

S. VITTORINI (*)

IL BILANCIO IDRICO DEL BACINO DEL FIUME MORTO (PISA)

Riassunto — In questa breve nota si calcola, con metodi indiretti, il bilancio idrico della pianura pisana a nord dell'Arno, drenata dal Fiume Morto, e si valutano le caratteristiche idrologiche del corso d'acqua, nel periodo 1952-1976.

Summary — *Water balance of Fiume Morto river (Pisa)*. Results of a study carried out on indirectly computed water balance of the northern Pisa's plain — which is drained from Fiume Morto river — in the period 1952-1976, are described.

Key words — Potential evapotranspiration, water balance, Tuscany.

PREMESSA

Il Fiume Morto drena gran parte della pianura pisana settentrionale, compresa tra i Monti Pisani, il Serchio e l'Arno. A tale funzione fu destinato abbastanza recentemente, dopo che il Serchio ebbe raggiunto, intorno al VI secolo d.C., pressappoco l'assetto definitivo. Da quell'epoca in poi, infatti furono costruiti canali di drenaggio che, dalle pendici sud-occidentali dei Monti Pisani, confluivano nel Serchio Morto, antico alveo del Serchio che sfociava al mare poco più ad ovest della Sterpaia. Venne a formarsi così un nuovo corso d'acqua, in gran parte artificiale, il quale prese il nome in seguito di Fiume Morto ⁽¹⁾ a causa, probabilm-

(*) Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino, Pisa.

(¹) Questo nome appare menzionato per la prima volta in una pergamena del 1096, ma non è improbabile che venisse usato assai prima. Per ulteriori dettagli sulle vicende della pianura pisana a nord dell'Arno, si rimanda ai seguenti Autori: R. FIASCHI, 1936; G. CACIAGLI, 1969.

te, del precario deflusso dovuto ai frequenti interrimenti della foce.

Il drenaggio della pianura pisana settentrionale, perciò, rimase problematico fino agli inizi di questo secolo, quando il Fiume Morto fu rettificato dalla Sterpaia fino al mare e fu provvisto di una foce armata, sporgente in mare ed opportunamente orientata, che, impedendo la formazione di barre, consentiva un normale deflusso delle acque. Dopo questo assetto, l'attuale corso d'acqua ha preso il nome di Fiume Morto Nuovo, mentre il troncone abbandonato, che sfocia più a nord, si chiama Fiume Morto Vecchio.

Il bacino del Fiume Morto, in seguito a queste sistemazioni, ha assunto per limiti il Serchio, arginato, a nord, i Monti Pisani a nord-est, il conoide del T. Zambra ad est e l'Arno, anch'esso arginato, a sud. Ha una superficie di 111,91 km², di cui circa l'83% si trova al di sotto di 5 m di altitudine. L'acclività, dalle pendici dei rilievi al mare, è pertanto molto debole e, ancora di più, quella dell'alveo rettificato che va dalla Sterpaia al mare.

Queste caratteristiche sono da porre in relazione con la giacitura suborizzontale dei depositi alluvionali attuali e recenti di cui è costituita la massima parte del bacino.

TABELLA 1 - *Distribuzione, per fasce altimetriche, della superficie del bacino del Fiume Morto* (2).

	0-5 m	5-10 m	10-300 m	300-600 m	più di 600 m
km ²	92,47	4,90	10,08	3,95	0,51
%	82,6	4,4	9,0	3,5	0,5

IL BILANCIO IDRICO

Il Fiume Morto non è provvisto di idrometrografo, per cui non se ne conoscono le caratteristiche idrologiche. Per ovviare a questo inconveniente, si è ritenuto opportuno ricorrere ad uno dei metodi indiretti per il calcolo del bilancio idrico. In genere tali

(2) I valori di questa tabella sono solo indicativi perché ottenuti sulla scorta delle quote indicate nelle tavolette al 1:25.000 dell'IGMI.

metodi consistono nel calcolare l'evapotraspirazione potenziale (ETP), in base ai valori di alcuni elementi climatici, in modo da conoscere poi le altre componenti del bilancio idrico. Infatti, per la legge di conservazione dell'acqua, viene soddisfatta la seguente relazione:

$$P = E + D + \Delta R + U$$

In cui P = precipitazioni; E = evapotraspirazione; D = deflusso; ΔR = variazione della riserva idrica del suolo; U = uso dell'acqua. Se tuttavia si prendono in considerazione periodi lunghi, il parametro U si può ritenere costante ed il bilancio idrico può essere così espresso:

$$P = E + D + \Delta R$$

Nel nostro caso, noti i valori di P, ricavati dalle stazioni pluviometriche esistenti nel bacino, resta da calcolare E e ΔR . A questa bisogna si è preferito adottare il metodo Thornthwaite perché, oltre ad essere il più semplice (per il calcolo di E basta conoscere solo la temperatura) consente di ricavare anche ΔR ⁽³⁾.

Per il calcolo dell'ETP è stato possibile utilizzare solo la stazione termometrica di Pisa, che però è posta al centro del bacino, mentre per la misura delle precipitazioni si sono potuti sfruttare i dati di quattro stazioni pluviometriche ⁽⁴⁾; in tutti e due i casi il periodo di osservazioni è stato di venticinque anni, dal 1952 al 1976. Per il calcolo del bilancio idrico si è dovuta eseguire la media ponderata delle precipitazioni relative alle quattro stazioni e, a tale scopo, si è preferito adottare il metodo dei topoieti che, a differenza di quello delle isoiete, garantisce una valutazione meno soggettiva dell'andamento spaziale delle precipitazioni e soprattutto un errore costante nel tempo, condizione essenziale per l'analisi delle variazioni pluriennali del bilancio idrico del bacino.

Come mostra la tabella 2, da maggio ad agosto, la differenza P-ETP è negativa, per cui l'evapotraspirazione si verifica in parte a spese della riserva idrica del suolo. Questa riesce a compensare bene la relativa scarsità delle precipitazioni di maggio, ma, nei

⁽³⁾ Per maggiori dettagli sul metodo Thornthwaite consultare: THORNTHWAITTE C.W., 1948; THORNTHWAITTE C.W., MATHER J.R., 1957.

⁽⁴⁾ Esse sono: S. Rossore (3 msm), Migliarino (3 msm), Pisa (6 msm) e Asciano (110 msm).

TABELLA 2. - Bilancio idrico del bacino del Fiume Morto, per il periodo 1952-1976, e caratteristiche idrologiche del corso d'acqua.

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
T °C	6,9	8,1	10,3	13,5	17,4	20,7	23,3	23,1	20,1	15,7	11,4	7,9	14,9
ETP	15	17	34	54	91	119	143	130	90	57	32	16	798
P	95	95	79	74	67	47	23	54	104	120	127	111	996
P - ETP	80	78	45	20	-24	-72	-120	-76	14	63	95	95	198
Δ R					-23	-57	-65	-28	14	63	95	1	
E	15	17	34	54	90	104	88	82	90	57	32	16	679
DEFICIT					1	15	55	48					119
ECCEDENZA	80	78	45	20								94	317
DEFLUSSO	64	71	58	39	20	10	5	2	-	-	1	47	317
CD	0,67	0,74	0,73	0,53	0,30	0,21	0,21	0,03	-	-	-	0,42	0,32
m ³ / s	2,8	3,3	2,4	1,7	0,8	0,4	0,2	0,1	-	-	-	2,0	1,1
1/s Km ²	25	29	21	15	7	4	2	1	-	-	-	18	10,0

ETP = Evapotraspirazione potenziale; P = Precipitazioni; Δ R = Variazione della riserva; E = Evapotraspirazione reale; CD = Coefficiente di deflusso. I valori da ETP a Deflusso sono espressi in mm di altezza in acqua.

mesi successivi, fino ad agosto, la quantità d'acqua del suolo, disponibile per l'evapotraspirazione, è inferiore al fabbisogno idrico, per cui si genera un deficit, ammontante complessivamente a 119 mm di media all'anno. Da settembre a novembre, malgrado che P-ETP sia positiva, non si verifica eccedenza, perché la quantità delle precipitazioni che supera l'evapotraspirazione potenziale va a ricostituire la riserva idrica del suolo, depauperata nei mesi precedenti. L'eccedenza inizia così a verificarsi solo a dicembre e termina ad aprile, raggiungendo in media all'anno 317 mm. Questo valore, che è uguale all'altezza della lama d'acqua, uniformemente distribuita su tutto il bacino, corrisponde ad un volume di 35.504.000 m³. Questa quantità di acqua genera, in media all'anno,

nel Fiume Morto, una portata di 1,1 m³/s e una portata specifica di circa 10 l/s km².

L'andamento mensile delle portate è caratterizzato da un unico massimo a febbraio, con 3,3 m³/s ed un minimo tra settembre e novembre, mesi in cui non si verifica praticamente nessuna portata. Esiste pertanto uno sfasamento di tre mesi, tra il massimo delle piogge, che si verifica a novembre, e il massimo del deflusso, che si verifica a febbraio, dovuto, come già accennato, alla ricostituzione della riserva idrica del suolo (5).

Anche se non è possibile verificare la validità dei risultati ottenuti, mediante il confronto con dati sperimentali, il bilancio idrico così calcolato non dovrebbe discostarsi eccessivamente da quello reale; studi precedenti (S. VITTORINI, 1972), basati sul confronto tra i deflussi calcolati e quelli misurati, usando lo stesso metodo adottato nella presente ricerca, ha permesso di constatare l'attendibilità di tale metodo (6).

VARIAZIONI PLURIENNALI DEL BILANCIO IDRICO

Per osservare le variazioni nel tempo dei parametri del bilancio idrico e delle caratteristiche idrologiche del Fiume Morto, alla Sterpaia, si sono prese in considerazione le medie dei quinquenni compresi tra il 1952 e il 1976 (Tabella 3). In questo arco di tempo l'ETP si è mantenuta pressoché costante, poiché ha oscillato tra 771 e 815 mm. Ciò si spiega perché la temperatura non ha subito sensibili variazioni annue (lo scarto semplice medio è stato di 0,5% e quello relativo è stato del 3,2%).

Più sensibili sono state invece le variazioni del deflusso, che ha oscillato tra 435 e 220 mm poiché, com'è ovvio, ciò che condiziona le oscillazioni dell'umidità, se l'evaporazione rimane costan-

(5) Lo sfasamento riscontrato per il Fiume Morto si riscontra pure nei fiumi della Toscana dove, su 19 corsi d'acqua, in 10 si registra un intervallo di un mese tra il massimo degli afflussi e quello dei deflussi; in uno, di due mesi e in 8, di ben tre mesi (MIN. LL.PP., *Annali idrologici*, Parte seconda).

(6) Nel nostro caso tuttavia bisogna considerare che, oltre agli afflussi meteorici, vi sono anche gli apporti delle fogne della parte settentrionale di Pisa e gli scarichi liquidi industriali i quali, insieme, secondo le stime dell'Ufficio Tecnico del Comune di Pisa, concorrerebbero con un volume annuo di circa 2.270.592 m³, pari al 6,4% del volume medio di acqua meteorica che si deposita nel bacino.

te, è la variabilità delle precipitazioni che, nel nostro caso, è stata più elevata di quella della temperatura (lo scarto semplice medio è stato di 170 mm e quello relativo è stato del 16,6%). Tuttavia è da considerare che, più che il valore assoluto delle precipitazioni annue, influisce sul deflusso il loro regime, se messo in correlazione con quello delle temperature. Infatti lo scarto relativo delle precipitazioni medie annue (16%) da solo non basta a spiegare lo scarto relativo dei deflussi annui che è stato ben maggiore (21,6%). Si può constatare al riguardo una certa correlazione tra afflussi del semestre estivo e deflussi annui, poiché, a valori bassi dei primi, corrispondono valori pure bassi dei secondi. Molto probabilmente la scarsità delle precipitazioni del periodo caldo deter-

TABELLA 3. - Variazioni quinquennali delle portate e delle portate specifiche del Fiume Morto.

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
1952-56													
m^3/s	2,34	3,61	1,84	0,95	0,46	0,25	0,13	0,05	-	-	-	1,30	0,89
$1/s \text{ Km}^2$	20,9	32,2	16,4	8,5	4,1	2,2	1,2	0,5	-	-	-	11,6	8,0
1957-61													
m^3/s	3,60	3,38	2,55	2,59	1,25	0,69	0,34	0,16	0,08	0,05	0,05	3,18	1,48
$1/s \text{ Km}^2$	32,1	30,2	22,8	23,1	11,2	6,2	3,0	1,4	0,7	0,4	0,4	28,4	13,2
1962-66													
m^3/s	3,14	2,87	2,88	1,72	0,83	0,46	0,22	0,08	0,08	0,05	2,81	3,51	1,54
$1/s \text{ Km}^2$	28,0	25,6	25,7	15,4	7,4	3,8	2,0	0,7	0,7	0,4	25,1	31,3	13,7
1967-71													
m^3/s	2,42	3,66	3,01	1,55	0,75	0,39	0,21	0,08	0,05	0,05	0,05	0,75	1,06
$1/s \text{ Km}^2$	21,6	32,7	26,9	13,8	6,7	3,5	1,9	0,7	0,5	0,5	0,4	6,7	9,5
1972-76													
m^3/s	1,49	2,61	1,80	1,59	0,82	0,40	0,18	0,12	0,05	0,05	0,09	0,41	0,80
$1/s \text{ Km}^2$	13,3	23,3	16,1	14,2	7,3	3,6	1,6	1,1	0,5	0,5	0,8	3,7	7,0

mina un forte esaurimento della riserva idrica del suolo, da cui deriva un ritardo nella formazione dell'eccedenza. Ciò è evidente nel primo e nell'ultimo quinquennio, in cui, a precipitazioni basse del semestre estivo (rispettivamente 292 e 311 mm, contro 354,386 e 373 mm degli altri quinquenni) corrispondono i più bassi deflussi del periodo considerato. Non solo, ma si verifica anche che, da settembre a novembre, il deflusso è inesistente o appena accennato (Tabella 3). Si può osservare, comunque, nel complesso, un incremento delle portate fino al 1966, seguito da un sensibile decremento.

ALCUNE CONSIDERAZIONI

In questa breve nota, come s'è visto, si è calcolato il bilancio idrico del bacino del Fiume Morto ed il deflusso del corso d'Acqua. Ne è emerso che la velocità delle acque del fiume è molto bassa e ciò è imputabile principalmente alla scarsa pendenza dell'alveo. Per questo motivo l'onda di marea giunge ben addentro nell'alveo e, in alcuni casi, come nei mesi a basso deflusso (estate-autunno), risulta che le acque del fiume, durante l'alta marea, siano praticamente stagnanti in alcune ore del giorno o, addirittura, si verifica un riflusso verso monte. Si forma perciò, per un lungo tratto, sul fondo, un cuneo salino che raggiunge valori di salinità del 24‰. Ciò da solo rappresenta un elemento inquinante non trascurabile, ma bisogna considerare anche quello prodotto dagli scarichi cittadini ed industriali. Ad esempio, per quanto riguarda l'ossigeno nelle acque superficiali, in prossimità dei ponti della Sterpaia e dei Pini, i valori misurati corrispondono a percentuali di ossigeno in saturazione rispettivamente del 53,9 e del 50,0%, senza contare la presenza di sostanze organiche bioossidabili e di detergenti anionici MBAS, la cui concentrazione, nei campionamenti effettuati nel periodo 1981-82, superava gli 8 mg/l al ponte della ferrovia Pisa-Genova (Bussotti e Al., 1983). Pure alte sono le quantità di ammoniaca, nitriti, nitrati e fosfati.

Viene spontaneo chiedersi dunque se il deflusso del Fiume Morto Nuovo riesca a convogliare a mare i liquidi inquinanti che si raccolgono nel suo alveo o se invece questi sono destinati ad accumularsi ulteriormente, rendendo morte le acque del fiume.

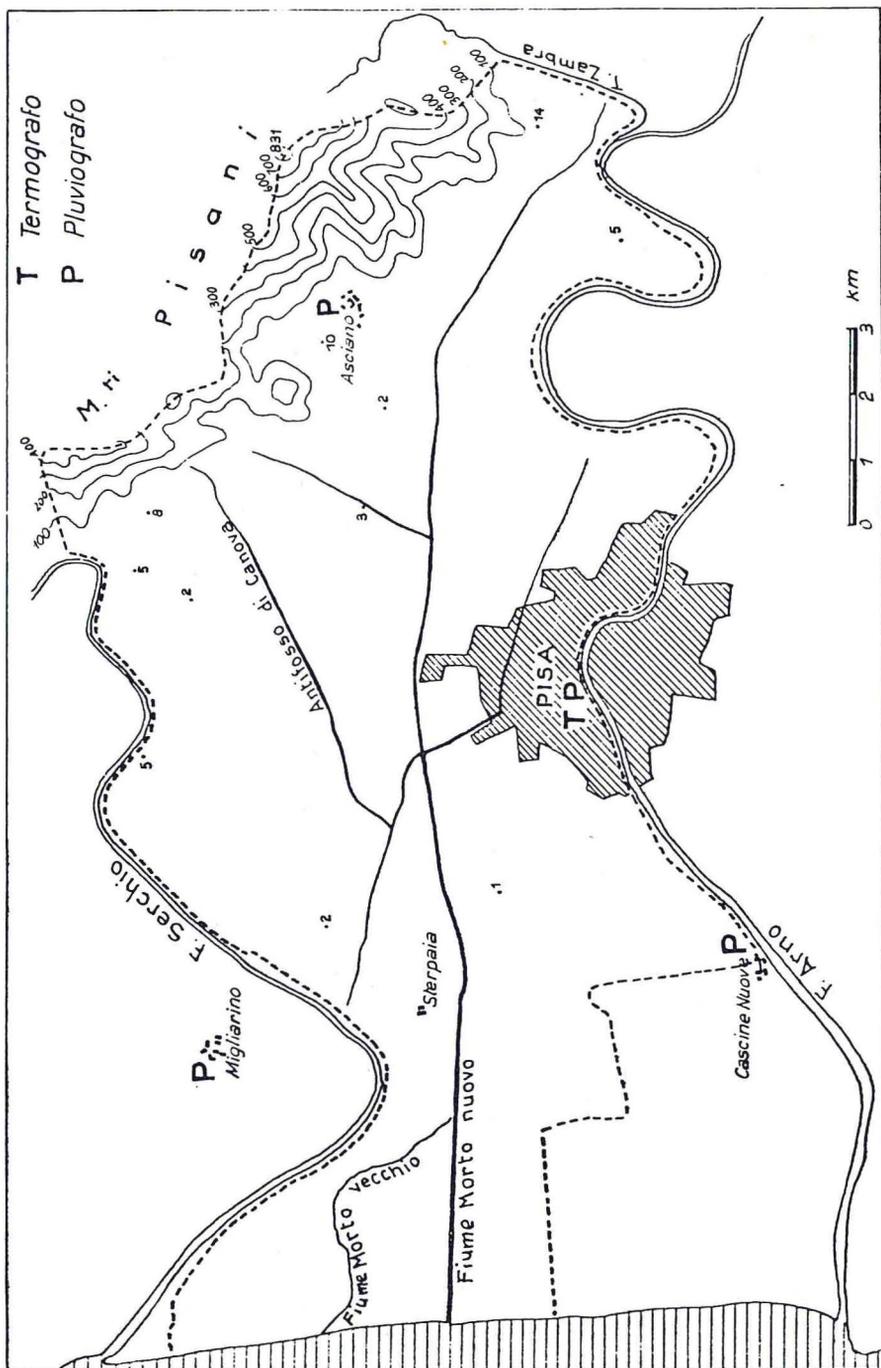
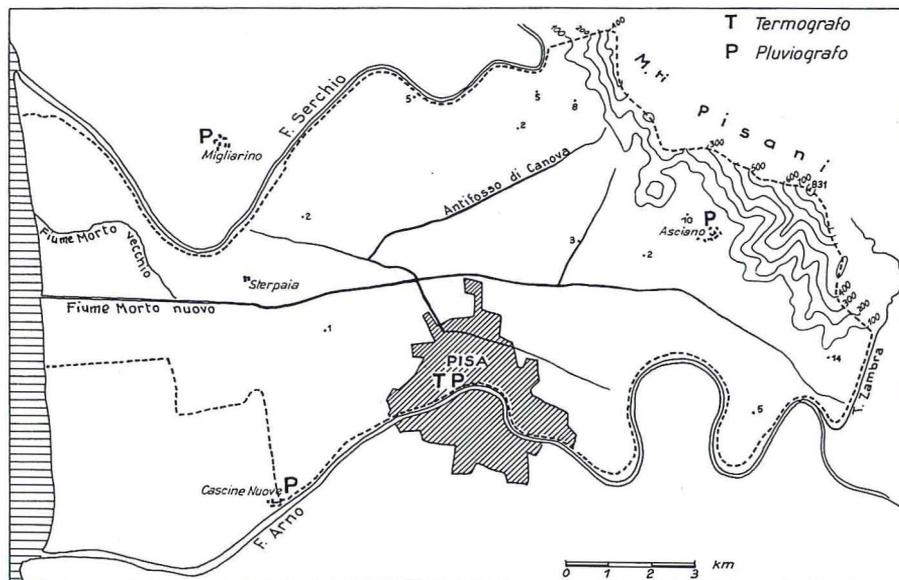


Fig. 1 - Il bacino del Fiume Morto: la linea tratteggiata ne indica i limiti, i numeri indicano le quote in metri.



I risultati del bilancio idrico non sono confortanti al riguardo, poiché denunciano portate molto basse per tutto il corso dell'anno. Anche d'inverno e a primavera infatti il deflusso è scarso e la corrente si muove con velocità bassissima: nel mese più favorevole, febbraio, in cui, attraverso la sezione al ponte della Sterpaia, passano in media $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$, la velocità stimata è appena $0,09 \text{ m/s}$. Questo dato è confortato da una misura di portata eseguita alla Sterpaia il 5 maggio 1876, da cui risulta che la velocità media nella sezione è stata di $0,05 \text{ m/s}$, oltretutto in condizioni favorevoli poiché la marea era in fase calante.

LAVORI CITATI

- BUSSOTTI F. et al. (1983) - Degradato della vegetazione costiera nella tenuta di S. Rosore. *La Provincia Pisana*, **9**, 46-52.
- CACIAGLI G. (1969) - Rettifiche e varianti del basso corso dell'Arno in epoca storica. *L'Universo*, **61**, 133-162.
- FIASCHI R. (1936) - Fiume Morto (un problema secolare risolto). Nistri e Lischi, Pisa.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI - Annali Idrologici. Parte prima.

THORNTHWAITE C.W. (1948) - An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, **38**, 55-94.

THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R. (1957) - Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Publ. in Climat.*, **10**, 183-311.

VITTORINI S. (1972) - Il bilancio idrico secondo Thornthwaite in alcuni bacini della Toscana. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, ser. A, **79**, 138-149.

(ms. pres. il 31 ottobre 1983; ult. bozze il 31 dicembre 1983)