

CLASSIFICAZIONE DELLE RELAZIONI TRA AFFLUSSI E DEFLUSSI GIORNALIERI TRAMITE CRITERI DI CONTINGENZA

Paola Allamano, Francesco Laio e Pierluigi Claps

Dipartimento di Idraulica Trasporti ed Infrastrutture Civili (DITIC)
Corso Duca degli Abruzzi 24 - 10129 TORINO - Italia

Sommario

Nella definizione di modelli data-based per la simulazione dei deflussi fluviali risulta importante evidenziare le fonti di errore delle serie di piogge e portate. Ciò vale in particolare per bacini alpini, dove si verificano spesso incongruenze tra precipitazioni e portate, spesso anche con riferimento ai valori medi annui. A questo scopo sono state poste a confronto serie storiche di deflusso e di afflusso giornaliero per 17 bacini piemontesi e valdostani, per definire in modo sistematico il relativo grado di incidenza delle fonti di errore nei diversi contesti climatici.

Per ogni bacino si è indagato il grado di associazione dell'informazione contenuta nelle due serie costruendo delle tabelle di contingenza, nelle quali le due variabili risultano classificate in un certo numero di categorie. Ogni categoria è rappresentata da una cella della tabella ed ogni cella è identificata dall'avverarsi di una coppia di condizioni, riferite rispettivamente alle precipitazioni ed alle portate del bacino in esame.

Per quantificare la capacità informativa di ogni tabella è stata utilizzata una misura di associazione basata sul naturale ordinamento delle categorie rispetto alle due variabili. La misura di associazione risulta più alta per i bacini temperati e più bassa per quelli montani, assumendo valori negativi per i due bacini aventi le quote medie più elevate.

Nel complesso si osserva che le tabelle più informative sono quelle aventi 3 classi di portata, e che in generale le tabelle piccole sono da preferire in questo tipo di indagine. Inoltre emerge chiaramente come la quota media del bacino sia strettamente correlata al grado di associazione tra precipitazioni e portate, cosa che può orientare in modo efficace la selezione dei modelli per diverse tipologie climatiche.

1. Introduzione

La simulazione di serie storiche di deflusso fluviale viene spesso effettuata con semplici metodi concettuali, univariati o multivariati, che tendono a dare la massima importanza ai dati osservati, configurandosi come procedure data-based (v. es. Young, 2001). In situazioni nelle quali la misura dei fenomeni idro-meteorologici risulta difficile, come ad esempio in bacini idrografici di alta montagna, è importante stabilire il grado di affidabilità delle serie di portata e di precipitazione e la qualità dei legami che si evidenziano tra esse. L'entità degli errori possibili è infatti tale che spesso risulta difficile anche solo ricostruire bilanci ragionevoli alla scala annuale.

L'istituzione di relazioni causa-effetto tra precipitazioni e portate in bacini di alta montagna non può prescindere dal considerare il dato di temperatura, che determina due condizioni non ipotizzabili in bacini temperati: il mancato aumento di portata a fronte di una precipitazione

positiva (quando essa è nevosa) e l'incremento di portata in assenza di precipitazione (a causa dello scioglimento nivale). Tuttavia, non è immediato catalogare come 'influenzato dalla presenza di neve' un bacino idrografico solo in relazione alla sua quota media, per cui risulta utile effettuare analisi basate solo sui dati (v. es. ; Claps et al., 2005) per evidenziare il peso di eventuali incongruenze.

Per una corretta applicazione di modelli idrologici risulta di interesse anche la valutazione preliminare della qualità dell'informazione idrometrica, per effettuare la quale è utile esaminare l'evidenza delle relazioni precipitazione-portata. In questo senso, e per quanto detto finora sui casi alpini, risulta utile partire dall'esame di serie relative a bacini temperati, nei quali si possa trascurare l'incidenza delle precipitazioni solide. I risultati ottenuti nei bacini temperati potranno poi essere utilizzati come termine di paragone per valutare le analisi effettuate nei bacini alpini.

In questo studio è stata indagata la contingenza (grado di associazione) fra le serie storiche di precipitazioni e portate per 17 bacini piemontesi e valdostani (tabella 1). Di questi, 7 possono essere catalogati come influenzati da un regime climatico di tipo alpino, e 10 da un regime temperato.

L'analisi del grado di associazione tra due serie storiche, intesa come studio del concorso (o contingenza) di più eventi e del rapporto esistente tra gli eventi stessi, prevede che si vada a cercare una corrispondenza tra le variabili in esame e poi la si sottoponga a verifica per controllare che non accada di evidenziare una relazione tra due variabili quando essa invece non sussiste (p.es. Agresti, 1996).

L'ipotesi da sottoporre a test è l'esistenza di una relazione, con riferimento allo stesso intervallo di tempo, fra l'evento di precipitazione e di portata, quest'ultimo inteso come variazione $\Delta Q(t)$ positiva, negativa o nulla rispetto all'osservazione all'intervallo di tempo precedente.

L'incremento di portata $\Delta Q(t)$ è stato scelto come variabile dipendente sotto l'ipotesi di proporzionalità diretta fra precipitazioni e incrementi di portata. Si assume pertanto che la variazione di portata sia necessariamente la conseguenza o di un evento di precipitazione o di un episodio di scioglimento nivale o di entrambi, e che contingenze fra tipi d'evento diversi non siano facilmente interpretabili.

Una descrizione dettagliata sulla scelta dei criteri di contingenza sotto forma di tabelle è riportata nel secondo paragrafo. Le sezioni successive si soffermano invece sulle modalità di applicazione di tali strumenti per i bacini in esame e sulla possibilità di generalizzare il metodo di indagine proposto.

2. Criteri di contingenza

Il grado di associazione dell'informazione derivante dall'osservazione di due fenomeni può essere misurato abbastanza semplicemente con l'ausilio di una o più tabelle di contingenza (p.es. Kendall e Stuart, 1979, pp. 566-622).

Lo studio della contingenza di due variabili tramite tabelle di questo tipo è ampiamente utilizzato nella letteratura socio-economica, dove si è soliti procedere ad una tabulazione incrociata di variabili di atteggiamento, opinione o comportamento con informazioni demografiche riguardanti i soggetti intervistati.

Si tratta di tabelle M_{rc} il cui numero di righe r e di colonne c è determinato da altrettante condizioni C imposte sulle variabili in esame. Ogni cella della tabella, identificata dal verificarsi dell'evento congiunto $(C_r \cap C_c)$, contiene la frequenza di accadimento di tale evento.

L'ultima colonna e l'ultima riga della tabella riportano le frequenze marginali $M_{i.}$ e $M_{.j}$, intese come somma delle frequenze di tutte le celle di una singola riga o colonna. In basso a destra è riportato il numero totale n di osservazioni (Figura 1).

Nell'ipotesi di indipendenza fra le due variabili, il valore atteso della frequenza all'incrocio della i -esima riga con la j -esima colonna è $\frac{n_{i.} \cdot n_{.j}}{n}$. Di qui la possibilità di valutare la deviazione della frequenza M_{ij} dall'ipotesi di indipendenza come:

$$D_{ij} = n_{ij} - \frac{n_{i.} \cdot n_{.j}}{n} \tag{1}$$

e di definire un coefficiente X^2 di associazione per l'intera tabella:

$$X^2 = \sum_{i,j} \frac{D_{ij}^2}{n_{i.} \cdot n_{.j} / n} \equiv n \cdot \left\{ \sum_{i,j} \frac{n_{ij}^2}{n_{i.} \cdot n_{.j}} - 1 \right\}. \tag{2}$$

Tale coefficiente, sotto l'ipotesi di indipendenza, è asintoticamente distribuito secondo una distribuzione χ^2 con $(r-1) \cdot (c-1)$ gradi di libertà. Questo consente di costruire un semplice test di dipendenza tra le precipitazioni e gli incrementi di portata. Tale procedura non tiene però in considerazione il fatto che vi sia un ordinamento naturale tra le classi.

	$C_{.1}$	$C_{.2}$.	.	$C_{.c}$	
$C_{1.}$	n_{11}	n_{12}	.	.	n_{1c}	$\Sigma(n_{1.})$
$C_{2.}$	n_{21}	n_{22}	.	.	n_{2c}	$\Sigma(n_{2.})$
.	
.	
$C_{r.}$	n_{r1}	n_{r2}	.	.	n_{rc}	$\Sigma(n_{r.})$
	$\Sigma(n_{.1})$	$\Sigma(n_{.2})$			$\Sigma(n_{.c})$	n

Figura 1: Esempio di tabella di contingenza $r \times c$

Nel caso in cui tra le due variabili vi sia tale ordinamento di tipo naturale, la generica tabella può essere interpretata come una rappresentazione del *ranking* di n oggetti rispetto alle due variabili rappresentate.

In questo caso la misura di associazione per la generica tabella M_{rc} è esprimibile con la statistica G di Goodman e Kruskal, (1954, 1963) dopo aver definito le matrici S_{rc} , D_{rc} e T_{rc} . La generica cella della matrice S_{rc} , è data dalla somma di tutte le celle della matrice di contingenza originale, M_{rc} , tali che $i^* > i$ e $j^* > j$, più la somma delle celle di M_{rc} tali che $i^* < i$ e $j^* < j$. Per la matrice D_{rc} , invece, la cella D_{ij} è data dalla somma di tutte le celle di M_{rc} aventi $i^* > i$ e $j^* < j$, più la somma delle celle per cui $i^* < i$ e $j^* > j$. La matrice T_{rc} , infine, è data dalla somma $M_{i.} + M_{.j} - M_{i,j}$.

Sulla base di queste considerazioni possono essere definiti i coefficienti:

$$P_s = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c M_{ij} \cdot S_{ij} \quad (3.1)$$

$$P_d = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c M_{ij} \cdot D_{ij} \quad (3.2)$$

$$P_{ss} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c M_{ij} \cdot S_{ij}^2 \quad (3.3)$$

$$P_{dd} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c M_{ij} \cdot D_{ij}^2 \quad (3.4)$$

$$P_{sd} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c M_{ij} \cdot S_{ij} \cdot D_{ij} \quad (3.5)$$

$$P_t = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c M_{ij} \cdot T_{ij} \quad (3.6)$$

in base ai quali la statistica G si esprime come:

$$G = \frac{P_s - P_d}{n^2 - P_t} = \frac{P_s - P_t}{P_s + P_d}, \quad (4)$$

In questo caso un semplice test di dipendenza può essere formulato andando a considerare che la variabile G è asintoticamente distribuita secondo una distribuzione normale con deviazione standard:

$$\sigma(G) = \frac{4 \cdot \sqrt{P_s^2 P_{dd} - 2P_s P_d P_{sd} + P_d^2 P_{ss}}}{(n^2 - P_t)^2}. \quad (5)$$

e verificando che il valore assunto da $G \pm 1.9 \cdot \sigma(G)$ resti significativamente positivo.

3. La base dati e la scelta delle categorie

Per questo studio si sono utilizzati dati giornalieri di precipitazione e portata media relativi a 17 bacini piemontesi e valdostani e relative stazioni pluviometriche. I dati utilizzati, riferiti al periodo 1913-1986, sono derivati dagli Annali Idrologici e corrispondono ad un campione complessivo di 386 stazioni giornaliere di pioggia e 38 stazioni idrometriche.

Per i bacini sono riportati in Tabella 1 il codice identificativo (assegnato in base alla posizione geografica del bacino procedendo in senso antiorario a partire dal bacino più a Nord-Est, come in Figura 2), il nome del bacino e della sezione di chiusura, il numero di anni per cui si dispone di osservazioni contemporanee, la superficie, la quota media ed i valori medi annui di afflusso e di deflusso.

Si può notare come vi siano bacini, con quote medie elevate, caratterizzati da deflussi medi annui anche di molto superiori agli afflussi. Questa incongruenza è da ricondurre alla già citata difficoltà di rappresentazione dei fenomeni di precipitazione in ambito alpino.

Tabella 1: Caratteristiche dei bacini considerati

<i>C_Cod</i>	<i>Bacino</i>	<i>Stazione</i>	<i>Anni</i>	<i>Area [km²]</i>	<i>Quota media [m]</i>	<i>Affl. medio annuo [mm]</i>	<i>Defl. medio annuo [mm]</i>
2	Toce	Candoglia	10	1532.0	1674	1542	1298
4	Mastallone	Ponte Folle	15	149.0	1319	2017	1532
7	Rutor	Promise	16	49.8	2512	888	1562
8	Savarà	Eau Rousse	10	82.0	2723	806	1080
10	Artanavaz	St. Oyen	16	69.3	2229	1308	836
11	Ayasse	Champorcher	20	42.2	2352	1236	1215
13	Evancon	Champoluc	19	101.8	2631	810	990
14	Dora Baltea	Tavagnasco	19	3313.0	2090	879	870
15	Orco	Pont Canavese	15	617.0	1924	1202	994
16	Stura di Lanzo	Lanzo	17	582.0	1773	1261	1045
21	Chisone	S. Martino	15	580.0	1730	1043	700
22	Po	Crissolo	27	36.7	2261	1203	1278
23	Grana	Monterosso	22	102.0	1565	1225	804
31	Tanaro	Ponte Nava	20	148.0	1576	1185	1014
32	Tanaro	Nucetto	20	375.0	1222	1220	875
33	Tanaro	Farigliano	15	1522.0	938	1185	792
34	Tanaro	Montecastello	13	7985.0	651	1011	505

Le precipitazioni medie areali ai bacini (afflussi) sono ricostruite con il metodo dei poligoni di Thiessen. La precipitazione è ottenuta come media pesata delle precipitazioni osservate alle stazioni la cui area di pertinenza sia compresa, tutta o in parte, all'interno dello spartiacque del bacino.

Si assume che il dato di pioggia media areale in un dato istante di tempo sia mancante se la somma dei pesi delle stazioni con dato mancante supera il 20% del totale. Quando invece tale percentuale è inferiore al 20%, la percentuale mancante è ridistribuita sulle rimanenti stazioni proporzionalmente al loro peso.

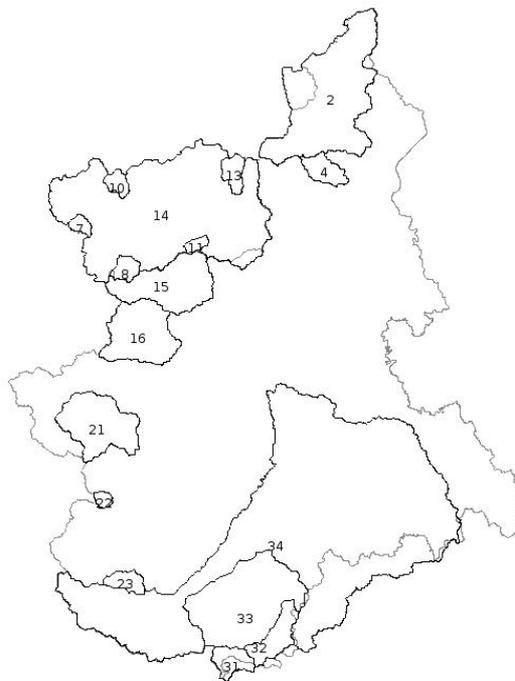


Figura 2: Posizione geografica dei bacini e confini delle regioni Piemonte e Valle d'Aosta

L'indagine è stata effettuata su ogni bacino dotato di una consistenza minima delle serie storiche pari a dieci anni completi di misure contemporanee di precipitazioni e portate.

Il fatto di considerare solo i bacini aventi serie di piogge e portate lunghe almeno dieci anni ha portato al ridimensionamento della base dati dai 38 bacini iniziali ai 17 riportati in Tabella 1.

Per costruire le tabelle di contingenza occorre definire i limiti di classe di ciascuna categoria. Tali limiti sono scelti sulla base del diagramma delle frequenze cumulate di precipitazioni e portate di ciascun bacino, ripartendo l'intervallo di variazione del campione in classi equiprobabili (Figura 3).

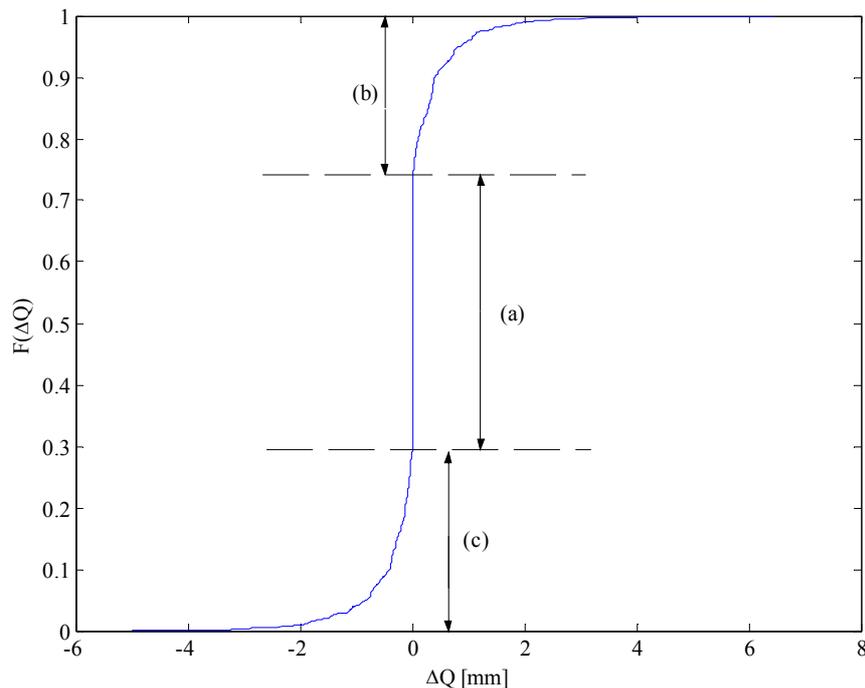


Figura 3: Determinazione dei limiti di classe sulla *cdf* delle $\Delta Q(t)$

Per gli incrementi di portata la curva di frequenza cumulata risulta composta da tre rami: a) $\Delta Q(t) = 0$ b) $\Delta Q(t) > 0$ c) $\Delta Q(t) < 0$, ciascuno dei quali è considerato separatamente nella definizione dei limiti di classe.

I limiti di classe delle categorie rappresentate nelle tabelle di contingenza sono definiti dividendo prima in una, poi in due ed infine in tre classi equiprobabili i tratti (b) e (c) della curva delle portate, ottenendo rispettivamente tabelle con 3, 5 e 7 colonne

Per quanto riguarda le precipitazioni, il cui dominio non si estende ai numeri negativi, il tratto della curva di frequenza cumulata relativo agli eventi nulli è stato associato alla prima classe (individuata dalla prima riga della tabella) e la suddivisione in classi equiprobabili è stata fatta solo sul rimanente ramo di curva, costruendo tabelle rispettivamente con 3, 4, 5, 6 e 7 righe. Uno specchietto riassuntivo delle tabelle di contingenza costruite per ognuno dei bacini esaminati è riportato in Figura 4.

Figura 4: Dimensioni delle tabelle di contingenza

		<i>incrementi di portata</i>		
		<i>3 classi</i>	<i>5 classi</i>	<i>7 classi</i>
<i>precipitazioni</i>	<i>3 classi</i>	3x3	3x5	3x7
	<i>4 classi</i>	4x3	4x5	4x7
	<i>5 classi</i>	5x3	5x5	5x7
	<i>6 classi</i>	6x3	6x5	6x7
	<i>7 classi</i>	7x3	7x5	7x7

4. Applicazione

Prima di esaminare l'insieme dei risultati ottenuti attraverso il calcolo delle tabelle di contingenza prima richiamate, si riporta subito, a titolo di esempio, la tabella di contingenza 4x3 costruita per il bacino del Tanaro a Montecastello (Figura 5), per la quale si dà una descrizione dell'informazione contenuta nelle singole categorie. In un secondo tempo si entra nel dettaglio della valutazione del grado di corrispondenza complessivo dell'informazione ottenuto con tabelle variamente strutturate per mezzo della statistica *G*.

Si osservi che, a differenza di quanto mostrato in Figura 1, il contenuto delle celle è costituito dalle frequenze relative, anziché da quelle assolute.

	$\Delta Q < 0$	$\Delta Q = 0$	$\Delta Q > 0$	
$P = 0$	0.09	0.02	0.03	0.14
$0 < P \leq 0.17$	0.21	0.04	0.04	0.29
$0.17 < P < 1.74$	0.19	0.03	0.07	0.29
$P > 1.74$	0.11	0.02	0.15	0.28
	0.60	0.11	0.29	1.00

Figura 5: Tabella di contingenza 4x3 per il Tanaro a Montecastello

Nell'ambito di un'indagine bivariata sui meccanismi di formazione del deflusso l'utilizzo delle tabelle di contingenza consente la verifica della compatibilità di eventi di precipitazione e (incrementi) di portata, diversificando il tipo di interpretazione in funzione del contesto climatico in cui si lavora.

Ad esempio, in zone temperate ci si aspetta di ritrovare la contingenza temporale rispettivamente fra situazioni di precipitazione nulla (o scarsa) e decrementi di portata (celle (1,1), (1,2) di Figura 5) e fra precipitazioni significative e incrementi di portata (celle (4,3) e (3,3)). Inoltre vi sono celle (come ad esempio la (1,3) e (2,3)) che dovrebbero servire a filtrare eventuali situazioni di errore, non essendo spiegabile il verificarsi di innalzamenti di portata in assenza di precipitazioni sul bacino.

In ambienti montani, invece, si può tentare di interpretare casi di tipo diverso da quelli citati in virtù del ruolo giocato dai fenomeni di accumulo e scioglimento nivale. Ad esempio, situazioni con $\Delta Q \geq 0$ e $P = 0$, come quelle relative alle celle (1,2) e (1,3), potrebbero essere attribuite all'instaurarsi di fenomeni di scioglimento degli accumuli nevosi presenti sul bacino, che possono indurre un innalzamento della portata anche in assenza di precipitazioni. In modo duale, eventi come quelli relativi alla cella (4,3) potrebbero essere interpretati come eventi di accumulo, con variazioni negative di portata anche in presenza di precipitazioni (solide) abbondanti.

Calcolando le tabelle di contingenza per tutte le combinazioni riportate in Figura 4, si ottiene una massa cospicua di indicatori, che va esaminata con una certa attenzione. In questo senso si è ritenuto utile valutare speditivamente l'efficienza delle tabelle tramite il ricorso alla statistica G , descritta nel secondo paragrafo, i cui valori - per tutti i bacini e per alcune configurazioni significative di tabelle- sono riportati in Tabella 2 unitamente all'incertezza di stima ad essa associata. Dalla Tabella 2 si evince che solo in alcuni casi, meglio descritti in seguito, la standard deviation è della stessa entità del valore della statistica G .

Tabella 2: Valori di $G \pm 1.9\sigma$ calcolati per i 17 bacini (identificati con il rispettivo codice) in relazione ad alcune tabelle di contingenza significative

	A: 3x3	B: 4x3	C: 5x3	D: 6x3	E: 7x3	F: 3x5	G: 4x5	H: 5x5
2	0.120 ± 0.048	0.143 ± 0.044	0.144 ± 0.042	0.146 ± 0.041	0.147 ± 0.041	0.104 ± 0.039	0.123 ± 0.037	0.123 ± 0.036
4	0.142 ± 0.039	0.143 ± 0.037	0.143 ± 0.036	0.143 ± 0.035	0.140 ± 0.035	0.088 ± 0.035	0.090 ± 0.033	0.091 ± 0.032
7	0.062 ± 0.039	0.062 ± 0.038	0.066 ± 0.037	0.066 ± 0.036	0.066 ± 0.036	0.050 ± 0.036	0.050 ± 0.035	0.054 ± 0.034
8	-0.018 ± 0.049	-0.009 ± 0.047	-0.009 ± 0.046	-0.009 ± 0.045	-0.008 ± 0.045	-0.021 ± 0.046	-0.012 ± 0.044	-0.012 ± 0.043
10	0.096 ± 0.039	0.095 ± 0.037	0.093 ± 0.036	0.093 ± 0.035	0.093 ± 0.035	0.088 ± 0.036	0.086 ± 0.034	0.085 ± 0.033
11	0.033 ± 0.037	0.037 ± 0.036	0.036 ± 0.035	0.036 ± 0.034	0.037 ± 0.034	0.029 ± 0.035	0.032 ± 0.033	0.032 ± 0.033
13	-0.065 ± 0.034	-0.056 ± 0.032	-0.056 ± 0.031	-0.056 ± 0.031	-0.052 ± 0.030	-0.069 ± 0.031	-0.060 ± 0.030	-0.060 ± 0.029
14	0.076 ± 0.036	0.096 ± 0.032	0.097 ± 0.031	0.097 ± 0.030	0.099 ± 0.029	0.060 ± 0.028	0.081 ± 0.026	0.080 ± 0.025
15	0.131 ± 0.040	0.139 ± 0.037	0.133 ± 0.036	0.135 ± 0.036	0.136 ± 0.035	0.100 ± 0.033	0.105 ± 0.032	0.103 ± 0.031
16	0.179 ± 0.035	0.186 ± 0.033	0.189 ± 0.032	0.191 ± 0.031	0.187 ± 0.031	0.124 ± 0.031	0.133 ± 0.030	0.137 ± 0.029
21	0.141 ± 0.038	0.154 ± 0.036	0.155 ± 0.035	0.152 ± 0.035	0.156 ± 0.034	0.112 ± 0.033	0.122 ± 0.032	0.124 ± 0.031
22	0.152 ± 0.054	0.155 ± 0.053	0.155 ± 0.053	0.154 ± 0.052	0.154 ± 0.052	0.142 ± 0.053	0.145 ± 0.052	0.145 ± 0.052
23	0.217 ± 0.035	0.212 ± 0.034	0.214 ± 0.034	0.213 ± 0.033	0.211 ± 0.033	0.173 ± 0.033	0.170 ± 0.032	0.172 ± 0.032
31	0.145 ± 0.034	0.153 ± 0.033	0.153 ± 0.032	0.155 ± 0.032	0.154 ± 0.032	0.091 ± 0.032	0.101 ± 0.030	0.101 ± 0.030
32	0.278 ± 0.033	0.287 ± 0.031	0.283 ± 0.030	0.281 ± 0.030	0.282 ± 0.030	0.183 ± 0.030	0.194 ± 0.029	0.192 ± 0.028
33	0.263 ± 0.037	0.275 ± 0.034	0.275 ± 0.033	0.274 ± 0.033	0.271 ± 0.032	0.188 ± 0.032	0.203 ± 0.030	0.204 ± 0.029
34	0.355 ± 0.043	0.366 ± 0.038	0.362 ± 0.036	0.354 ± 0.035	0.348 ± 0.035	0.243 ± 0.036	0.250 ± 0.032	0.251 ± 0.030

Si osservi come il valore di G risulti minore di zero proprio per i due bacini aventi le quote medie maggiori, cioè l'Evançon a Champoluc e il Savarà a Eau Rouse, per i quali la correlazione fra le serie di precipitazione e incrementi di portata risulta trascurabile.

In Figura 6 si riporta l'andamento del valor medio, calcolato tra i diversi bacini al variare delle dimensioni della tabella, della misura di associazione G . Dalla figura si evince che le prestazioni migliori si hanno con 3 classi di portata, vale a dire con la semplice distinzione fra incrementi positivi, negativi e nulli. Per ragioni di parsimonia, ne consegue che la tabella che meglio interpreta le relazioni affussi-deflussi sia la 4x3. In generale si può aggiungere che le tabelle piccole siano da preferire in questo tipo di indagine.

In Tabella 2 si può rilevare una variazione di G tra bacino e bacino piuttosto elevata in termini relativi. Tale variazione si rileva essere ben correlata alla tipologia di regime climatico a cui il bacino è sottoposto. Per esemplificare questo legame si è correlato il grado di associazione G delle serie storiche di piogge e incrementi di portata alla quota media del bacino, ottenendo una relazione riportata in Figura 7, relativamente al caso della tabella 4x3. L'evidenza di questo legame è stata riscontrata sui valori di G ottenuti per tutti gli altri tipi di tabelle di contingenza.

Sul grafico di Figura 7 sono rappresentate inoltre, per ciascun bacino, le fasce di incertezza della G al variare della dimensione del campione. A questo proposito si rileva come anche per il bacino dell'Ayasse a Champorcher, per il quale il limite inferiore della fascia di incertezza risulta molto prossimo a zero, le serie di afflussi e deflussi sono da considerarsi scorrelate.

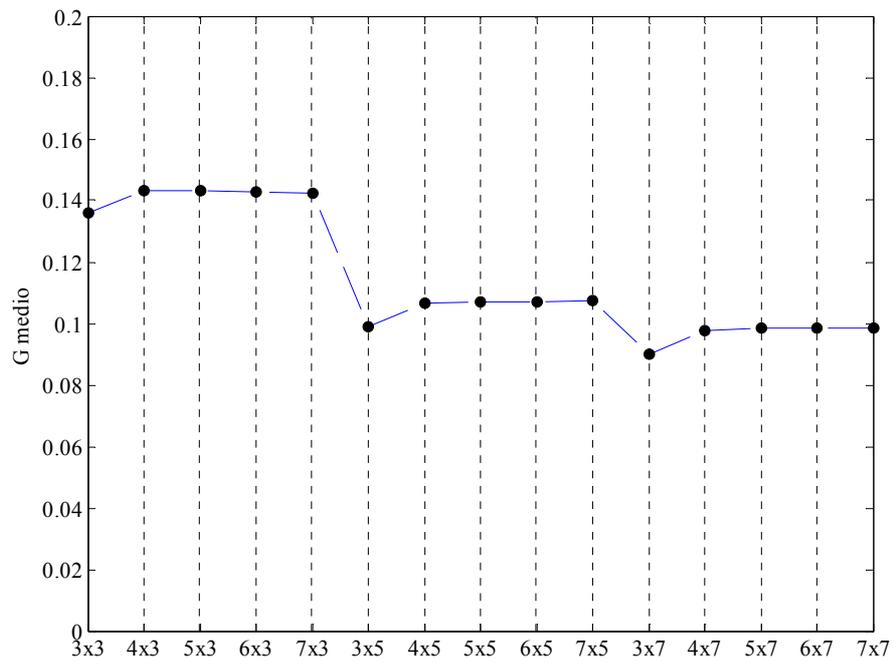


Figura 6: Andamento del valor medio di G al variare delle dimensioni della tabella

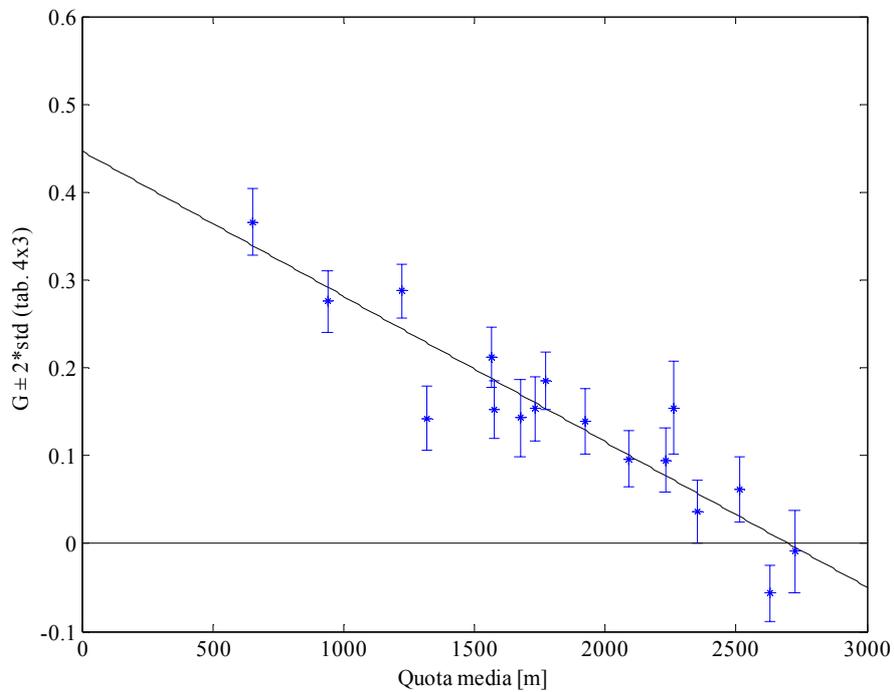


Figura 7: Andamento di $G \pm 1.9 \cdot \sigma(G)$ (per la tabella 4x3) al variare della quota media del bacino

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Gli afflussi e i deflussi giornalieri contemporanei di 17 bacini piemontesi e valdostani sono stati analizzati con un approccio statistico finalizzato a stabilire una misura oggettiva di correlazione delle variabili utile ad accompagnare valutazioni di affidabilità delle serie storiche a disposizione.

L'approccio si basa sull'utilizzo di tabelle di contingenza e di una misura di associazione G in grado di tradurre numericamente la correlazione, che non è possibile istituire in maniera tradizionale, tra precipitazioni ed incrementi di portata.

La misura di associazione, calcolata per diverse suddivisioni degli spazi campionari, è risultata più alta per i bacini di zone temperate e più bassa (negativa in due casi) per quelli montani, presentandosi linearmente correlata con la quota media del bacino.

Nel complesso è stato osservato che le tabelle più informative sono quelle aventi 3 classi di portata, e che in generale le tabelle piccole sono da preferire in questo tipo di indagine.

L'analisi delle potenzialità informative di ogni singola categoria della tabella di contingenza mostra che nei contesti alpini, laddove la temperatura può funzionare da innesco per i fenomeni di accumulo e scioglimento nivale, la struttura di contingenza produce maggiori incongruenze. In questi contesti sarebbe auspicabile la costruzione di tabelle tridimensionali che tengano conto anche del dato termometrico, o della data giuliana come variabile proxy del dato termometrico, laddove esso sia mancante.

Ringraziamenti

Lavoro finanziato con fondi MIUR (Cofin 2005, progetto CUBIST) e Fondazione CRT (Progetto Lagrange).

Riferimenti Bibliografici

- Agresti A. (1996). *An Introduction to Categorical Data Analysis*. Wiley Series in Probability and Statistics.
- Claps P., Allamano P., Laio F. (2005). "Some considerations on univariate and multivariate streamflow simulation methods", *proc. of National IHP-UNESCO Seminar: 2005-2015 United Nations Decade For Action WATER FOR LIFE*, Perugia.
- Goodman L. and Kruskal W. (1963). "Measures of Association for Cross classifications, III: Approximate Sampling Theory", *Journal of American Statistical Association*, 58, 310-364.
- Goodman L. and Kruskal W. (1954). "Measures of Association for Cross classifications", *Journal of American Statistical Association*, 49, 732-764.
- Kendall M. and Stuart A. (1979). *The Advanced Theory of Statistics*. Charles Griffin & Company Limited.
- Young P.C. (2001), "Data based mechanistic modelling and validation of rainfall-flow processes". In: *Model Validation: Perspectives in Hydrological Sciences* (M.G.Anderson and P.D.Bates eds.), Chichester: J. Wiley, 117-161.