e gentilmente concesse dall'Ente Irrigazione di Puglia e Basilicata che gestisce l'invaso. In base a tali misure il valor medio del deflusso annuo risulta pari a 333.7 mm, valore praticamente identico a quello stimato.

## MODELLO PER LA PREVISIONE DEI DEFLUSSI MENSILI

Lo schema di trasformazione afflusso-deflusso, descritto in dettaglio in *Claps (1996)*, è di tipo stocastico a base concettuale e si compone essenzialmente di due moduli. In un primo modulo, in cui non vi è linearità tra le variabili in ingresso ed uscita, viene rappresentata la trasformazione pioggia-pioggia efficace (o netta), quest'ultima pari alla quantità di precipitazione che effettivamente transita sotto forma di portata attraverso la sezione di chiusura del bacino. In un

secondo modulo viene rappresentata la trasformazione tra pioggia netta e deflusso, che risente dell'effetto di ritardo esercitato dalle falde sotterranee sui volumi che vi si infiltrano.

La trasformazione pioggia-pioggia netta è determinata essenzialmente dall'interazione tra precipitazione ed evapotraspirazione, mediata dalla disponibilità di acqua nel suolo. I requisiti presi in considerazione per tale trasformazione, con riferimento all'obiettivo della previsione idrologica, sono la semplicità dello schema, la possibilità di tarare i parametri in modo oggettivo e la possibilità di determinare tali parametri per bacini senza dati. E' stato pertanto predisposto un modulo per il filtraggio della precipitazione totale consistente in un semplice bilancio tra evapotraspirazione potenziale nel mese, volumi disponibili a seguito della precipitazione e conseguente evapotraspirazione effettiva. Ne risulta una trasformazione non lineare, per la quale l'unico parametro di calibrazione è un fattore correttivo che tiene conto sia delle incertezze sulla valutazione della pioggia areale e dell'evapotraspirazione, sia della possibilità che esista un saldo positivo o negativo di volumi nei confronti di bacini limitrofi, di solito dovuto a fenomeni carsici. Il criterio di calibrazione da seguire è oggettivo, in quanto è legato unicamente alla necessità di ottenere volumi di afflusso netto complessivamente pari a quelli del deflusso. Ciò risulta particolarmente interessante quando non vi siano sufficienti dati storici relativi alla sezione di interesse, in quanto, come visto in precedenza, è possibile adoperare nella taratura l'unico dato stimato con riguardo al deflusso, cioè la sua media generale.

Il modulo di trasformazione afflussi netti-deflussi si basa sulla considerazione che il deflusso totale è formato dalla somma dei contributi di deflusso superficiale e di deflusso proveniente dalle falde sotterranee. Il secondo termine dipende dall'esaurimento del volume invasato in falda e dai volumi infiltratisi negli intervalli di tempo precedenti. Effettuando un bilancio dei volumi tra afflusso netto e deflusso relativamente all'intero bacino ed alla sola falda sotterranea, si può esprimere il deflusso nel mese  $D_t$  nel mese  $t$  in funzione del deflusso nel mese  $t-1$  e dell'afflusso netto nei mesi  $t$  e  $t-1$ , secondo uno schema equivalente ad un modello stocastico ARX(1,1) (autoregressivo a variabile esogena) a parametri costanti, in cui si considera l'afflusso netto come variabile esogena. La stima dei parametri di questo modello è di tipo adattativo, tale, cioè, da portare in conto in modo ottimale ogni nuovo dato che dovesse rendersi disponibile. Questa stima, inoltre, risulta ottimale "localmente", in modo da seguire al meglio l'influenza che particolari situazioni climatiche, ad esempio periodi siccitosi, possono avere sui valori dei parametri determinandone temporanei scostamenti dai valori medi.

La previsione del deflusso si opera di norma introducendo nel modello il valor medio mensile dell'input. In questo caso l'input consegue dal modulo precedente, nel quale andrebbe pertanto introdotta la media della precipitazione totale nel mese. Poiché l'incertezza della previsione dipende, in ultima analisi, dalla varianza dell'afflusso totale in quel mese, a partire dalla sua distribuzione di probabilità si possono determinare valori di input corrispondenti a fissati livelli di rischio di non superamento e, di conseguenza, ottenere previsioni di deflusso per quel livello di rischio.

## **DEFINIZIONE DI SCENARI PER FISSATO RISCHIO DI DEFICIT**

L'obiettivo finale che congloba ed utilizza gli strumenti matematico-statistici finora descritti è lo schema per la *gestione assistita in tempo reale* della risorsa idrica, nel quale ci si ripropone essenzialmente di ottenere, tramite il supporto del modello di previsione, scenari caratterizzati da fissati livelli di rischio o di affidabilità per sostenere le decisioni operative con criteri il più possibile oggettivi. Per scenario si intende la configurazione assunta dal sistema in base ad ipotesi idrologiche, riguardanti gli apporti idrici, ed operative, connesse alle erogazioni ed ai trasferimenti.

Nell'intento di mettere in dovuta evidenza il dato di incertezza idrologica nella definizione di scenari gestionali si propone qui uno schema molto semplice e flessibile, tipo *what-if?* che riassume da un lato lo stato dei sistemi e dall'altro consente di ricostruire facilmente scenari in funzione del

rischio assunto e di diverse decisioni gestionali. La logica è quella del foglio elettronico, nel quale la modifica del contenuto di una cella si ripercuote sui risultati dell'intero sistema. L'effettiva realizzazione del suddetto schema può avvenire con modalità diverse, che rendano più o meno automatico l'aggiornamento dei dati idrologici e di configurazione degli invasi.

Ad ogni passo temporale (ad es. un mese), nel momento in cui sono disponibili i dati aggiornati, il sistema Afflusso-Deflusso-Invaso-Utilizzazione viene riconfigurato secondo la sequenza:

- a. Determinazione dello stato del sistema (dati relativi a bacini idrografici ed invasi);
- b. Rivalutazione dei parametri delle distribuzioni di probabilità e ricalibrazione del modello afflussi-deflussi in base ai dati idrologici pervenuti;
- c. Previsione dei deflussi in base ad inputs idrologici corrispondenti a fissato rischio;
- d. determinazione di scenari in base alla previsione della domanda ed a decisioni gestionali, quali ad esempio l'entità dei trasferimenti tra gli invasi.

Il passo **b.** è particolarmente importante in condizioni di scarsità di dati, in quanto la possibilità di avere a disposizione informazioni ad ogni passo temporale consente mese dopo mese di migliorare la taratura del modello di previsione e ridurre l'errore della previsione.

Gli schemi per il confronto delle alternative (di cui un esempio è mostrato in Fig. 2) danno la possibilità di valutare sinteticamente, per singoli invasi e per il sistema nel suo complesso, i possibili deficit o le possibili perdite (per rilascio in alveo) conseguenti a decisioni gestionali (derivazioni e trasferimenti) e ad ipotesi di rischio di non superamento degli apporti idrologici

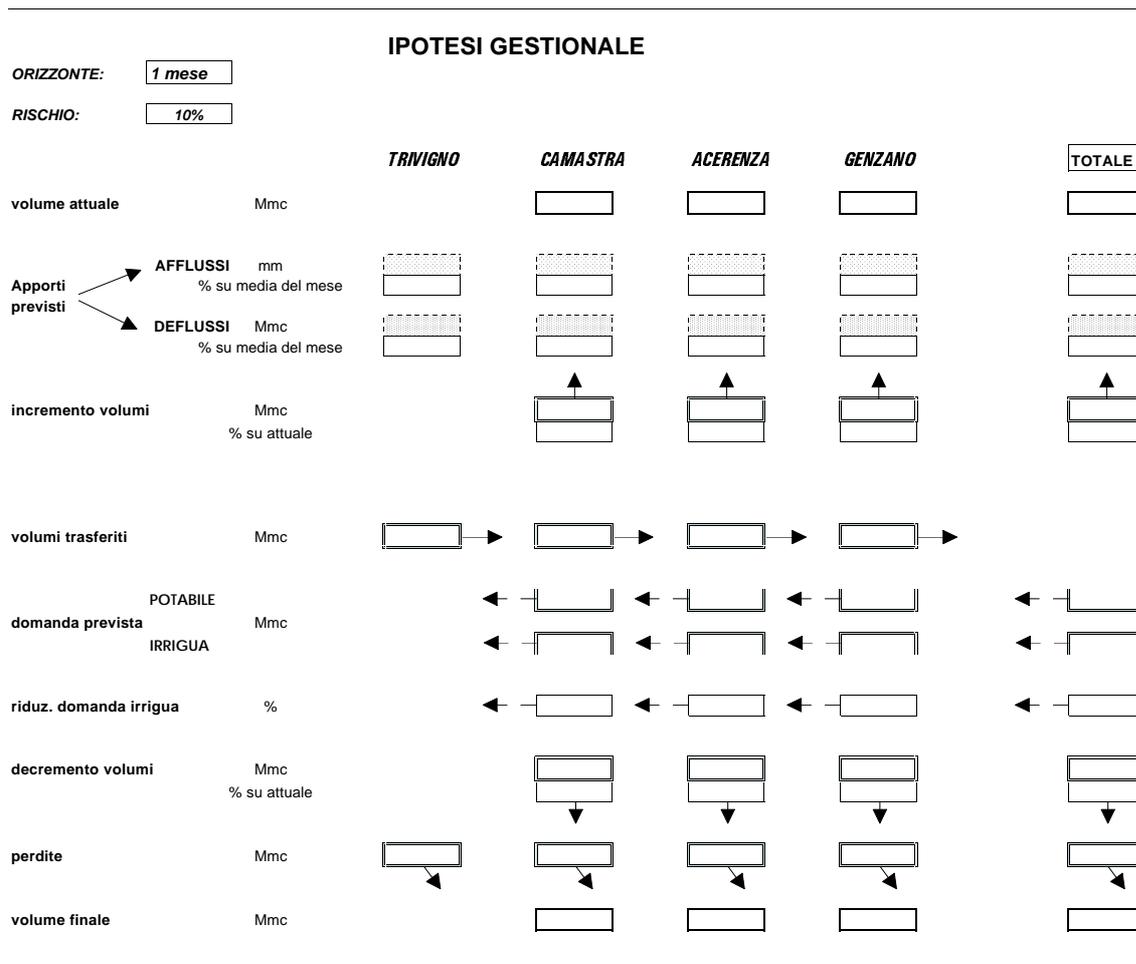


Fig. 2. Esempio di schema per la costruzione di scenari gestionali.

I parametri che condizionano gli scenari dal punto di vista idrologico sono: l'orizzonte previsivo (periodo di riferimento per la previsione) che può essere ad es. un mese o un trimestre, ed il rischio R di deficit assunto per la previsione del deflusso. Per quanto riguarda quest'ultimo, i valori di riferimento potrebbero corrispondere a  $R=0.5$  (valore previsto più probabile),  $R=0.1$  ed  $R=0.05$ . Nel periodo invernale sono di maggiore interesse i valori previsti più probabili ( $R=0.5$ ), per la possibilità che si abbiano rilasci dalle dighe, mentre nel periodo estivo è utile costruire scenari con previsioni basate su livelli inferiori di rischio.

Le principali variabili gestionali che condizionano gli scenari sono: Volumi di domanda potabile ed irrigua; Percentuali di riduzione di domanda irrigua (in caso di deficit idrologico); Trasferimento di volumi dall'invaso del Camastra ad Acerenza-Genzano.

Un elemento del sistema che richiede uno specifico approfondimento riguarda il trasferimento di volumi tra la traversa di Trivigno e le dighe di Acerenza e Genzano, che avverrà attraverso una galleria con portata massima di  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . E' evidente che a fronte di una previsione di deflusso mensile a Trivigno non è immediato passare da questo al volume trasferito agli invasi, per la presenza della portata limite di trasferimento. Va inoltre considerata la necessità di lasciar fluire sempre in alveo la portata minima vitale.

La valutazione dell'efficienza gestionale è effettuata sulle grandezze: Incremento finale dei volumi invasati (assoluti e in percentuale sugli attuali); Volumi defluiti in alveo (perdite).

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Con riferimento alla definizione di uno schema per la gestione in tempo reale delle risorse idriche in un sistema interconnesso si sono analizzati alcuni elementi utili alla costruzione del quadro idrologico di riferimento. La logica seguita è quella di mettere in dovuta evidenza, all'interno dello schema gestionale, i fenomeni idrologici di base, definiti sia attraverso i dati che attraverso elaborazioni, in modo da far emergere chiaramente i presupposti in base ai quali possono essere prese decisioni a breve termine.

Le analisi idrologiche, riferite allo schema idrico Basento-Bradano, in Basilicata, sono consistite nella definizione dell'input di un modello afflussi-deflussi ed a consentire la taratura dello stesso su sezioni prive di dati idrometrici. In particolare, è stata determinata la distribuzione di probabilità degli afflussi mensili ai bacini ed è stato stimato il deflusso medio annuo alle sezioni di interesse. In entrambi i casi le verifiche dei risultati con dati o con precedenti analisi hanno dato esito positivo.

Sono stati infine delineati schematicamente gli altri elementi del modello per la gestione in tempo reale, vale a dire il modello di trasformazione afflussi-deflussi ed una proposta di schema per la costruzione di scenari a fissato rischio idrologico.

## BIBLIOGRAFIA

- Bacchi, B. and N.T. Kottegoda, Identification and calibration of spatial correlation patterns of rainfall. *Journal of Hydrology*, 165 (1), 311-323, 1995
- Claps, P., Sulla validazione di un modello dei deflussi a base concettuale, *Atti XXIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Dip. di Ing. Civile., Univ. di Firenze, D.91-D.102, 1992.
- Claps, P., Rappresentazione adattativa dei deflussi mensili con un modello stocastico bivariato, rapporto interno DIFA - Università della Basilicata, 1996.
- Loucks, D.P., J.R. Stedinger and D.A. Haith, *Water Resources Planning and Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.Y., 1981.
- Pegram G.C, and G.G. S. Pegram, Integration of rainfall via multiquadric surfaces over polygons, *Jour. Hydraul. Eng. ASCE*, 119 (2), 151-163, 1993.
- Piccolo, D. e C. Vitale, *Metodi Statistici per l'Analisi Economica*, Il Mulino, Bologna, 1984
- Rossi, F. and G. Silvagni, Analysis of annual runoff series, *Proc. Third Symposium on Stochastic Hydraulics*, Tokio, A-18, 1980.

- Todini E., La valutazione dei benefici derivanti dalla previsione operativa dei deflussi futuri. Uno schema semplificato applicato al caso del Nilo. *Atti XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, vol. 3, 67-79, Ed. Bios, Cosenza, 1990.
- Triuzzi R., Possibilità idrologiche di realizzazione di laghetti collinari in Italia Meridionale e in particolare nell'area del "cratere", Tesi di laurea non pubblicata, Università di Napoli, 1982.