

# Studio idrogeologico e climatico del bacino del lago di Montedoglio (F. Tevere, Arezzo – Italia Centrale)

Lucio Di Matteo, Walter Dragoni, Lucia Pierucci, Daniela Valigi

Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Perugia - Piazza dell'Università, 1 - 06123 Perugia – Italia; dimatteo@unipg.it, dragoni@unipg.it, luciapierucci@virgilio.it, valigi@unipg.it

*Hydrogeological and climatic study of the catchment of Montedoglio reservoir (Tiber River, Arezzo – Central Italy)*

**ABSTRACT:** The Montedoglio dam (AR) on the Tiber River was planned in the early 1970s; the reservoir is fed by a catchment of 275.8 km<sup>2</sup>. The basin is composed mainly of medium-low to low permeability rock types, belonging to the Liguridi and Umbro-Marchigiano-Romagnolo complexes and to the Cervarola Unit. According to management plans, the dam will provide water for irrigation to the Chiana Valley, the Tiber Valley and Lake Trasimeno, as well as for drinking in many municipalities in Umbria and Tuscany. The climate in Central Italy is now going through a dry phase, to be linked to the global climatic variations. The analysis of the precipitation time series of the area for the last 70 years shows an overall climatic tendency, indicating a decrease in rainfall. The estimated present water budget indicates a 10% decrease in water yield volumes compared to that obtainable from climatic data at the time the dam was planned. If the present climatic trend persists, as it seems likely, some doubts are raised about the possibility for the reservoir to satisfy the water demand for which it was built. The work was carried out using weather data taken mostly outside the lake basin, since that stations and data from inside the basin are extremely scarce: given the importance of the issue, an adequate weather network should be put into operation.

*Key terms:* Water budget, climatic change, Montedoglio reservoir, Tiber's basin

*Termini chiave:* Bilancio Idrogeologico, variazioni climatiche, Lago di Montedoglio, bacino del Tevere

## Riassunto

Lo sbarramento di Montedoglio (AR), sul Tevere, è stato progettato nei primi anni 1970; il bacino idrografico a monte della diga misura 275.8 km<sup>2</sup>. Il bacino è costituito prevalentemente da litotipi con permeabilità da medio-basse a molto basse, appartenenti ai Complessi delle Liguridi, Umbro-Marchigiano-Romagnolo e all'Unità Cervarola. I piani gestionali prevedono che l'invaso fornisca acqua per uso irriguo alla Valdichiana Toscana, Valtiberina e al Lago Trasimeno, oltre che per l'uso idropotabile di molti comuni umbri e toscani. Per l'Italia Centrale vari lavori hanno indicato che attualmente il clima della regione sta passando attraverso una fase siccitosa, da ricondursi al più generale problema delle variazioni climatiche a scala globale. Le serie storiche termo-pluviometriche dell'area degli ultimi 70 anni indicano la presenza di trend climatici statisticamente significativi in 8 stazioni su 18, indicando una diminuzione della piovosità. La temperatura mostra invece segnali contrastanti. Il bilancio idrogeologico mostra una diminuzione attorno al 10% dei volumi d'acqua disponibili rispetto a quelli ricavabili dai dati climatici all'epoca della progettazione. Il lavoro è stato condotto a partire da dati meteo presi per lo più al di fuori del bacino del lago, dato che all'interno stazioni e dati sono scarsi e frammentari. Vista l'importanza dell'argomento sarebbe necessario

mettere in opera una rete meteo adeguata.

## 1. Introduzione

La presente nota ha due obiettivi: il primo è di definire il bilancio idrogeologico del bacino imbrifero del F. Tevere sotteso alla diga realizzata nel comune d'Arezzo in località Montedoglio (Fig. 1); il secondo obiettivo è di eseguire una prima verifica riguardo agli effetti delle variazioni climatiche sulle risorse idriche del bacino stesso.

Il bacino idrografico sotteso allo sbarramento di Montedoglio include, oltre al F. Tevere, i torrenti Singerna e Tignana interessando un'area di circa 275.8 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Dall'inizio delle operazioni di invaso della diga il livello dello specchio d'acqua ha presentato forti oscillazioni, legate alla morfologia del territorio, alle condizioni climatiche e all'obbligo di mantenere le quote stabilite dal programma di collaudo. La figura 2 illustra l'andamento dei livelli del lago, per il periodo 1990-2005, condizionato da precipitazioni e da rilasci in alveo. Da maggio 2003, per consentire la produzione di energia elettrica, i rilasci dalla diga verso il F. Tevere, tranne che per periodi di piene eccezionali, sono all'incirca 7.7 Mm<sup>3</sup>/mese (Fig. 2b).

La progettazione della diga risale al 1971. Lo sbarramento, nato per irrigare la Valtiberina e la Valdichiana, per produrre energia elettrica e per alimentare

l'acquedotto di Arezzo (prelievo medio annuo previsto di circa 13 Mm<sup>3</sup>) oggi è guardato con molto interesse in quanto, mutate le esigenze irrigue, dovrebbe soddisfare anche altri tipi di esigenze. Tra queste è prevista l'alimentazione del Lago Trasimeno, secondo l'Ordinanza Ministeriale emanata in seguito all'emergenza idrica della Regione Umbria del periodo 2002-2004. I piani d'uso dell'acqua fornita dal serbatoio di Montedoglio, ed i volumi che esso potrà fornire, sono presumibilmente basati sui dati climatici disponibili all'epoca della progettazione (periodo dal 1921 al 1970) e sotto l'ipotesi di clima stabile.

Quaternario recente. Diversi sono gli studi geologici e stratigrafici effettuati nella zona di studio, spesso con differenti interpretazioni stratigrafiche e tettoniche (Nardi, 1965; Nocchi e Catinelli, 1965; Olivero, 1971a; De Jager, 1979; Guenther e Reutter, 1985; Pizziolo e Ricci Lucchi, 1992; Di Matteo, 1992; De Donatis, 1993; Delle Rose et alii, 1994; Cattuto et alii, 1995; Conti e Gelmini, 1995; Bucefalo et alii, 1997).



Fig. 1 – Ubicazione dell'area di studio e dei principali toponimi citati nel testo

*Location of the study area and of the place-names used in the text*

Questo lavoro nasce dall'osservazione che, per la penisola italiana, vari autori hanno dimostrato l'esistenza di un trend climatico siccitoso, non uniforme e arealmente differenziato, da ricondursi al più generale problema delle variazioni climatiche globali (cfr. solo per esempio, Dragoni e De Felice, 1994; Dragoni, 1998; Trenberth, 1999; Cambi e Dragoni, 2000; Barazzuoli et alii, 2002; Cotecchia et alii, 2003; Milly et alii, 2005). In questo contesto, a circa 40 anni dalla progettazione del serbatoio, si è ritenuta interessante una revisione critica delle risorse idriche disponibili, revisione necessaria per valutare come il lago risponderà alle richieste idriche e come l'area si colloca nell'ambito più generale degli studi sulle variazioni climatiche e sull'impatto di queste sui sistemi idrogeologici.

## 2. Caratteristiche geologiche ed idrogeologiche

L'area del bacino idrografico sotteso dalla diga è caratterizzata da terreni di età compresa tra il Giurese ed il

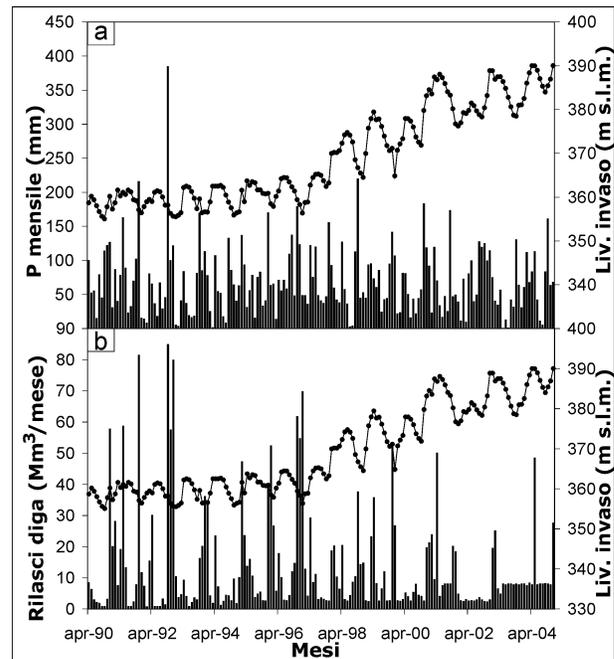


Fig. 2 – Andamento dei livelli del lago e delle precipitazioni registrate dal pluviometro posto alla diga di Montedoglio (a) e dei rilasci sul F.Tevere (b) per il periodo aprile 1990-dicembre 2004 (dati forniti dall'Ente Irriguo Umbro-Toscano)

*Lake levels and rainfalls measured at the "Montedoglio dam" (a); outflow released in Tiber River (b) (April 1990-December 2004 (data supplied by Ente Irriguo Umbro-Toscano)*

Lo schema stratigrafico e tettonico più recente è quello proposto da Delle Rose et alii (1994) che suddivide la zona di studio in diversi complessi ed unità tettoniche (Complesso Liguride, Complesso Umbro-Marchigiano-Romagnolo e Unità tettonica Cervarola). In particolare tutta la zona centro meridionale e settentrionale del bacino idrografico di Montedoglio appartiene al Complesso delle Liguridi; tale complesso caratterizza anche la zona dello sbarramento dove affiorano gabbri ed ofioliti. L'Unità tettonica Cervarola, formata dal basso verso l'alto, dalle formazioni Scisti Varicolori, Falterona e Marne di Vicchio (Nocchi e Catinelli, 1965; Pizziolo e Ricci Lucchi, 1992; Di Matteo, 1992; Delle Rose et alii, 1994; Bucefalo et alii, 1997) è presente nella zona centrale del bacino. Infine, nella zona sud-orientale e nord-occidentale, affiorano formazioni appartenenti al Complesso Umbro-Marchigiano-Romagnolo (Marnoso Arenacea e Schlier). La figura 3 riporta lo schema geologico della zona di studio ottenuto accorpando le varie

formazioni affioranti in classi litologiche e lo schema strutturale ripreso e modificato da Delle Rose et alii (1994). La carta geolitologica è stata redatta prendendo in considerazione la recente cartografia del Progetto CARG (SIT Toscana, 2005), facendo riferimento per i rapporti tra le varie Unità tettoniche/Complessi al lavoro di Delle Rose

et alii (1994). Benché i litotipi riportati in figura 3, appartengano a formazioni di diverse Unità tettoniche/Complessi si è ritenuto opportuno focalizzare l'attenzione sulle caratteristiche litologiche, piuttosto che stratigrafiche, per evidenziare il diverso comportamento idrogeologico.

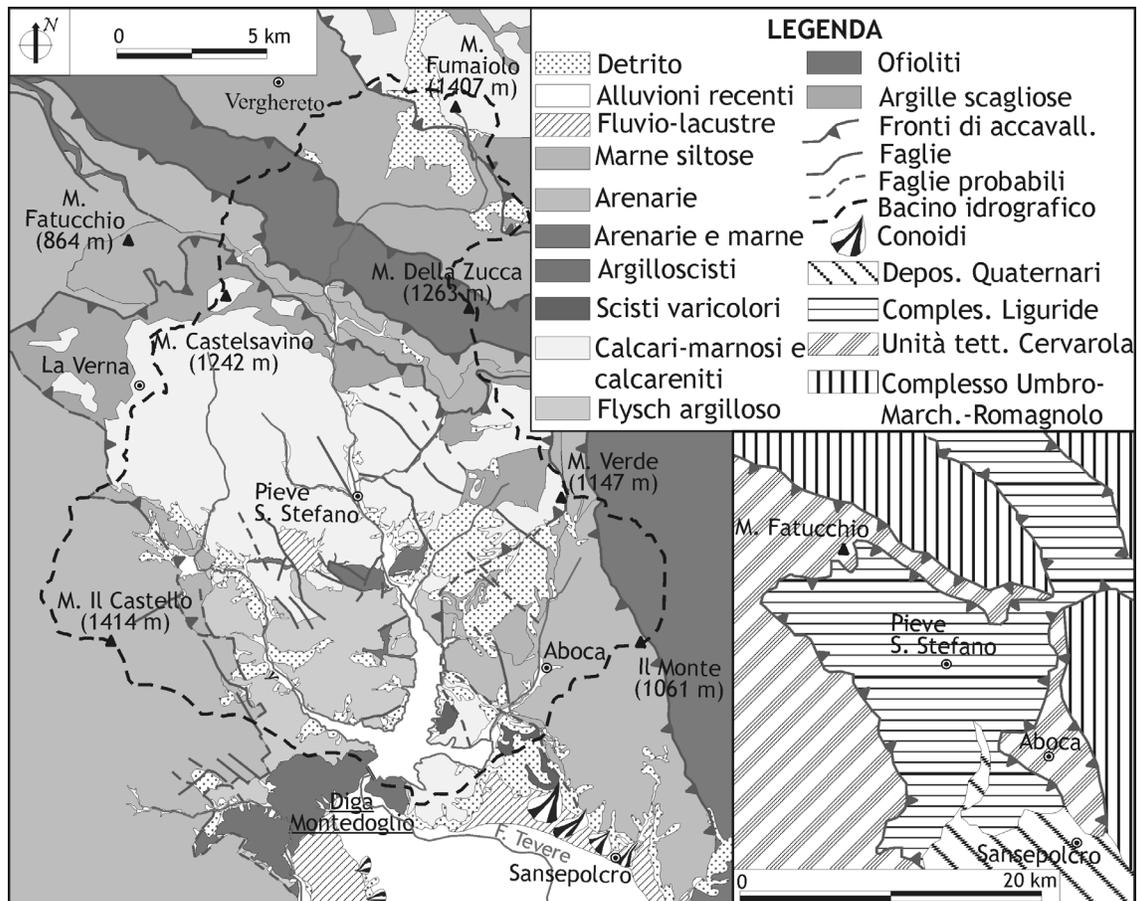


Fig. 3 – Schema geolitologico del bacino del F. Tevere sotto la diga di Montedoglio e relativo schema strutturale semplificato, ripreso e modificato da Delle Rose et alii (1994)

*Geo-litological sketch of the Montedoglio catchment and simplified structural map, modified by Delle Rose et alii (1994)*

Dal punto di vista idrogeologico predominano i litotipi calcareo-marnosi e marnosi aventi permeabilità primaria relative da medio-basse a molto basse; questo produce un consistente deflusso superficiale esteso a tutto il bacino. Solo all'interno del Complesso delle Liguridi affiorano litotipi con permeabilità relativa più alta, con una circolazione idrica concentrata nei banchi calcarenitici fratturati e fortemente condizionata dai livelli più marnosi. Tale considerazione è avvalorata dal fatto che anche all'interno della stessa formazione (cfr. formazione dell'Alberese) si rinvennero sorgenti disperse posizionate a quote molto diverse. Inoltre, sempre nel Complesso delle Liguridi sulle spalle della diga, affiorano delle ofioliti, spesso fratturate, aventi una permeabilità locale compresa tra  $10^{-8}$  e  $10^{-6}$  m/s (cfr. prove di immissione effettuate da

Olivero, 1971b). Le zone a permeabilità più alta sono state impermeabilizzate, durante la fase di costruzione della diga, mediante miscele di argilla e bentonite iniettate ad alta pressione (Olivero, 1971b).

In considerazione della scarsa permeabilità d'insieme dei litotipi presenti nel bacino si ritiene che gli scambi sotterranei con i bacini contigui siano sostanzialmente trascurabili: in altri termini nel seguito si assume che il volume medio annuo prodotto dal bacino corrisponda all'eccedenza idrica  $S$  calcolata come differenza fra precipitazioni ed evapotraspirazione reale.

### 3. Caratteristiche climatiche

La caratterizzazione climatica del bacino idrologico della diga di Montedoglio è stata effettuata prendendo in esame i

dati di temperatura e di pioggia delle stazioni ricadenti nel bacino e nelle zone limitrofe, riferite al periodo 1921-2004. In tabella 1 si riportano le principali caratteristiche delle stazioni utilizzate: solo due di queste ricadono all'interno del bacino idrografico del F. Tevere, precisamente Pieve S. Stefano e Montecoronaro. Inoltre, presso la diga e sotto la gestione dell'Ente Irriguo Umbro-Toscano, sono presenti un pluviometro ed un idrometro, che dal 1990 registrano piogge e livelli del Lago.

Le piogge annue e le temperature medie annue ragguagliate sul bacino (quota media a 735 m s.l.m.) sono state ricavate, anno per anno, dalle relazioni quota-precipitazioni e quota-temperatura, utilizzando le stazioni contrassegnate con l'asterisco nella tabella 1 e tenendo conto della curva ipsometrica del bacino. Per il periodo 1921 – 2004 precipitazioni annue e temperatura media annua ragguagliate sono risultate rispettivamente di 1.244 m/anno e 11 °C/anno.

Tabella 1 – Stazioni termo-pluviometriche presenti nella zona di studio e relativi trend climatici. Stazioni utilizzate per la definizione della relazione quota-precipitazione (\*) e quota temperatura (\*\*)

*Meteorological stations located on the study area and climatic trends. Meteorological stations used to define the elevation-rainfall relation (\*) and elevation-temperature relation (\*\*)*

NOME STAZIONE E QUOTA (m s.l.m.)	PIOGGE			TEMPERATURE			
	PER. OSSER	dati manc %	trend mm/anno	PER. OSSER	dati manc %	trend °C/anno	
Anghiari*	429	1921-2000	16	-2.65			
Arezzo*	277	1921-1996	4	no trend	1926-2001	19	+ 0.0085
Badia Prataglia	843	1921-1996	11	no trend			
Badia Tedalda*	756	1921-2003	18	no trend			
Bagno di Romagna	495	1921-1989	4	-3.42			
Bocca Serriola*	730	1921-1989	5	no trend			
Bocca Trabaria*	1049	1921-1989	4	no trend			
Camaldoli **	1111	1921-2000	0	-2.85	1926-1999	4	+ 0.024
Cast. Fiorentino**	330	1921-1996	4	-2.48			
Città di Castello*	295	1921-2002	35	no trend			
Cortona*	393	1925-2004	0	-3	1927-1992	2	+ 0.01
Diga Montedoglio**	430	1990-2004	0	-	1990-2004	0	-
Gubbio *	529	1929-2004	5	no trend	1929-1997	16	no trend
La Verna	1128	1924-2000	3	-2.73	1929-1978	12	-
Mercat. sul Metau.	429	1921-1989	13	-3.27	1926-1989	8	-0.0052
Montecoronaro*	900	1929-2002	12	-5.75			
Monterchi*	366	1921-1999	47	-			
Palazzo del Pero*	406	1921-1997	20	-	1959-1990	9.3	-
Petrelle*	293	1921-2002	7	no trend			
Pieve S. Stefano**	431	1937-2001	45	-	1964-2001	29	-
Sansepolcro**	330	1921-2001	21	-	1926-2001	41	-
Toppole*	453	1921-1997	9	no trend			
Verghereto**	812	1921-2004	14	no trend	1926-1989	6	-0.0187

Per verificare l'esistenza o meno di un trend climatico,

sono state sottoposte a regressione lineare le serie storiche più lunghe e con dati mancanti inferiori al 20% (tabella 1) e verificando, per ognuna di esse, la significatività mediante l'F-test (con significatività superiore al 90%). Va precisato, che per alcune stazioni, la mancanza dei dati non è da attribuire esclusivamente a periodi lacunosi di registrazione ma anche alla difficoltà di reperire i dati stessi, in particolare per gli ultimi 5-6 anni, in quanto l'area studiata ricade nelle zone di competenza di quattro Uffici Idrografici (Pisa, Bologna, Roma e Ancona).

La tabella 1 mostra, come già riportato in letteratura per l'Italia peninsulare e le isole (Cambi et alii, 2000; Brunetti et alii, 2004), che non tutte le serie pluviometriche hanno un trend significativo, ma quando questo è presente (qui in 8 casi su 18) esso mostra generalmente un decremento della piovosità media annua. La figura 4 riporta i trend pluviometrici osservati alle stazioni di Montecoronaro e Camaldoli. Complessivamente questa tendenza (ma con un livello di significatività dell'87%) si evidenzia, per tutto il periodo 1921-2004, anche per la serie storica delle piogge annue ragguagliate sul bacino. I dati di temperatura disponibili presentano invece tendenze nettamente discordanti, e la temperatura risulta sostanzialmente priva di trend: nel seguito si è assunta una temperatura media annua costante di 11 °C per tutto il bacino.

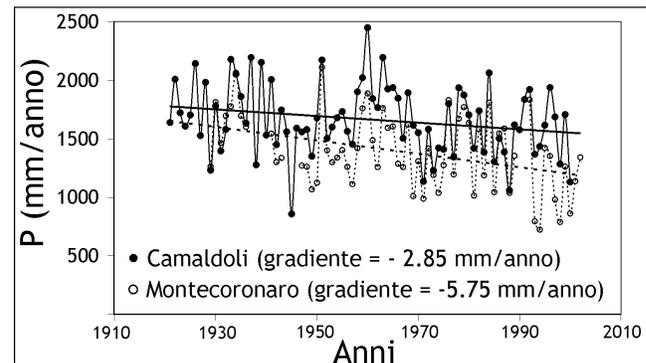


Fig. 4 – Trend della pioggia annua della stazione di Camaldoli (1921-2000) e Montecoronaro (1929-2002).

*Precipitation trends at the Camaldoli and Montecoronaro meteorological stations for 1921-2000 and 1929-2002 periods*

#### 4. Bilancio Idrogeologico

Il bilancio idrogeologico è stato finalizzato a stimare il volume idrico medio annuo  $S$  che il bacino ha fornito e può fornire in funzione di pioggia e temperatura; esso è stato eseguito per tutta la serie 1921 – 2004 e per i 6 periodi ottenuti dividendo in parti uguali l'intero periodo. In tutti i casi  $S$  è stato stimato sotto l'ipotesi di scambi sotterranei con i bacini limitrofi trascurabili ed assumendo che la nota formula di Turc (Turc, 1954) fornisca una buona stima dell'evapotraspirazione reale.

La stima della eccedenza idrica è stata ottenuta per tutti i periodi applicando quindi la seguente:

$$S = (P_b - ETR) A_b \quad (1)$$

Per il periodo 1991-2004 si ottiene:

- $S = 0.623$  m/anno, eccedenza idrica o deflusso globale.
- $P_b = 1.195$  m/anno, pioggia ragguagliata sul bacino idrografico.
- $ETR = 0.572$  m/anno, evapotraspirazione reale, stimata con la formula di Turc.
- $A_b = 272.8$  Mm<sup>2</sup>, area media del bacino imbrifero (specchio lacustre escluso).

Tenendo conto delle assunzioni adottate, della scarsità di stazioni meteo in quota e della presenza di sole due stazioni all'interno del bacino, l'affidabilità dei risultati ottenuti è stata valutata confrontando l'eccedenza idrica  $S$  del periodo 1991-2004 ottenuta tramite la (1) con quella ( $S'$ ) ricavabile dalle misure di variazioni di livello e rilasci alla diga, e da stime plausibili di evaporazione dal Lago. Applicando l'equazione del bilancio al lago, ponendo gli ingressi positivi e le uscite negative, si ha:

$$\Delta V = S' + P_L \cdot A_L + EV \cdot A_L + Q_{ril} + PR \quad (2)$$

$$S' = \Delta V - P_L \cdot A_L - EV \cdot A_L - Q_{ril} - PR \quad (2a)$$

dove:

- $\Delta V = 8.3$  Mm<sup>3</sup>/anno, variazione delle riserve idriche medie annue del sistema nell'intervallo considerato. Questo valore è stato ricavato come differenza fra il volume del lago alla fine ed all'inizio del periodo 1991 – 2004, usando la curva livelli-volumi del lago.
  - $P_L = 0.832$  m/anno, precipitazione media annua sulla superficie lacustre, ricavata dal pluviometro alla diga.
  - $A_L = 3.04$  Mm<sup>2</sup>, area media annua della superficie dello specchio lacustre, ricavata dalla curva livelli-aree del lago.
  - $EV = -1.022$  m/anno, evaporazione media annua dallo specchio lacustre.  $EV$  è stata stimata con la formula di Dragoni e Valigi (1994), adottando le temperature misurate alla diga (temperatura media annua = 12.4 °C). Non è stata usata la formula di Visentini perché essa avrebbe dato una evaporazione media di 1.117 m/anno, superiore all'evaporazione da evaporimetro fornita dagli evaporimetri dell'Italia Centrale ubicati in località con temperature maggiori alla temperatura di Montedoglio, quando è noto che il passaggio evaporimetro – lago andrebbe eseguito moltiplicando il valore dell'evaporimetro per un coefficiente inferiore ad 1 (Moisello, 1999). È forse opportuno evidenziare che la formula di Visentini si basa su meno di due anni di osservazioni e sulla sola temperatura media annua (Visentini, 1937), mentre la formula di Dragoni e Valigi si basa su oltre venti anni di osservazioni, considera le temperature medie di ogni mese ed i coefficienti di Thornthwaite riguardanti mese ed ubicazione geografica.
  - $Q_{ril} = -160.5$  Mm<sup>3</sup>/anno, volumi medi annui rilasciati dalla diga.
  - $PR = -13$  Mm<sup>3</sup>/anno, prelievi medi annui dal lago.
- La tabella 2 riporta i risultati ottenuti per i tutti i periodi

analizzati, sostituendo nelle equazioni (1 e 2a) i numeri alle lettere. In particolare per il periodo di controllo 1991–2004 si ha una differenza fra  $S$  ed  $S'$  attorno al 7%, non trascurabile ma che si ritiene comunque accettabile.

Tabella 2 – Risultati del bilancio idrogeologico del bacino di Montedoglio

*Water budget of the Montedoglio catchment*

periodo	$P_b$ (m/anno)	$S$ (Mm <sup>3</sup> /anno)	$S$ (m/anno)	$S'$ (Mm <sup>3</sup> /anno)	$S'$ (m/anno)
1921-1934	1.238	180.6	0.662	-	-
1935-1948	1.333	205.9	0.755	-	-
1949-1962	1.261	186.3	0.683	-	-
1963-1976	1.231	178.9	0.656	-	-
1977-1990	1.209	173.5	0.636	-	-
1991-2004	1.195	169.9	0.623	182.4	0.669
media 1921-2004	1.244	182.5	0.669	-	-

La figura 5, ricavata dalla tabella 2, mostra i decrementi della piovosità complessiva sul bacino e dell'eccedenza idrica  $S$ , che dal punto di vista della significatività statistica secondo l'F-test sono significativi solo all'85%. Di per sé tali tendenze, quindi, non hanno un significato conclusivo, ma diventano importanti se si inquadrano nel contesto generale dell'evoluzione climatica della regione italiana.

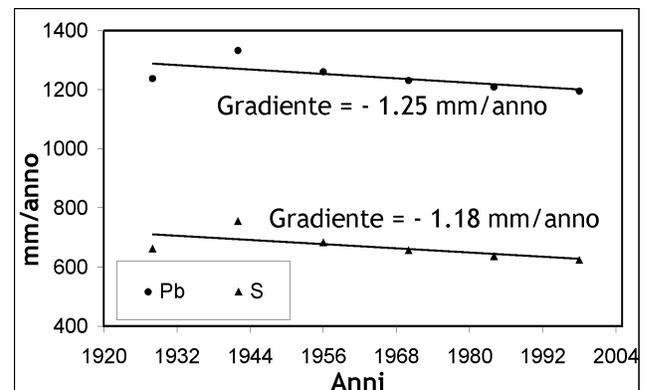


Fig. 5 – Variazione dell'eccedenza idrica media annua sul bacino ( $S$ ) e della pioggia ragguagliata media annua ( $P_b$ ) per i sei periodi analizzati in tabella 2 (dal 1921 al 2004)

*Variation of the mean annual water surplus on the catchment ( $S$ ) and of the mean annual areal rainfall on the Montedoglio catchment ( $P_b$ ) for the six periods analyzed in table 2 (from 1921 to 2004)*

## 5. Conclusioni

Nonostante la scarsa qualità dei dati a disposizione, l'analisi degli stessi indica che il clima del bacino del F.Tevere alla diga di Montedoglio presenta una tendenza, con affidabilità all'85%, caratterizzata da una diminuzione della piovosità e da una conseguente diminuzione dell'eccedenza idrica.

Questa è oggi (1991-2004) minore di circa il 10 % di quella fornita nel periodo 1921-1976, alla fine del quale la diga fu progettata. Se il trend rilevato dovesse persistere, come molto probabile accada, per i prossimi decenni ci si deve aspettare un'ulteriore diminuzione delle risorse idriche. Tali deduzioni sono coerenti con i risultati di vari lavori, eseguiti sia con l'approccio qui adottato (De Felice e Dragoni, 1994; Dragoni, 1998) sia con approcci molto più complessi (Milly et alii, 2005).

La diminuzione dei volumi forniti dai sistemi idrici, assieme all'incremento delle richieste per uso irriguo (inevitabili in un clima più arido), costringerà a rivedere i piani di utilizzo e di gestione delle risorse idriche e degli impianti idraulici (cf. per esempio Basher, 1999; Cambi et alii, 2003; Pittock, 2003; Schröter et alii, 2005). Data la rilevanza del problema è importante che tali studi ed azioni vengano intraprese al più presto, sia nel caso di Montedoglio che, in generale, nell'intera regione italiana.

Nel caso specifico di Montedoglio andrebbero eseguite analisi riguardanti la durata e la frequenza dei periodi siccitosi, accoppiate ad una analisi delle variazioni d'intensità e frequenza delle piene, dato che vi sono forti indicazioni che il clima italiano si stia evolvendo, oltre che verso una minore piovosità media annua, verso un aumento dell'intensità della pioggia (Trenberth, 1999; Brunetti et alii, 2004).

E' prioritario costituire, a Montedoglio come nel resto dell'Italia, una rete idrometeorologica affidabile e con stazioni ubicate in punti chiave (in quota, nelle zone di ricarica degli acquiferi, all'interno dei bacini che alimentano i serbatoi artificiali) e non solo in punti facilmente raggiungibili: l'attuale rete è, in generale, inadeguata.

Nel caso di Montedoglio in particolare, la rete di rilevamento dati dovrebbe anche comprendere un evaporimetro e misure di dati necessari per la stima dell'evaporazione dai laghi e dell'evapotraspirazione reale con metodi più moderni di quelli qui adottati, basati peraltro su approcci in Italia ancora largamente usati a causa della carenza di dati.

## 6. Ringraziamenti

Gli autori, rimanendo responsabili di eventuali errori ed imprecisioni, ringraziano Pietro Celico, dell'Università Federico II di Napoli, per la revisione critica del manoscritto. Si ringrazia inoltre l'Ente Irriguo Umbro-Toscano e in particolare l'Ing. Stefano Cola per aver messo a disposizione i dati storici e per il supporto tecnico. Il lavoro è frutto della collaborazione paritetica di tutti gli autori.

## Bibliografia

- Barazzuoli P., Mocenni B., Rigati R. e Salleolini M. (2002) - L'influenza sulla variabilità climatica sulle risorse idriche rinnovabili della Toscana Meridionale. In: Atti del I° Congresso Nazionale AIGA, 19-20 Febbraio 2003, Chieti, pp. 55-68.
- Basher R. (1999) - Data Requirements for Developing Adaptations to Climate Variability and Change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Volume: 4, Issue: 3, 1999, pp. 227-237.
- Brunetti M., Maugeri M., Monti F. e Nanni T. (2004) - Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years. *J. Geophys. Res.*, 109, D05102.
- Bucefalo Palliani R., Luchetti L., Nini C., Nocchi M. e Rettori R. (1997) - Age and palaeoecological inferences of the upper Monte Falterona Sandstone Formation (Lontano Member, early Miocene), northern Apennines. *Giorn. Geol.*, 59 (1/2), pp. 143-168.
- Cambi C. e Dragoni W. (2000) - Groundwater yield, climatic changes and recharge variability: considerations arising from the modelling of a spring in the Umbria-Marche Apennines. *Hydrogéologie*, 4, pp. 11-25.
- Cambi C., Dragoni W., Valigi D. (2003) - Water management in low permeability catchments and in times of climatic change: the case of the Nestore River (western central Italy). *Physics and Chemistry of the Earth*, 28/4-5 pp. 201-208.
- Cattuto C., Cencetti C., Fisauli M. e Gregori L. (1995) - I bacini pleistocenici di Anghiari e Sansepolcro nell' Alta Valle del F. Tevere. *Il Quaternario*, 8 (1), pp.119-128.
- Conti S. e Gelmini R. (1995) - La tettonica trasversale dell'Appennino Settentrionale; il caso della Val Marecchia. *Studi Geologici Camerti*, 1, pp. 315-324.
- Cotecchia V., Casarano D. e Polemio M. (2003) - Piovosità e siccità in Italia meridionale tra il 1821 ed il 2001. *L'Acqua*, 2, pp. 99-106.
- De Donatis M. (1993) - Considerazioni stratigrafiche e tettoniche sulla successione Falterona-Vicchio nell'alta Val Marecchia (Appennino Settentrionale). *Gior. Geol.*, 55 (2), pp. 35-49.
- De Jager J. (1979) - The relation between tectonics and sedimentation along the Sillaro Line (Northern Apennines, Italy). *Geol. Ultraiectina*, 19, 98 pp.
- Delle Rose M., Guerrera F., Renzulli A., Ravasz-Baranyai L. E Serrano F. (1994) - Stratigrafia e petrografia delle Marne di Vicchio (Unità Tettonica Cervarola) dell'Alta Val Tiberina (Appennino Tosco-Romagnolo). *Boll. Soc. Geol. It.*, 113, pp. 675-708.
- Di Matteo A. (1992) - Stratigrafia e tettonica delle Marne di Vicchio (Unità Cervarola-Falterona) tra Passo di Vignamaggio e La Verna (Appennino Toscano). Tesi di laurea non pubblicata, a.a. 1991-1992, Università di Urbino.
- Dragoni W. e Valigi D. (1994) - Contributo alla stima dell'evaporazione dalle superfici liquide nell'Italia Centrale. *Geologica Romana*, 30, pp. 151-158.
- Dragoni W. e De Felice A.M. (1994) - Alcune considerazioni sul futuro delle risorse idriche in Umbria. *Acque Sotterranee*, XI/4, pp. 31-38.
- Dragoni W. (1998) - Some considerations on climatic changes, water resources and water needs in the Italian region south of the 43°N. In "Water, Environment and Society in Times of Climatic Change". Issar A., Brown N. editors. Kluwer, pp. 241 - 271.
- Guenther K. E Reutter K.J. (1985) - Il significato delle strutture dell'Unità di M. Modino-M. Cervarola tra il passo delle Radici e il M. Falterona in relazione alla tettonica dell'Appennino settentrionale. *Gior. Geol.*, 47, pp. 15-34.
- Milly P. C. D., Dunne K. A. E Vecchia A. V. (2005) - Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438, pp. 347-350.
- Moisello U. (1999) - Grandezze e fenomeni idrologici. *La Goliardica Pavese*.
- Nardi R. (1965) - Schema Geologico dell'Appennino toscano-emiliano tra il M. Cusna e il M. Cimone e considerazioni sulle unità tettoniche dell'Appennino. *Boll. Soc. Geol. It.*, 24, pp. 35-92.
- Nocchi M. E Catinelli A (1965) - Cenni sulla stratigrafia della Serie Toscana e della Serie Umbra nell'alta Valle Tiberina. *Boll. Soc. Geol. It.*, 83, pp. 526-542.

- Olivero S. (1971a) - Relazione geologica diga di Montedoglio. Relazione interna dell'Ente Irriguo Umbro-Toscano.
- Olivero S. (1971b) - Progetto esecutivo: Studio geologico (sezioni geologiche in scala 1:5000), Studio geologico-tecnico Ricerche per i materiali. Allegati alla Relazione geologica interna dell'Ente Irriguo Umbro-Toscano.
- Pittock A. B. (2003) - Climate change - An Australian Guide to the Science and Potential Impacts, Australian Greenhouse Office, 2003.
- Pizzolo M. e Ricci Lucchi F. (1992) – Le Marne di Vicchio nel quadro evolutivo dei bacini oligomiocenici dell'Appennino Settentrionale (Zona del Casentino). Mem. Descr. Carta Geol. It., 46, pp. 287-300.
- Schröter D., Polsky C. Patt A.G. (2005) - Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight step approach. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Springer Science, Volume 10, Number 4, ISSN: 1381-2386 pp. 573 – 595.
- SIT Toscana (2005) – Carte geologiche in scala 1:10.000 del Foglio 278 – Pieve Santo Stefano ([www.rete.toscana.it](http://www.rete.toscana.it)). Cartografia Progetto CARG.
- Trenberth K. E. (1999) - Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*, 42, pp. 327-339.
- Turc L. (1954) - Calcul du bilan de l'eau: evaluation en fonction des precipitation et des temperatures. *IAHS Publ.* 37, pp. 88-200.
- Visentini M. (1937) – L'evapotraspirazione dagli specchi liquidi. *Memorie e Studi Idrografici*. Pubbl. N.2 del Servizio Idrografico, Ist. Poligrafico dello Stato, 9, Roma.