

FRANCO RAPETTI & SEBASTIANO VITTORINI (*)

CONFRONTO FRA I DEFLUSSI MISURATI E QUELLI CALCOLATI CON IL METODO DI THORNTHWAITE IN DUE PICCOLI BACINI DELLA VALLE DEL GESSO (ALPI MARITTIME)

Abstract: RAPETTI F. & VITTORINI S., *Measured water runoff and calculated water runoff with Thornthwaite's method in two little watersheds of the Gesso valley, Maritime Alps.* (IT ISSN 0391-9838, 1993).

The principal elements of the environment and of the climate of the Gesso della Valletta and of the Gesso di Entracque watersheds have been analysed. They were subtended by two hydrographic stations.

Monthly and yearly water balance was calculated by using Thornthwaite's method. To this end it has been necessary to compute the thermometrical and the pluviometrical gradients, from which the temperatures at high altitude and weighed rainfall of both basins were valued.

Measured and calculated yearly water runoff were compared: a negative difference of 1,1% for the Gesso della Valletta and a positive one of 8,7% for the Gesso di Entracque were found.

KEY WORDS: Climatology, Water balance, Calculated water runoff, Maritime Alps.

Riassunto: RAPETTI F. & VITTORINI S., *Confronto fra i deflussi misurati e quelli calcolati con il metodo di Thornthwaite in due piccoli bacini della Valle di Gesso, Alpi Marittime.* (IT ISSN 0391-9838, 1993).

Dopo aver brevemente delineato le caratteristiche litologiche e climatiche dei bacini del Gesso della Valletta e del Gesso di Entracque, sottesi da due stazioni idrometrografiche, è stato calcolato il bilancio idrico del suolo, secondo il metodo di Thornthwaite. Poiché oltre i 2 000 m non vi sono stazioni meteorologiche, è stato necessario calcolare il gradiente termico e quello pluviometrico, che hanno consentito di ricavare le temperature per le quote più elevate e le precipitazioni ponderate nei due bacini. Sono stati confrontati quindi i deflussi annui misurati con quelli calcolati, riscontrando uno scarto negativo dell'1,1% per il Gesso della Valletta ed uno positivo dell'8,7% per il Gesso di Entracque.

TERMINI CHIAVE: Climatologia, Bilancio idrico climatico, Deflusso calcolato, Alpi Marittime.

PREMESSA

Il problema della determinazione dei deflussi e dei bilanci idrologici dei bacini imbriferi è, in molte regioni italiane, di difficile soluzione, se si tien conto della scarsità

delle stazioni idrometrografiche oggi funzionanti. Ciò rappresenta una grave lacuna, sia per la conoscenza delle caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua e dei bacini idrografici, sia per tutte le applicazioni connesse con lo sfruttamento delle acque di scorrimento superficiale.

Laddove i corsi d'acqua non sono provvisti di stazioni di misura le uniche possibilità di stimare i parametri idrologici dei bacini imbriferi sono legate alla utilizzazione di metodi indiretti, che si fondano sulla conoscenza dei caratteri morfometrici, pedologici e climatici del territorio da studiare. Uno di questi sistemi, sia pure basato prevalentemente su elementi climatici, è quello di THORNTHWAITE (1948). Tale sistema si fonda sul concetto di evapotraspirazione potenziale (ETP), definita come la quantità d'acqua che evaporerebbe o verrebbe traspirata in un dato luogo, in condizioni di costante umidità del terreno. L'equazione per ricavare questa grandezza è la seguente:

$$e = 1,6 (10 t / D)^a$$

dove e rappresenta l'ETP mensile non corretta, t la temperatura media mensile, D l'indice calorico annuo e a un coefficiente numerico ricavabile da una relazione complessa. Per ottenere i valori corretti dell'ETP, il parametro e dev'essere moltiplicato per un coefficiente che dipende dal numero dei giorni di ciascun mese e dalla durata del giorno medio mensile relativo alla latitudine della stazione considerata. Il bilancio idrico climatico si ottiene operando la differenza tra le precipitazioni mensili e l'ETP, dalla quale differenza, con una procedura di calcolo e con l'ausilio di apposite tabelle (THORNTHWAITE & MATHER, 1957), si ottengono: l'evapotraspirazione reale, il deficit idrico, l'ecedenza idrica, il deflusso liquido e quello dovuto allo scioglimento delle nevi.

Questo metodo venne utilizzato, sin dall'inizio della sua formulazione, ad esempio, per la determinazione del bilancio idrologico del bacino del lago di Maracaibo (CARTER, 1955) e, a scala geografica ancora maggiore, per la valutazione del bilancio idrologico dell'intero bacino del Mediterraneo (CARTER, 1956). Altri ricercatori hanno adottato questo metodo, sia pure con alcune modifiche, in ambiti territoriali più ristretti e in regioni climatiche diverse. Da parte nostra, in precedenti ricerche, per verificare la possibilità di utilizzazione del sistema in Italia, si è stabi-

(*) Centro di Studi per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino. C.N.R., Pisa.

Lavoro eseguito nell'ambito della convenzione Comitato Glaciologico Italiano - ENEL CRIS (Resp. P.R. Federici).

lito un confronto fra i bilanci idrologici misurati e quelli calcolati in numerosi bacini della Toscana, fra cui l'Arno e l'Ombrone grossetano (VITTORINI, 1972; RAPETTI, 1978; VITTORINI, 1984). In queste ultime ricerche è emerso che la rispondenza tra i valori misurati e quelli calcolati è soddisfacente, anche se i risultati dipendono in parte dalla natura litologica del substrato degli impluvi. Infatti nelle formazioni argillose i valori del deflusso calcolato risultano

superiori a quelli del deflusso misurato, mentre il contrario si verifica nei bacini a prevalente copertura di formazioni permeabili per fessurazione. Tuttavia, fino ad ora, le nostre indagini hanno interessato ambienti di pianura, di collina e di bassa montagna, dove le precipitazioni avvengono quasi esclusivamente in forma liquida. In ambienti di media e di alta montagna invece il bilancio idrico climatico di Thornthwaite è reso più complesso dalle preci-

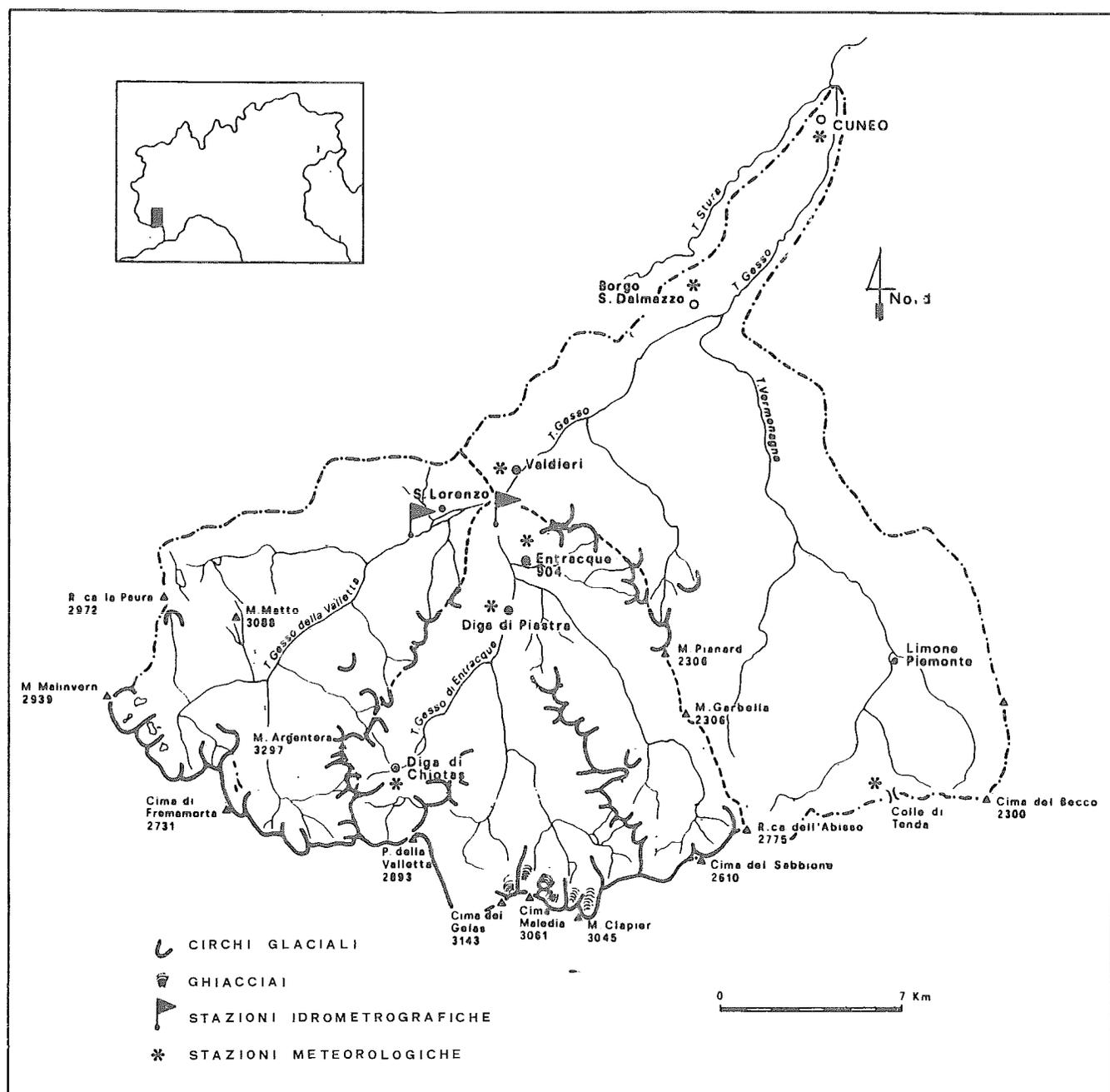


FIG. 1 - Il bacino del Gesso con l'ubicazione delle stazioni termopluviometriche ed idrometrografiche.

FIG. 1 - The Gesso basin and the location of thermopluviometric and hydrometrographic stations.

TABELLA 1 - Superfici per fasce altimetriche dei bacini del Gesso della Valletta e del Gesso di Entracque.
TABLE 1 - Altimetrical belts surfaces in the Gesso of the Valletta and in the Gesso of Entracque basins.

m	600-900	901-1200	1201-1500	1501-1800	1801-2100	2101-2400	2401-2700	2701-3000	3001-3297	Totale
GESSO DELLA VALLETTA										
km ²	1,99	8,36	14,17	22,27	24,56	29,03	23,29	5,93	0,67	130,26
%	1,52	6,42	10,88	17,09	18,85	22,28	17,88	4,56	0,51	99,99
GESSO DI ENTRACQUE										
km ²	3,42	16,30	22,83	28,60	29,04	32,28	22,62	5,37	0,52	160,98
%	2,12	10,13	14,18	17,76	18,03	20,05	14,05	3,34	0,32	99,98

pitazioni nevose che formano accumuli di neve al suolo e dai conseguenti processi di ablazione.

In questa ricerca ci si propone di verificare la validità del metodo appunto in questo ambito: allo scopo abbiamo scelto due sottobacini della valle del Gesso, nelle Alpi Marittime (fig. 1), dove l'ENEL, in tempi recenti, ha costruito alcuni laghi artificiali per la produzione di energia elettrica. La possibilità di eseguire la comparazione tra i deflussi calcolati e quelli misurati è stata consentita dalla presenza di due stazioni idrometrografiche, una sul Gesso della Valletta e l'altra sul Gesso di Entracque, che hanno funzionato prima della costruzione delle dighe, dal 1952 al 1964.

CARATTERISTICHE GENERALI DEI BACINI

I due bacini occupano l'alta valle del T. Gesso, tributario della Stura di Demonte, affluente del Tanaro. Il substrato è costituito, quasi per intero, dalle rocce del massiccio cristallino dell'Argentera che, come altri massicci esterni, rappresenta un'emergenza del basamento antico delle Alpi. Si tratta di rocce metamorfiche di alto grado, sfumanti in un nucleo di granito di anatessi che, da un punto di vista idrologico, possono ritenersi impermeabili. Nel lato orientale del bacino del Gesso di Entracque affiora invece un lembo poco esteso di rocce appartenenti alla copertura mesozoica. Questa è costituita da una piega retroflessa, che ha condizionato l'evoluzione morfologica della zona. In queste formazioni, appartenenti alle Unità delfinesì, sono presenti terreni calcarei e calcareo-dolomitici, il cui comportamento idrogeologico, trattandosi di rocce permeabili, è molto diverso da quello delle formazioni cristalline del resto del bacino (FEDERICI & PAPPALARDO, 1991). Tuttavia la modesta estensione di queste rocce non dovrebbe influire in modo significativo sulla circolazione delle acque superficiali dell'impluvio.

A complemento di queste brevi note geografiche e litologiche è opportuno svolgere qualche considerazione, sia pure a grandi linee, circa alcuni aspetti della morfometria dell'area studiata. Il carattere di media ed alta montagna dei sottobacini è messo in evidenza dalla distribuzione delle superfici per fasce altimetriche. Infatti appena l'1,9% di essi cade sotto i 900 m, il 21,2% è compreso tra i 900 e i 1 500 m, mentre ben il 59,6% ricade nella fascia altimetrica tra i 1 500 e i 2 400 m. Come si può notare dalla

tabella 1 i due sottobacini, da questo punto di vista, sono poco dissimili; tuttavia il bacino del Gesso della Valletta, con un'altitudine media di 2 080 m, ha un carattere un po' più montano di quello di Entracque la cui altitudine media è di 1 875 metri sul mare.

LE CONDIZIONI CLIMATICHE

Per lo studio del clima del bacino del Gesso si sono utilizzati i dati termopluviometrici ricavati dagli Annali Idrologici, dall'Annuario di Statistiche Meteorologiche, dalle pubblicazioni della Regione Piemonte e infine ci si è avvalsi dei dati climatici rilevati direttamente dall'ENEL presso le dighe di Piastra e di Chiotas (tab. 2). Purtroppo la distribuzione delle stazioni meteorologiche è poco omogenea: le carenze più gravi si riscontrano alle quote più elevate, se si considera che la stazione di maggiore altitudine

TABELLA 2 - Caratteristiche delle stazioni meteorologiche e idrometrografiche nel bacino del Gesso.

TABLE 2 - Characteristics of meteorological and hydrometrographic stations in the Gesso basin.

	Quota m	Tipo di misura	Periodo di funzionamento
Cuneo	536	Temperatura Precipitazioni	1926-1983 1921-1983
Borgo S. Dalmazzo	641	Temperatura Precipitazioni	1962-1983 1921-1983
Valdieri	762	Precipitazioni	1958-1983
S. Lorenzo	880	Idrometria	1952-1964
Entracque	900 820	Precipitazioni Idrometria	1921-1970 1952-1964
Diga di Piastra	959	Temperatura Precipitazioni Manto nevoso	1966-1990 1970-1990 1970-1990
Colle di Tenda	1321	Precipitazioni	1921-1970
Diga di Chiotas	1980	Temperatura Precipitazioni Manto nevoso	1980-1990 1980-1990 1980-1990

è quella sita presso la diga di Chiotas a 1 980 m (RAPETTI & VITTORINI, 1991).

Le tabelle 3 e 4 mostrano le temperature e le precipitazioni mensili ed annue delle stazioni presenti nel bacino del Gesso. Le temperature medie dell'aria sono positive in tutti i mesi, eccetto che a Chiotas, dove sono negative da Dicembre a Marzo. Le precipitazioni, in relazione all'altitudine, sono piuttosto modeste e ciò può essere mes-

so in relazione alla posizione geografica della Valle del Gesso, che si trova sottovento rispetto alle perturbazioni provenienti dal terzo e dal quarto quadrante. Il loro regime presenta due massimi: quello principale cade, in alcune stazioni, in Autunno (Ottobre o Novembre) e quello secondario nella tarda Primavera (Maggio); in altre invece il massimo principale si verifica in Primavera. Il minimo delle precipitazioni, piuttosto accentuato, si registra ovunque in

TABELLA 3 - Temperature medie mensili ed annue (°C).
TABLE 3 - Average monthly and yearly temperatures (°C).

Stazioni	Quota m	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Cuneo (1926-1983)	536	1.2	2.6	6.4	10.3	14.1	18.6	21.2	20.4	17.1	11.5	6.1	2.5	11.0
Borgo S. Dalmazzo (1962-1983)	641	1.1	2.4	5.8	9.3	13.8	17.6	20.5	19.3	15.6	11.3	5.8	2.2	10.4
Diga di Piastra (1966-1990)	959	1.2	2.2	4.9	7.9	12.0	15.9	19.5	18.9	15.8	11.0	5.4	2.4	9.8
Diga di Chiotas (1980-1990)	1980	-2.9	-3.0	-1.3	1.2	4.3	8.6	12.2	11.5	9.0	5.0	0.5	-1.1	3.7

TABELLA 4 - Precipitazioni medie mensile ed annue (mm).
TABLE 4 - Average monthly and yearly precipitations (mm).

Stazioni	Quota m	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Cuneo (1921-1983)	536	55	60	94	108	126	87	48	66	80	110	107	74	1015
Borgo S. Dalmazzo (1921-1983)	641	61	68	101	122	143	90	54	72	88	120	112	82	1113
Valdieri (1958-1983)	762	63	86	146	146	149	113	59	115	109	165	136	112	1399
Entracque (1921-1970)	900	77	78	116	132	158	86	53	75	107	154	155	113	1304
Diga di Piastra (1970-1990)	959	94	88	106	154	136	78	59	86	86	149	87	76	1199
Colle di Tenda (1921-1970)	1321	80	95	122	128	156	100	62	69	115	170	176	116	1389
Diga di Chiotas (1980-1990)	1980	43	35	55	140	143	88	59	89	93	124	71	62	1002

Luglio (fig. 2). Si tratta di un regime pluviometrico di transizione tra quello sublitoraneo e quello subalpino, data la latitudine non molto elevata del bacino del Gesso (circa 44° N), la distanza dal mare (circa 40 km) e la sua posizione geografica nel sistema alpino. Anche l'intensità delle precipitazioni presenta, in tutte le stazioni, due massimi, di cui quello principale si verifica in Autunno e quello secondario in Primavera, mentre il minimo si verifica in Esta-

te (fig. 3). Il suo valore invece varia notevolmente da una località all'altra, poiché, ad esempio, a Cuneo il massimo si raggiunge ad Ottobre con 14,2 mm per giorno piovoso, mentre al Colle di Tenda il valore più elevato si verifica a Novembre con 24,8 mm/g.p.

Per la determinazione del bilancio idrico climatico secondo Thornthwaite è necessario però che l'intera area in studio sia coperta da dati termopluviometrici, che sono alla

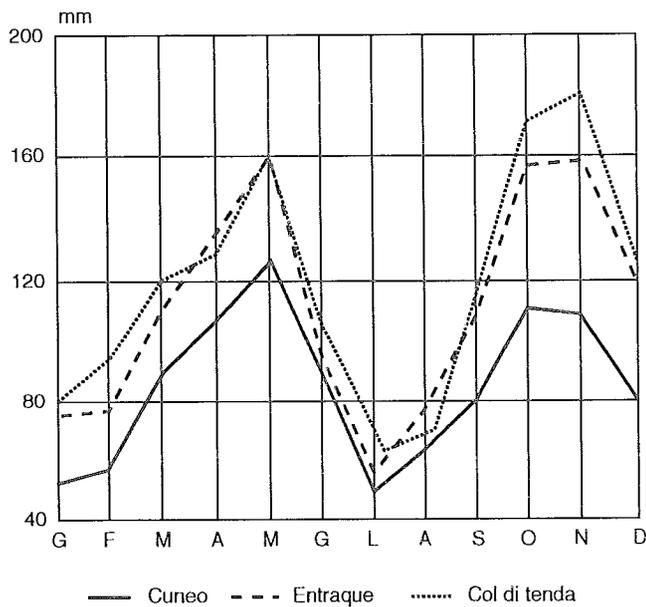


FIG. 2 - Il regime delle precipitazioni in alcune stazioni della valle del Gesso.

FIG. 2 - Rainfall regimen in some stations of the Gesso valley.

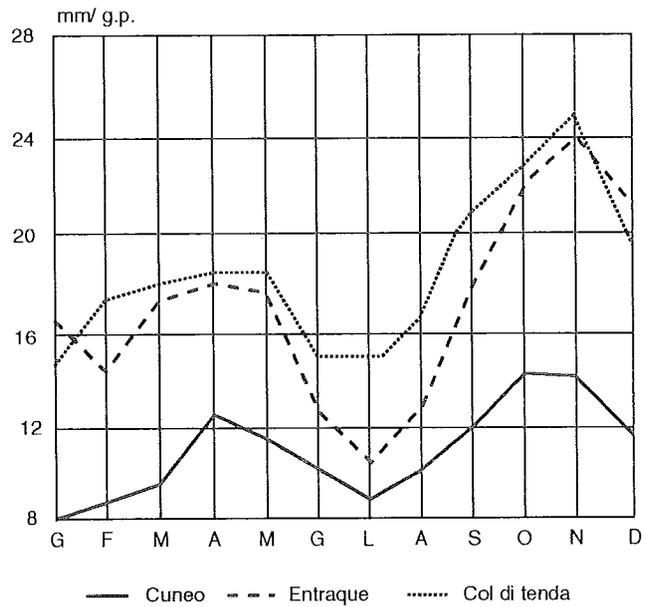


FIG. 3 - L'intensità delle precipitazioni in alcune stazioni della valle del Gesso.

FIG. 3 - Rainfall intensity in some stations of the Gesso valley.

TABELLA 5 - Equazioni delle rette di regressione della correlazione ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) tra l'altitudine e la temperatura media mensile ed annua (1980-1983).
TABLE 5 - Equations of the regression lines concerning the correlation between altitude and average monthly and yearly temperatures (1980-1983).

G	$T = 3.02 - 0.0023 h (r = - 0.89)$	L	$T = 24.15 - 0.0055 h (r = - 0.97)$
F	$T = 4.63 - 0.0039 h (r = - 0.99)$	A	$T = 23.15 - 0.0055 h (r = - 0.96)$
M	$T = 9.12 - 0.0047 h (r = - 0.99)$	S	$T = 19.79 - 0.0049 h (r = - 0.95)$
A	$T = 12.33 - 0.0049 h (r = - 0.99)$	O	$T = 14.05 - 0.0044 h (r = - 0.97)$
M	$T = 17.23 - 0.0063 h (r = - 0.98)$	N	$T = 8.00 - 0.0031 h (r = - 0.98)$
G	$T = 21.38 - 0.0058 h (r = - 0.98)$	D	$T = 4.01 - 0.0025 h (r = - 0.99)$
Anno		$T = 13.40 - 0.0045 h (r = - 0.98)$	

TABELLA 6 - Equazioni delle rette di regressione della correlazione (mm/m) tra l'altitudine e le precipitazioni medie mensili ed annue (1921-1970).
Table 6 - Equations of the regression lines concerning the correlation between altitude and average monthly and yearly precipitations (1921-1970).

G	$P = 13.30 + 0.0537 h (r = 0.99)$	L	$P = 55.97 + 0.006 h (r = 0.40)$
F	$P = 7.95 + 0.0594 h (r = 0.97)$	A	$P = 45.10 + 0.0139 h (r = 0.99)$
M	$P = 35.70 + 0.0776 h (r = 0.94)$	S	$P = 62.45 + 0.0354 h (r = 0.99)$
A	$P = 114.42 + 0.0281 h (r = 1.00)$	O	$P = 67.17 + 0.0892 h (r = 1.00)$
M	$P = 81.43 + 0.0223 h (r = 0.97)$	N	$P = 84.67 + 0.0874 h (r = 0.98)$
G	$P = 87.28 + 0.0152 h (r = 0.58)$	D	$P = 45.32 + 0.0656 h (r = 0.94)$
Anno		$P = 700.81 + 0.5536 h (r = 0.97)$	

base del suo calcolo, mentre, come si è già rilevato, vi è una carenza di stazioni meteorologiche alle quote più elevate. Si è reso necessario perciò colmare tale lacuna calcolando i gradienti termici e quelli pluviometrici (tab. 5 e 6).

Le stazioni prese in considerazione per la determinazione del gradiente termico sono quelle di Cuneo, di Borgo S. Dalmazzo, delle dighe di Piastra e di Chiotas. Il periodo di osservazioni termometriche comune alle quattro stazioni risulta però di soli quattro anni, dal 1980 al 1983. Nonostante la brevità del periodo, si è preferito, per ovvii

motivi di omogeneità dei dati, calcolare il gradiente su questo breve intervallo, piuttosto che su periodi più lunghi, ma non contemporanei. Esso è molto variabile nei mesi, con valori compresi tra $0,23^\circ$ a Gennaio e $0,63^\circ/100$ m a Maggio, secondo il regime caratteristico delle nostre regioni. Il gradiente termico annuo è di $0,45^\circ/100$ m, che può essere considerato piuttosto basso se confrontato, ad esempio, con quello dell'Appennino settentrionale, che è di $0,58^\circ/100$ m. La legge di variazione della temperatura con l'altitudine è di tipo lineare, com'è ben messo in evi-

TABELLA 7 - Quantità media di neve caduta all'anno (in centimetri) alla diga di Piastra (1970-1990) e alla diga di Chiotas (1980-1990).
TABLE 7 - Average yearly snowfall (cm) at the Piastra (1970-1990) and Chiotas (1980-1990) dikes.

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
PIASTRA	87.7	66.6	54.5	19.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	26.4	56.2	316.2
CHIOTAS	86.2	67.1	110.2	115.5	41.4	7.6	0.0	0.0	1.4	22.2	75.1	69.2	595.9

denza dai valori del coefficiente di correlazione che, nella maggior parte dei mesi, è prossimo all'unità.

Il gradiente pluviometrico presenta anch'esso una notevole variabilità nel corso dell'anno; il valore massimo si verifica ad Ottobre con $8,9$ mm/100 m ed il valore minimo a Luglio con $0,6$ mm/100 m. Il gradiente pluviometrico annuo è di $55,4$ mm/100 m, valore relativamente modesto rispetto a quello dell'Appennino settentrionale che è di $89,3$ mm/100 m (RAPETTI & VITTORINI, 1989). Il coefficiente di correlazione è, nel nostro caso, molto variabile, poiché assume valori da 1,00 ad Aprile e Ottobre ad appena $0,40$ a Luglio; tuttavia il coefficiente annuo, che presenta il valore di $0,97$, è molto significativo.

Nel complesso i gradienti calcolati, proprio per gli alti coefficienti di correlazione lineare, presentano una buona significatività, che consente di determinare con accettabile approssimazione i valori delle temperature e delle precipitazioni in luoghi privi di strumentazioni.

Notevole interesse assumono le precipitazioni nevose che, per l'altitudine della zona studiata, sono piuttosto abbondanti (tab. 7). Le stazioni nivometriche più elevate sono quelle delle dighe di Piastra e di Chiotas. Nella prima si verificano precipitazioni nevose da Ottobre a Maggio, con il massimo a Gennaio; nella seconda non si verificano nevicate soltanto in Luglio ed in Agosto, mentre il massimo nivometrico si verifica ad Aprile.

BILANCIO IDRICO MISURATO E CALCOLATO

Nei bacini del Gesso di Entracque e del Gesso della Valletta, come s'è detto, hanno funzionato, sia pure con qualche breve interruzione, due stazioni idrometrografiche dal 1952 al 1964.

Il Gesso della Valletta ha un bacino di dominio di 110 km² ed è totalmente impostato su rocce impermeabili; la sua chiusura è situata a monte dell'abitato di S. Lorenzo, a circa 880 m s.m. La massima altezza idrometrica registrata ha raggiunto i $3,10$ m, cui ha corrisposto una portata di 225 m³/s (13 giugno 1957) mentre quella minima è stata di $-0,15$ m. Per la portata media giornaliera si è registrato il valore di $4,82$ m³/s, con una punta massima, nel periodo, di 64 m³/s. Il coefficiente di deflusso medio annuo è risultato pari a 1,0.

Il Gesso di Entracque ha un bacino di dominio di 157 km², con un substrato in gran parte impermeabile. Poiché l'estensione delle rocce permeabili è assai limitata si può ritenere ugualmente che lo spartiacque morfologico coincida con quello idrogeologico. La stazione idrometrografica è posta a valle del centro di Entracque, a circa 820 m s.m. Nel periodo di funzionamento l'altezza idrometrica massima ha raggiunto i $3,30$ m, cui è corrisposta la portata di 270 m³/s (13 giugno 1957); l'altezza minima è stata di $-0,15$ m, da cui è derivata la portata di $0,99$ m³/s (31 gennaio 1952). Per la portata media giornaliera si è registrato il valore di 7 m³/s, con una punta massima di 174 m³/s. Il coefficiente di deflusso medio annuo è risultato di $0,96$.

Considerata la sostanziale corrispondenza tra gli spartiacque morfologici e quelli idrogeologici, dai dati sopra esposti appare improbabile che i coefficienti di deflusso che risultano dagli Annali Idrologici siano consoni alle caratteristiche idrogeologiche e climatiche dei due bacini. Ritenendo indiscussa l'affidabilità delle misure dei deflussi, si ritiene allora che le stime degli afflussi ragguagliati possano essere state invece inadeguate. Sembra tanto più improbabile infatti che i valori dei coefficienti di deflusso siano pari a uno o molto vicini a questo valore (tab. 8), se si considera che l'evapotraspirazione potenziale annua del periodo

TABELLA 8 - Confronto tra deflussi misurati, afflussi pubblicati, deflussi calcolati, afflussi calcolati e relativi coefficienti di deflusso del Gesso della Valletta a S. Lorenzo e del Gesso di Entracque a Entracque (1952-1963).

TABLE 8 - Comparison between gauged down flows, published inflows, estimated down flows and inflows and down flow coefficient, in the Gesso of the Valletta basin at S. Lorenzo and in the Gesso of Entracque basin at Entracque (1952-1963).

	Anno	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
VALLETTA													
Deflussi misur.	1382	40	33	53	135	249	254	150	88	95	131	100	54
Afflussi pubbl.	1382	76	64	130	174	119	86	66	63	122	202	182	98
Coeff. di defl.	1,00	0,53	0,51	0,41	0,77	2,09	2,95	2,29	1,39	0,78	0,65	0,55	0,56
Deflussi calc.	1396	45	23	148	222	253	149	75	38	40	128	185	90
Afflussi calc.	1801	120	126	190	170	126	117	68	73	133	244	258	176
Coeff. di defl.	0,77	0,33	0,26	0,28	0,79	2,00	2,17	2,21	1,21	0,71	0,54	0,39	0,31
ENTRACQUE													
Deflussi misur.	1409	39	37	65	150	258	275	141	81	86	122	94	61
Afflussi pubbl.	1469	85	78	124	187	132	100	67	88	106	163	205	134
Coeff. di defl.	0,96	0,46	0,47	0,52	0,80	1,96	2,75	2,10	0,92	0,81	0,75	0,46	0,46
Deflussi calc.	1285	85	43	130	178	181	114	58	30	18	108	171	169
Afflussi calc.	1740	114	119	181	167	123	119	67	71	129	234	248	168
Coeff. di defl.	0,81	0,34	0,31	0,36	0,90	2,09	2,31	2,10	1,14	0,67	0,52	0,38	0,36

ammonta comunque a 407 mm per il bacino del Gesso della Valletta e a 460 mm per l'altro bacino. Incertezze nella valutazione degli afflussi sono del resto sempre possibili, considerata la difficoltà della misura delle precipitazioni in montagna, dove queste sono in parte nevose (GIADA & ZANON, 1985). Inoltre, per la carenza di stazioni nivopluviometriche ad alta quota, è necessario ricorrere ad estrapolazioni che ammettono sempre un margine di soggettività. A questo riguardo si rileva, ad esempio, che nell'Atlante delle Carte Tematiche della Regione Piemonte (1980) le precipitazioni alle quote più elevate del bacino del Gesso non superano i 1 200 m (1921-1970). D'altra parte gli Annali Idrologici portano la stima degli afflussi ragguagliati a circa 1 380 mm per il Gesso della Valletta e a circa 1 400 mm per quello di Entracque. Ritenendo questi dati approssimati per difetto, è stata fatta una nuova stima degli afflussi ragguagliati nei due bacini, limitatamente al periodo di funzionamento delle stazioni idrometrografiche, sulla base dei gradienti pluviometrici già ricordati. Le nostre stime degli afflussi compaiono nella tabella 8, dove sono confrontate con quelle degli Annali Idrologici e risultano superiori di circa il 25%, pur presentando lo stesso regime. Questa diversa valutazione degli afflussi comporta ovviamente una riduzione dei coefficienti di deflusso, che assumono perciò, a nostro parere, un valore più realistico.

Il bilancio idrico climatico

In questa ricerca è stata determinata la media ponderata del bilancio idrico *calcolato per fasce altimetriche*, per lo stesso periodo di funzionamento delle stazioni idrometrografiche, i cui risultati compaiono nella tabella 9 (THORNTHWAITTE & MATHER, 1957). Si è creduto opportuno ricorrere a questo accorgimento, perché il bilancio idrico calcolato varia con l'altitudine, sia per la diminuzione della temperatura, sia per l'aumento delle precipitazioni.

Come si può osservare dalla tabella, l'evapotraspirazione potenziale è nulla quando la temperatura media mensile è negativa, come prevede il metodo di Thornthwaite e, nel nostro caso, ciò si verifica da Dicembre a Marzo. Tuttavia è opportuno far rilevare che non in tutto il territorio, e in particolare nelle parti meno elevate, in questi mesi la temperatura è negativa. Ad esempio, nella fascia altimetrica compresa tra i 900 e i 1 200 m, la temperatura media mensile è sempre positiva e il valore dell'ETP da Dicembre a Marzo è di 41 mm, che rappresentano circa il 9,0% dell'ETP annua. D'altra parte però questa fascia altimetrica ha un'estensione che per il Gesso della Valletta è del 6,4% rispetto all'intera superficie del sottobacino e per il Gesso di Entracque del 10,1%. Si tratta dunque di porzioni limitate di territorio, i cui bilanci non possono influire significativamente su quello complessivo.

L'evapotraspirazione potenziale percentuale del periodo Giugno-Agosto, in rapporto a quella annua (concentrazione estiva dell'efficienza termica), è pari al 60,7% per il Gesso della Valletta e al 57,8% per il Gesso di Entracque, valori questi molto elevati e tipici delle regioni di montagna e di quelle interne.

Il deficit idrico, che rappresenta la quantità di acqua necessaria per raggiungere le condizioni di saturazione del suolo, è presente in Luglio e in Agosto; esso però è di modesta entità e si verifica principalmente a causa della scarsità delle precipitazioni estive.

L'eccedenza idrica ha inizio a Settembre, per poi riprendere a Marzo, per lo scioglimento delle nevi (tab. 9), mentre il valore più elevato si verifica a Novembre, in coincidenza del massimo delle piogge. Da Dicembre a Febbraio-Marzo è di nuovo nulla poiché la temperatura dell'aria, in questi mesi, è negativa.

Il deflusso totale, che è dovuto al contributo delle piogge e dell'acqua di fusione delle nevi, raggiunge nel bacino della Valletta il valore massimo in Maggio e in quello di Entracque in Settembre. I deflussi misurati invece, in entrambi i bacini, presentano il massimo in Giugno ed il minimo in Febbraio.

Nel complesso i risultati ottenuti possono considerarsi molto soddisfacenti, in quanto il deflusso medio annuo cal-

colato per il Gesso della Valletta è risultato inferiore di appena l'1,1% rispetto a quello misurato, mentre per il Gesso di Entracque la differenza è stata dell'8,7%. Il regime del deflusso calcolato, anche se abbastanza simile a quello misurato, denuncia però uno sfasamento di circa un mese, da attribuire probabilmente agli effetti sistematici propri del metodo di Thornthwaite (figg. 4a e 4b). Infatti, secondo questo Autore, solo il 50% dell'eccedenza idrica disponibile per il deflusso in un dato mese defluisce realmente; la parte rimanente dell'eccedenza è trattenuta nel bacino e diventa disponibile per il mese successivo. Tale procedura è molto rigida e non tiene conto dei processi reali del deflusso superficiale, determinando lo sfasamento riscontrato; resta il fatto però che la somma dei valori mensili del deflusso così ottenuto coincide col valore dell'eccedenza annua.

Da quanto esposto si deduce che il metodo di Thornthwaite, applicato con opportuni accorgimenti, come quello di calcolare il bilancio idrico per fasce altimetriche, può essere utilizzato anche in aree montuose. Tuttavia, data la forte variabilità della morfologia e del clima in montagna, bisogna considerare i risultati derivanti dall'applicazione di questo metodo con una certa prudenza, sempre necessaria, del resto, nella valutazione del grado di affidabilità dei procedimenti indiretti utilizzati per il calcolo dei parametri idrologici.

TABELLA 9 - Bilancio idrico, secondo Thornthwaite, dei bacini del Gesso della Valletta e del Gesso di Entracque.

TABLE 9 - Water balance according to Thornthwaite of the Gesso of the Valletta and of the Gesso of Entracque basins.

VALLETTA													
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
°C	-1,8	-3,5	-0,7	2,1	4,1	9,3	12,7	11,7	9,6	4,9	1,5	-1,2	4,1
ETP	0	0	0	23	33	72	95	80	60	29	15	0	407
P	120	126	190	170	126	117	68	73	133	244	258	176	1801
P-ETP	120	126	190	147	93	45	-27	-7	73	215	243	176	1394
AE	0	0	0	23	33	72	94	79	60	29	15	0	405
D	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
S	0	0	190	147	93	45	0	0	41	215	243	0	974
RO	45	23	106	127	110	78	39	20	31	123	182	90	974
SMRO	0	0	42	95	143	71	36	18	9	5	3	0	422
Total RO	45	23	148	222	253	149	75	38	40	128	185	90	1396
ENTRACQUE													
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
°C	-1,3	-2,7	0,3	3,1	5,4	10,5	13,8	12,8	10,6	5,8	2,2	-0,7	5,0
ETP	0	0	12	25	44	77	102	87	62	36	15	0	460
P	114	119	181	167	123	119	67	71	129	234	248	168	1740
P-ETP	114	119	169	142	79	42	-35	-16	67	198	233	168	1280
AE	0	0	12	25	44	77	100	84	62	36	15	0	455
D	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	5
S	0	0	169	142	79	42	0	0	21	198	233	168	1052
RO	85	43	107	125	102	74	38	20	13	106	170	169	1052
SMRO	0	0	23	53	79	40	20	10	5	2	1	0	233
Total RO	85	43	130	178	181	114	58	30	18	108	171	169	1285

Tutti i dati, eccetto quelli della prima riga, sono in millimetri. ETP = Evapotraspirazione potenziale; P = Precipitazioni; P-ETP = Precipitazioni meno ETP; AE = Evapotraspirazione reale; D = deficit idrico; S = Eccedenza idrica; RO = Deflusso da sole piogge; SMRO = Deflusso da neve; Total RO = Deflusso totale.

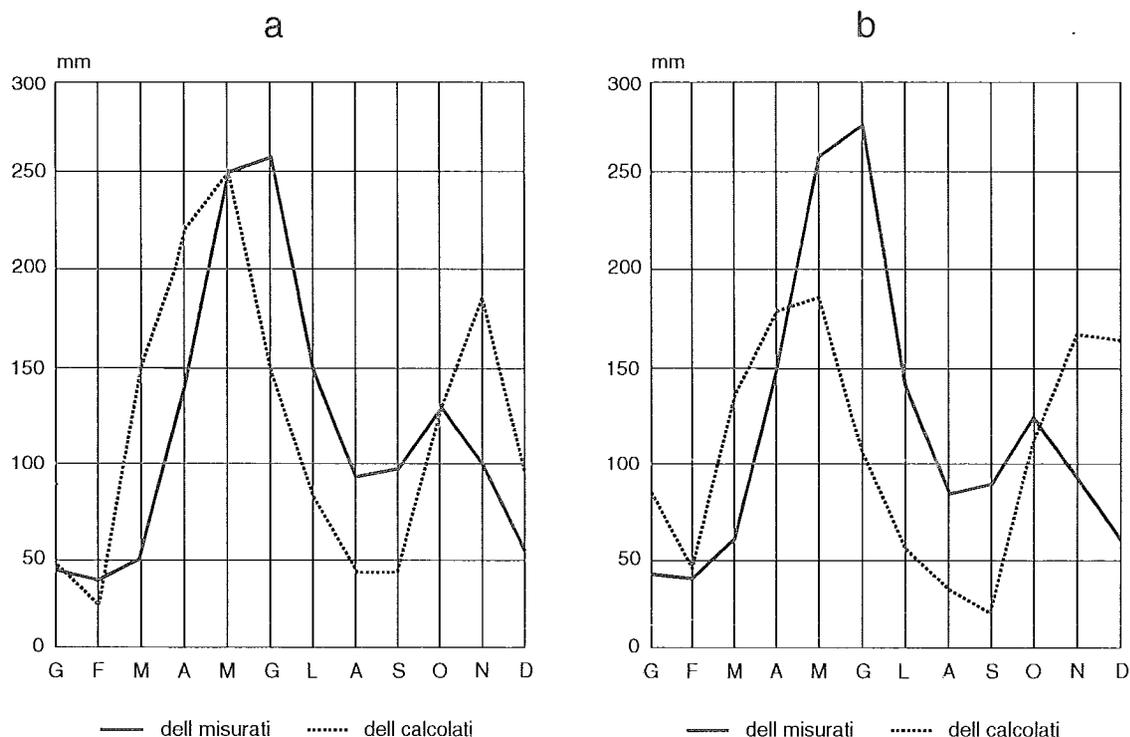


FIG. 4 - Confronto fra i deflussi misurati e quelli calcolati nel bacino del Gesso della Valletta (a) e in quello del Gesso di Entracque (b) (1952-1963).
 FIG. 4 - Comparison between gauged and estimated down flows in the Gesso of the Valletta (a) and in the Gesso of Entracque (b) basins (1952-1963).

BIBLIOGRAFIA

- CARTER D.B. (1955) - *The water balance of the Lake Maracaibo basin during 1946-53*, Public. Climatology, 8,3.
 CARTER D.B. (1956) - *The water balance of the Mediterranean and Black seas*, Public. Climatology, 9, 3, 125-174.
 FEDERICI P.R. & PAPPALARDO M. (1991) - *Nota introduttiva alla morfologia glaciale della Val Gesso di Entracque (Gruppo dell'Argentera, Alpi Marittime)*, Gruppo Nazionale Geogr. Fis. e Geomorfolog., Guida all'escursione primaverile, Cuneo, 28-31 Maggio 1991, 13-16.
 I.S.T.A.T. - *Annuario di Statistiche Meteorologiche*, Poligrafico dello Stato, Roma.
 MIN. LL. PP., UFFICIO IDROGRAFICO DEL PO - *Annali Idrologici*, Parte I e II, Poligrafico dello Stato, Roma.
 RAPETTI F. (1978) - *Idrologia dell'alto e medio bacino del T. Roglio (Val d'Era)*, Geol. Appl. Idrogeol., 13, 185-222.
 RAPETTI F. & VITTORINI S. (1989) - *Differenze pluviometriche tra i ver-*

- santi tirrenico ed adriatico lungo l'allineamento Livorno-Monte Cimone-Modena*, Geogr. Fis. Dinam. Quat., 11, 105-115.
 RAPETTI F. & VITTORINI S. (1991) - *Aspetti del clima del bacino del Gesso (Alpi Marittime), in relazione alla presenza di alcuni piccoli ghiacciai*, Atti VI Conv. Glaciol. It., Gressoney - St. Jean (Aosta), 26-28 Sett. 1991, Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15 (1992), 149-158.
 REGIONE PIEMONTE (1980) - *Progetto per la pianificazione delle Risorse Idriche del Territorio Piemontese*, Voll. I e II, e Atlante Tematico.
 THORNTHWAITE C.W. (1948) - *An approach toward a rational classification of climate*, Geogr. Review, 38, 55-94.
 THORNTHWAITE C.W. & MATHER J.R. (1957) - *Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and water balance*, Public. Climatology, 10, 185-311.
 VITTORINI S. (1972) - *Il bilancio idrico secondo Thornthwaite in alcuni bacini della Toscana*, Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., Ser. A, 79, 138-149.
 VITTORINI S. (1984) - *Il bilancio idrico del bacino del Fiume Morto (Pisa)*, Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., Ser. A, 90, 253-262.