

F. RAPETTI (\*), S. VITTORINI (\*)

## ASPETTI DEL CLIMA NEI VERSANTI TIRRENICO ED ADRIATICO LUNGO L'ALLINEAMENTO LIVORNO-MONTE CIMONE-MODENA

**Riassunto** — Sono stati studiati la temperatura, le precipitazioni e il clima secondo Thornthwaite per il periodo 1961-1980, lungo la sezione Livorno-Monte Cimone-Modena, che attraversa l'Appennino toscano-emiliano.

Mediante l'applicazione del metodo della correlazione lineare si sono calcolati i gradienti altimetrici mensili ed annui della temperatura. Dall'indagine svolta risulta che nel versante tirrenico i gradienti altimetrici mensili si discostano di poco l'uno dall'altro, al contrario di quanto avviene in quello adriatico. I gradienti di gennaio, di luglio e dell'anno sono infatti, nel primo caso, rispettivamente di  $0,54^\circ$ , di  $0,57^\circ$  e di  $0,58^\circ/100$  m e, nel secondo, di  $0,32^\circ$ ,  $0,66^\circ$  e di  $0,54^\circ/100$  m. Sono stati tracciati i livelli delle isoterme medie annue e di quelle dei mesi estremi. Si è calcolato inoltre il numero dei giorni con temperatura media superiore a determinati valori caratteristici.

Sono state poi considerate la quantità, le intensità mensili ed annue e il regime delle precipitazioni. È emersa una marcata differenza di comportamento tra i due versanti; in particolare il lato tirrenico risulta molto più piovoso di quello adriatico. Dal calcolo del gradiente altimetrico mensile ed annuo delle precipitazioni risulta che esso non è uniforme lungo i versanti, ma che si possono individuare due tratti, quello pedemontano e quello montano, in ciascuno dei quali l'incremento delle piogge è pressoché lineare. Anche per questo aspetto si sono osservate notevoli differenze tra i due lati dell'Appennino.

Infine, sulla base dell'evapotraspirazione potenziale (ETP) e del bilancio idrico, calcolati con il metodo di Thornthwaite, è stato trattato il clima lungo la sezione predetta. Le varietà climatiche presenti sono numerose e abbracciano tutta la gamma che va dal tipo *subarido* ( $C_1$ ) al tipo *perumido* (A). Dal confronto è emersa una marcata differenza tra i due versanti; in particolare il lato adriatico risulta più arido e più continentale di quello tirrenico. L'analisi delle variazioni dell'ETP e dell'umidità globale (Im) con l'altezza ha consentito di stabilire che esiste una buona correlazione lineare tra ETP, Im e altitudine.

**Abstract** — *Differences in climate between the Tyrrhenian and the Adriatic sides of the Apennine Chain, along Leghorn-Cimone Mountain-Modena traverse.* Temperature, precipitations and climate evaluated according to Thornthwaite's method in the period 1961-1980, along a line crossing the Tuscan-Aemilian section of Northern Apennines.

---

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

nines, were studied. With the linear regression method monthly and yearly temperature gradients were calculated. From the investigation it results that, on the Tyrrhenian side, the monthly altitudinal gradients don't show high fluctuations; the opposite is observed on the Adriatic side. The means of January, July and of the whole year are in fact  $0,54^\circ$ ,  $0,57^\circ$  and  $0,58^\circ/100$  m on the Tyrrhenian side, while the corresponding values on the Adriatic side are  $0,32^\circ$ ,  $0,66^\circ$  and  $0,54^\circ/100$  m, respectively. The average isotherm levels have been plotted and the number of days with average temperature greater than  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$  and  $20^\circ$  calculated.

Amount, intensity and rate of precipitations have been considered. A marked difference between the two sides has been pointed out: the Tyrrhenian side results definitely more rainy than the Adriatic one. The altimetric gradient has also been calculated. It results non-uniform along the whole slope, for which it is possible to distinguish two sections, each of them showing a linear increase of rainfall: the foothill section and the mountain section. Even in this respect, marked differences between the two sides of the Apennines have been observed.

Finally, on the basis of potential evapotranspiration (ETP) and water balance, calculated by the Thornthwaite's method, the climate has been treated. There are many types of climate; they cover the whole range from subarid ( $C_1$ ) to perhumid (A). Again a marked difference between the two sides has been pointed out: the Tyrrhenian side results definitely more humid than the Adriatic one. Close correlations between ETP, moisture index ( $I_m$ ) and altitude have been observed.

**Key words** — Temperature altimetric gradients - Rainfall altimetric gradients - Potential evapotranspiration, water balance, types of climate - Tuscan-Aemilian Apennine.

## PREMESSA

La regione che si estende da Livorno a Modena, attraverso l'Appennino tosco-emiliano, si presta molto bene per uno studio comparativo dell'andamento dei climi di montagna. Lo spartiacque appenninico, che in questo tratto supera talvolta i 1900 m, divide infatti due regioni climaticamente distinte: quella tirrenica, direttamente influenzata dalle masse d'aria umida di provenienza occidentale, e quella adriatica, affacciata sulla pianura padano-veneta ed esposta quindi alle correnti orientali di origine continentale. La dissimmetria climatica, oltre agli aspetti legati alla circolazione atmosferica, dev'essere posta in relazione col diverso orientamento delle valli rispetto alla radiazione solare e con la notevole diversità morfologica tra le due parti dell'Appennino (FEDERICI e MAZZANTI, 1988). Nel versante tirrenico, a parità di altitudine, le temperature medie annue sono infatti mediamente più elevate di oltre un grado, mentre l'escursione annua è più forte nel versante adriatico, indicando una situazione di maggiore continentalità. Il gradiente altimetrico della

temperatura media annua è invece poco diverso nei due versanti, ma assai difforme ne risulta l'andamento mensile.

Le differenze più marcate riguardano però le piogge, poiché queste sono notevolmente più abbondanti ad ovest dello spartiacque, dove si possono superare i 2500 mm di media all'anno, mentre ad est non si superano i 1500 mm, come mostrano le carte delle precipitazioni in Italia (FROSINI, 1961; MORI, 1964).

Anche tra i tipi di clima, definiti con il metodo di Thornthwaite, si sono riscontrate sensibili differenze tra i due lati appenninici; con tale metodo infatti è stato possibile suddividere la regione in numerose varietà climatiche ed effettuare quindi un preciso confronto fra i due ambienti.

Lo studio si riferisce all'allineamento Livorno-M. Cimone-Modena, sul quale si trovano numerose stazioni meteorologiche, tra le quali anche l'Osservatorio dell'Aeronautica Militare del Monte Cimone, il più elevato dell'Appennino. Considerata poi la regolare distribuzione altimetrica delle stazioni è stato possibile compiere un'indagine sulla variazione di alcuni elementi del clima con l'altitudine. Oltre alle quattordici stazioni termopluiometriche presenti sono state considerate quattro stazioni pluviometriche (Tab. 1), per le quali si sono calcolate le temperature medie mensili ed annue del periodo studiato, sulla base dei gradienti altimetrici da noi trovati. Le stazioni del versante tirrenico sono ubicate per la maggior parte nel bacino del Serchio, mentre quelle del versante adriatico sono tutte comprese tra il Secchia e il Panaro (Fig. 1). L'analisi numerica dei dati, che si riferiscono al periodo 1961-1980 (<sup>1</sup>), è stata preceduta da una verifica dell'affidabilità delle serie mediante il metodo della doppia cumulata (PICONE e GRAMIGNANI, 1966; TOMASINO, 1971).

#### LA TEMPERATURA DELL'ARIA

Come abbiamo già accennato, la maggiore temperatura del versante tirrenico è già evidente nel confronto tra i valori medi annui. La differenza termica appare però più sensibile se si considerano i mesi estremi; a gennaio, tra Bagni di Lucca e Sassuolo, entrambe a 120 m di altitudine, la differenza di temperatura è di 2,8° e tra

---

(<sup>1</sup>) I dati termopluiometrici delle stazioni del versante adriatico sono stati tratti dall'Annuario di Statistiche Meteorologiche dell'ISTAT. Le stazioni di Guiglia e di Sassuolo sono prive di un anno di osservazioni. I dati della temperatura dell'aria di Bagni di Lucca, Sperando e Porrino sono inediti e ci sono stati forniti dall'Ufficio Idrografico di Pisa, cui vanno i nostri ringraziamenti.

TAB. 1 - Quadro riassuntivo delle stazioni del profilo in esame e di alcune loro caratteristiche.

Stazioni	Quota m	Bacino idrografico	Posizione morfologica
Livorno	3	Calambrone	pianura
Pisa	6	F. Morto	pianura
Mutigliano	62	Serchio	fondovalle
Bagni di Lucca	120	Serchio	fondovalle
Casabasciana*	215	Serchio	fondovalle
Sperando	470	Serchio	fondovalle
S. Marcello P.	625	Serchio	versante
Porrino	640	Serchio	fondovalle
Melo*	1007	Serchio	versante
Boscolungo	1340	Serchio	versante
Monte Cimone	2165	Panaro	vetta
Barigazzo*	1224	Panaro	versante
Sestola	1020	Panaro	sella
Polinago	810	Secchia	fondovalle
Pavullo	682	Secchia	fondovalle
Guiglia*	483	Panaro	cresta
Sassuolo	121	Secchia	fondovalle
Modena	35	Panaro	pianura

\* Stazioni pluviometriche

Porrino e Pavullo, che sono poste a circa 650 m, è di 3°. A luglio la situazione si ribalta, risultando più elevate le temperature del versante adriatico (Tab. 2). Tutto ciò si traduce ovviamente in una più forte escursione annua del lato orientale, tanto che questa è rispettivamente di 16,6° e 21,1° nella prima coppia delle stazioni sopra considerate, e di 15,6° e 18,3° nella seconda (Tab. 3).

Tali differenze sono ulteriormente messe in evidenza dal confronto dei tipi climatici termici, relativi alle stazioni dei due versanti, ricavati dalla classificazione del Koeppen modificata per la regione italiana da PINNA (1969). Per quanto riguarda il lato tirrenico, le stazioni di Livorno, Pisa e Mutigliano rientrano nel tipo *temperato caldo* e Bagni di Lucca in quello *temperato sublitoraneo*. Nell'altro versante, Modena e Sassuolo cadono invece nel tipo *temperato subcontinentale*. Ad altitudini più elevate tale metodo di classificazione, per le specifiche caratteristiche del clima termico di montagna, è applicabile con maggiore difficoltà. È opportuno sottolineare però che nel lato adriatico il tipo climatico *temperato fresco* compare già a Pavullo, a 682 m di altitudine, mentre nell'altro esso è presente solo a partire da Boscolungo, a 1340 m.

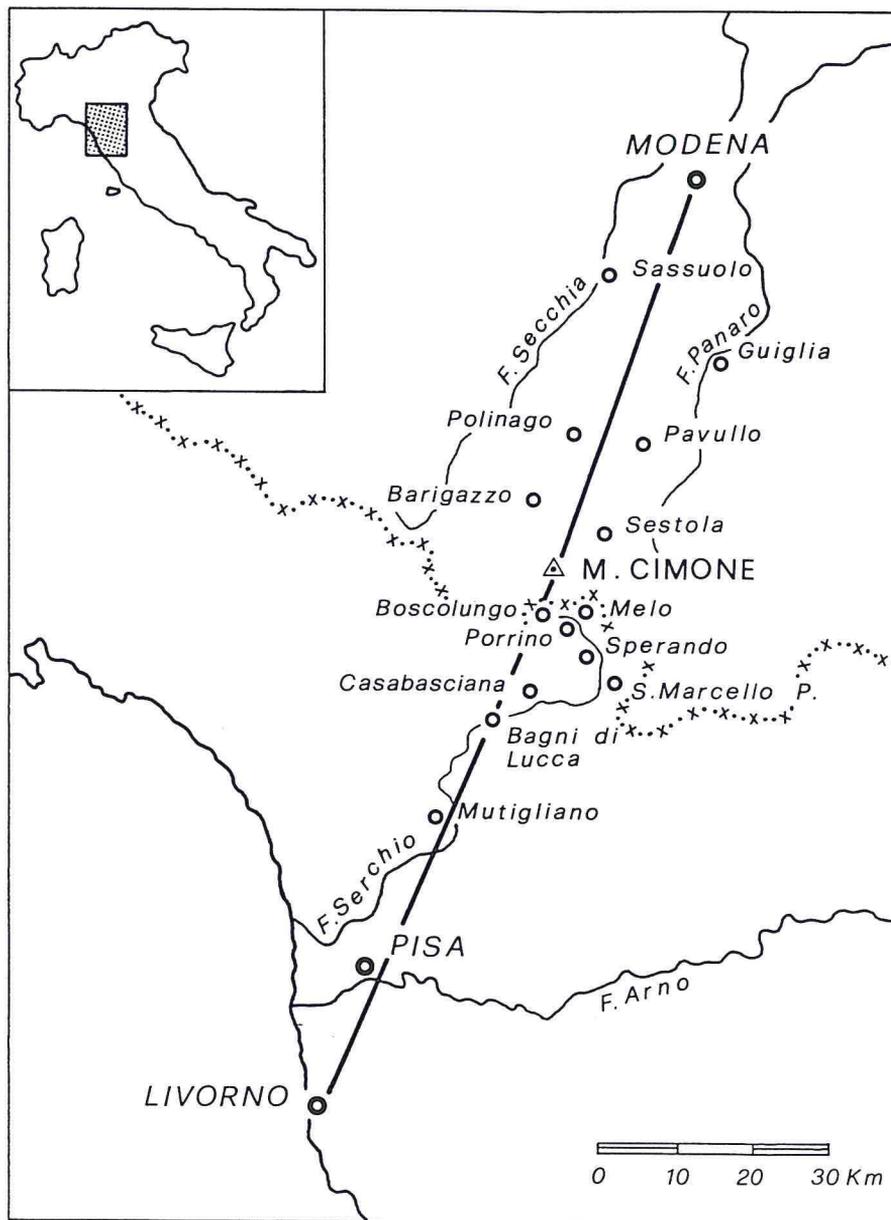


Fig. 1 - La regione studiata con l'ubicazione delle stazioni termopluviometriche e con la rappresentazione dello spartiacque appenninico.

TAB. 2 - Temperature medie del periodo 1961-1980 (°C).

Stazioni	Quota m	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Livorno	3	8,4	9,3	10,9	13,6	17,1	20,6	23,4	23,3	20,7	16,7	12,6	8,9	15,5
Pisa	6	7,2	8,5	10,3	13,4	17,1	20,5	23,1	22,9	20,0	16,0	11,2	7,7	14,8
Mutigliano	62	6,3	7,7	9,8	12,9	16,7	20,1	23,0	23,2	20,1	15,8	10,7	6,7	14,4
Bagni di Lucca	120	5,7	7,3	9,3	12,5	16,4	19,6	22,3	22,0	19,0	14,8	9,9	5,7	13,7
Sperando	470	4,0	5,1	6,8	9,9	13,8	16,8	19,4	19,4	16,4	12,6	8,0	4,5	11,4
San Marcello P.	625	4,1	5,3	7,0	10,0	14,3	17,6	20,3	20,2	17,2	13,2	8,3	5,0	11,9
Porrino	640	3,3	4,4	6,2	9,3	13,2	16,4	18,9	18,9	15,6	12,0	7,2	3,9	10,8
Boscolungo	1340	-0,4	0,2	2,2	5,4	9,6	13,4	16,4	16,1	13,0	8,7	4,0	0,3	7,4
Monte Cimone	2165	-4,3	-4,6	-3,3	-0,9	3,3	7,4	10,3	10,2	7,5	3,7	-0,5	-3,2	2,1
Sestola	1020	1,1	2,1	4,2	7,4	11,9	15,7	18,4	18,0	14,7	10,1	5,4	1,9	9,2
Polinago	810	2,1	3,3	5,7	8,9	13,0	16,5	19,2	18,8	15,5	11,3	6,6	3,1	10,3
Pavullo	682	0,3	2,0	4,5	8,2	12,3	16,1	18,6	18,1	14,8	10,2	5,9	1,2	9,4
Sassuolo	121	2,9	5,5	9,4	13,2	17,7	21,3	24,0	23,1	19,6	14,3	8,3	3,7	13,5
Modena	35	2,3	5,4	9,1	13,6	18,1	22,2	24,6	23,7	19,9	14,3	8,0	3,0	13,7

TAB. 3 - *Escursione media diurna ed annua della temperatura. Scarti tra i valori veri e quelli calcolati, secondo l'espressione (1), della temperatura media annua.*

Stazioni	Escursione media diurna °C	Escursione annua °C	Temperatura vera °C	Temperatura calcolata °C	Scarti	
					°C	%
Livorno	6,8	15,0	15,5	14,83	-0,67	-4,33
Pisa	9,8	15,9	14,8	14,81	0,01	0,07
Mutigliano	11,2	16,7	14,4	14,49	0,09	0,59
Bagni di Lucca	15,2	16,6	13,7	14,15	0,45	3,27
Sperando	11,0	15,4	11,4	12,11	0,71	0,25
San Marcello P.	9,8	16,2	11,9	11,21	-0,69	-0,82
Porrino	11,0	15,6	10,8	11,12	0,32	2,97
Boscolungo	7,6	16,8	7,4	7,05	-0,35	-4,78
Monte Cimone	4,4	14,6	2,1	2,29	0,19	9,05
Sestola	7,2	17,3	9,2	8,54	-0,66	-7,18
Polinago	7,2	17,1	10,3	9,68	-0,62	-6,06
Pavullo	10,4	18,3	9,4	10,37	0,97	10,30
Sassuolo	8,8	21,1	13,5	13,40	-0,10	-0,71
Modena	7,6	22,3	13,7	13,87	0,17	1,24

*Il gradiente altimetrico della temperatura* - L'elaborazione dei dati ha potuto confermare che l'andamento della temperatura presenta una relazione complessa con l'altitudine, essendo influenzato dalla morfologia e dall'esposizione. Da questo punto di vista le quattordici stazioni termometriche utilizzate possono essere così suddivise: tre di pianura, sei di fondovalle, tre di versante, una di sella e una di vetta. Nell'elaborazione statistica, dato l'esiguo numero di esse, non si è potuto tener conto delle differenze morfologiche, eccetto che in casi particolari. Le diversità termiche riscontrate però si inseriscono bene in un contesto geografico più generale, poiché quelle più rilevanti, come vedremo meglio in seguito, si osservano nel confronto fra i due versanti. In ogni caso l'applicazione del metodo della correlazione lineare consente ugualmente di ricavare la legge di dipendenza fra la temperatura dell'aria e l'altitudine.

L'espressione analitica tra le due variabili citate è del tipo:

$$T = T^{\circ} - aH \pm i \quad 1)$$

in cui  $T$  è la temperatura dell'aria ad una qualunque altitudine,  $T^{\circ}$  è la temperatura al livello del mare,  $a$  rappresenta il gradiente per metro,  $H$  è l'altitudine in metri ed  $i$  rappresenta il valore in gradi centigradi del semi-intervallo di confidenza di  $T$  all'80%. Le equazio-

ni delle rette di regressione lineare delle temperature medie mensili ed annue in funzione dell'altitudine sono riportate nella tabella 4 e rappresentate nella figura 2, limitatamente a tre periodi significa-

TAB. 4 - *Equazioni delle rette di regressione della temperatura media mensile ed annua con l'altitudine (1961-1980). Tra parentesi è riportato il coefficiente di correlazione lineare.*

	versante tirrenico	versante adriatico
G	T= 7,0588-0,0054 h ± 0,8 (-0,99)	T= 3,2798-0,0032 h ± 1,2 (-0,93)
F	T= 8,4679-0,0061 h ± 0,6 (-0,99)	T= 6,0675-0,0047 h ± 0,9 (-0,98)
M	T=10,3539-0,0063 h ± 0,5 (-1,00)	T= 9,6934-0,0059 h ± 0,8 (-0,99)
A	T=13,4608-0,0065 h ± 0,5 (-1,00)	T=13,8544-0,0068 h ± 0,7 (-0,99)
M	T=17,2360-0,0062 h ± 0,6 (-0,99)	T=18,2688-0,0069 h ± 0,8 (-0,99)
G	T=20,4606-0,0058 h ± 0,7 (-0,99)	T=22,0008-0,0068 h ± 0,8 (-0,99)
L	T=23,1439-0,0057 h ± 0,8 (-0,99)	T=24,5077-0,0066 h ± 0,8 (-0,99)
A	T=23,0670-0,0058 h ± 0,7 (-0,99)	T=23,6633-0,0062 h ± 0,8 (-0,99)
S	T=20,0807-0,0057 h ± 0,8 (-0,99)	T=19,9840-0,0058 h ± 0,8 (-0,99)
O	T=16,0326-0,0057 h ± 0,6 (-0,99)	T=14,6667-0,0050 h ± 0,7 (-0,99)
N	T=11,2451-0,0055 h ± 0,8 (-0,98)	T= 8,8871-0,0041 h ± 0,8 (-0,98)
D	T= 7,4976-0,0051 h ± 1,0 (-0,97)	T= 4,0348-0,0030 h ± 1,2 (-0,92)
Anno	T=14,8459-0,0058 h ± 0,6 (-0,99)	T=14,0593-0,0054 h ± 0,7 (-0,99)

tivi. Dalla stessa figura si può notare che il gradiente altimetrico di gennaio del versante adriatico è considerevolmente minore di quello del versante tirrenico, avendosi rispettivamente  $0,32^\circ$  e  $0,54^\circ/100$  m; a luglio invece esso è maggiore, ma con uno scarto poco sensibile ( $0,66^\circ$  e  $0,57^\circ/100$  m). Negli altri mesi il valore del gradiente nei due versanti è tale da compensare le differenze in più o in meno, tanto che quelli annui sono assai simili ( $0,54^\circ$  e  $0,58^\circ/100$  m), come si può osservare nella tabella 5. Nel lato adriatico i valori estremi delle medie massime si verificano a maggio ( $0,83^\circ$ ) e quelli delle medie minime a gennaio ( $0,29^\circ$ ). In quello tirrenico le differenze mensili sono complessivamente meno marcate, anche se i valori si discostano lievemente tra la primavera e l'inverno.

Il gradiente inoltre varia con l'altitudine; nel lato orientale, tra Modena e Polinago, a gennaio esso è infatti quasi nullo ( $0,17^\circ/100$  m), mentre più in alto, tra Polinago e il M. Cimone è di  $0,47^\circ/100$  m; in inverno si delinea così un'inversione termica relativa. Nel lato occidentale le variazioni del gradiente con l'altitudine sono meno

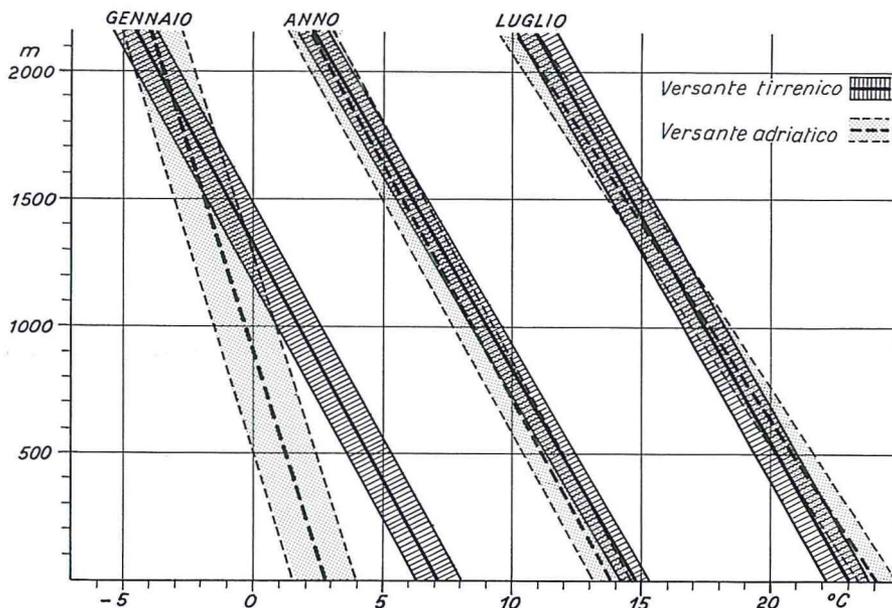


Fig. 2 - Rappresentazione grafica della correlazione lineare tra la temperatura media annua e l'altitudine. Le linee più sottili delimitano l'intervallo di confidenza dell'80%.

marcate, poiché a gennaio, ad esempio, i valori che si riscontrano nei tratti Livorno-Boscungo e Boscungo-M. Cimone sono di  $0,57^\circ$  e  $0,47^\circ/100$  m.

Oltre alle variazioni spaziali del gradiente altimetrico sono state analizzate anche le sue oscillazioni interannuali nel corso dei venti anni di osservazione sulla base delle temperature medie annue. A questo proposito si può osservare che il gradiente diminuisce fino al 1967 ( $0,49^\circ$ ;  $0,53^\circ/100$  m), aumenta bruscamente fino al 1973 ( $0,60^\circ$ ;  $0,63^\circ/100$  m) per poi diminuire nuovamente negli anni successivi.

*Il ruolo della morfologia* - Il ruolo svolto dalla morfologia sulla temperatura dell'aria appare evidente nel caso di due località: San Marcello Pistoiese e Pavullo; la prima infatti mostra una chiara anomalia rispetto alla tendenza generale del versante toscano, come Pavullo per l'altro versante. A San Marcello in tutto il corso dell'anno le temperature sono sensibilmente superiori non solo a quelle di Sperando, che pure si trova ad un'altitudine minore, ma anche a quelle calcolate col gradiente altimetrico secondo la relazione 1). Ciò è probabilmente dovuto al fatto che San Marcello Pistoiese è

TAB. 5 - *Gradiente altimetrico delle temperature medie del periodo 1961-80 (°C/100 m).*

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
	Versante tirrenico												
G.t. medio	0,54	0,61	0,63	0,65	0,62	0,58	0,57	0,58	0,57	0,57	0,55	0,51	0,58
G.t. max.	0,63	0,73	0,75	0,80	0,77	0,73	0,73	0,74	0,73	0,72	0,67	0,61	0,72
G.t. min.	0,45	0,49	0,50	0,50	0,47	0,43	0,42	0,42	0,42	0,41	0,43	0,40	0,44
	Versante adriatico												
G.t. medio	0,32	0,47	0,59	0,68	0,69	0,68	0,66	0,62	0,58	0,50	0,41	0,30	0,54
G.t. max.	0,35	0,52	0,69	0,81	0,83	0,82	0,81	0,75	0,69	0,58	0,45	0,33	0,64
G.t. min.	0,29	0,42	0,51	0,54	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,42	0,36	0,27	0,45

situata su di un pendio esposto decisamente a sud. La seconda invece registra temperature costantemente minori di quelle di Polinago e talvolta di quelle di Sestola, che si trovano ad un'altitudine sensibilmente maggiore. In questo caso l'anomalia può essere posta in relazione al fatto che Pavullo è situata in una valle incassata, con orientamento S-N, in cui sono possibili ristagni di aria fredda nelle ore notturne, con maggiore frequenza durante l'inverno.

*Andamento delle isoterme* - Anche per scopi applicativi è interessante calcolare il limite altimetrico di alcune isoterme caratteristiche per verificare a quale quota esse intersecano i due versanti. A tale fine abbiamo utilizzato la seguente espressione:

$$H = H^{\circ} - bT \pm i \quad 2)$$

in cui  $H$  rappresenta l'altitudine di una determinata isoterma,  $H^{\circ}$  quella dell'isoterma di  $0^{\circ}\text{C}$  e  $b$  il gradiente termico. Nella figura 3 è rappresentato il livello delle isoterme delle temperature medie

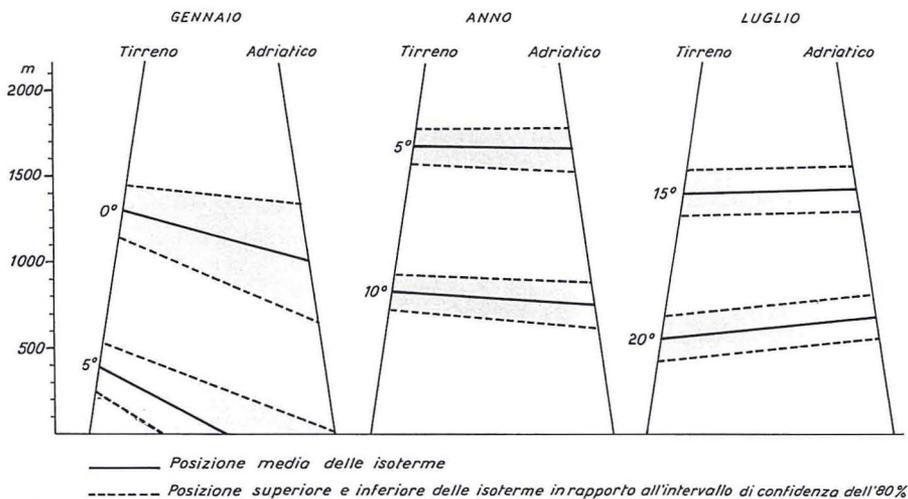


Fig. 3 - Livello altimetrico di alcune isoterme (valori medi) nel versante tirrenico e in quello adriatico dell'Appennino.

di gennaio, dell'anno e di luglio nei due versanti. Vi si può notare che a gennaio, mentre nel lato toscano l'isoterma di  $0^{\circ}\text{C}$  si trova a 1300 m di quota, in quello padano è a 1000 m; quella dei  $5^{\circ}$  è

localizzata a circa 400 m nel primo caso, mentre non compare nel secondo. I livelli altimetrici delle isoterme di 15° e 20° a luglio ad oriente dello spartiacque sono superiori, sia pure di poco, a quelli situati a occidente. Per le temperature medie annue i livelli delle isoterme di 5° e 10° sono molto vicini, pur presentando altitudini minori in direzione dell'Adriatico.

*Durata dei periodi termici* - Per completare lo studio comparato delle caratteristiche termiche abbiamo analizzato i periodi dell'anno durante i quali la temperatura dell'aria si mantiene al di sopra di determinati valori. Tale analisi, che presenta pure dei risvolti applicativi, è stata condotta utilizzando le note formule di CONRAD e POLLACK (1962) per l'utilizzazione delle quali sono sufficienti i valori medi mensili della temperatura. Pertanto per ogni stazione si è calcolato il numero dei giorni durante i quali la temperatura media diurna teorica rimane al di sopra di 0°, 5°, 10°, 15° e 20°. È risultato, anche in questo caso, il contrasto esistente tra i due versanti, specie per il numero di giorni con temperatura maggiore di 5°, in quanto, fino a Bagni di Lucca, la temperatura media si mantiene al di sopra di tale valore per tutto l'anno, mentre ad est dello spartiacque si contano almeno sessanta giorni con temperatura inferiore ad esso. Si fa notare infine che i gradienti altimetrici, calcolati prendendo in considerazione come variabili il numero dei giorni con temperatura superiore ai valori indicati e l'altitudine, sono più alti nel versante tirrenico, cui corrisponde pertanto un più rapido accorciamento dei vari periodi termici con la quota.

## LE PRECIPITAZIONI

Lungo il profilo in esame le piogge aumentano con l'altitudine: nel versante tirrenico i totali annui passano infatti dagli 804,6 mm di Livorno, ai 2565,4 mm di Boscolungo; nell'altro versante si passa dagli 821,4 mm di Modena, ai 1540 mm di Barigazzo. A quote maggiori di Boscolungo e di Barigazzo l'unica stazione esistente è quella del M. Cimone, che però registra un totale pluviometrico annuo di appena 744,7 mm, il valore più basso tra quelli delle stazioni considerate. Quest'ultimo fatto potrebbe confermare ciò che generalmente viene ammesso e cioè che, oltre una certa quota, le piogge subiscono una diminuzione; nel nostro caso tuttavia la flessione registrata al M. Cimone è di tale entità da rappresentare una situazione

TAB. 6 - *Quantità delle precipitazioni (mm) e, in seconda riga, il numero di giorni piovosi (1961-1980).*

Stazioni	Quota m	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Livorno	3	65,5 9	64,4 8	69,3 8	54,8 7	54,5 6	46,3 4	17,1 2	38,2 4	83,3 5	118,4 8	117,8 10	75,0 8	804,6 79
Pisa	6	88,9 10	75,4 9	84,4 9	65,0 8	61,6 8	47,0 5	22,3 3	72,3 5	102,3 6	120,5 8	121,8 11	96,6 9	960,8 91
Mutigliano	62	162,1 12	133,6 10	127,4 11	98,7 9	89,4 9	65,7 6	30,3 4	80,6 7	118,4 7	145,7 9	174,7 13	146,0 11	1372,6 108
Bagni di L.	120	173,2 11	143,6 10	139,0 11	121,2 10	97,2 10	73,4 7	46,6 6	97,3 7	137,5 8	158,0 9	205,0 13	154,0 10	1546,0 112
Casabasciana	215	173,7 12	145,7 11	143,9 12	125,4 12	112,8 11	81,6 8	56,2 6	100,4 8	137,3 9	156,9 9	210,9 14	151,7 11	1596,5 123
Sperando	470	190,6 11	152,8 11	155,2 11	140,2 12	105,5 11	80,8 9	65,6 7	97,7 7	139,2 8	164,4 9	230,3 13	163,2 10	1685,5 119
S. Marcello P.	625	186,7 12	144,5 11	148,0 12	138,4 12	93,6 10	75,9 8	57,5 6	85,4 8	133,4 8	153,6 9	230,2 13	162,9 11	1614,8 119
Porrino	640	246,4 12	192,3 11	197,9 12	182,9 13	134,9 12	109,3 10	81,7 8	105,0 8	152,2 8	235,7 10	292,8 14	201,4 11	2132,5 129
Melo	1007	257,7 12	215,8 11	211,3 11	204,1 12	160,9 11	121,2 9	80,5 7	109,4 6	166,9 7	252,5 9	331,6 13	249,5 10	2361,4 118
Boscolungo	1340	296,8 13	226,2 11	239,9 12	222,3 14	172,4 12	126,1 11	78,1 7	116,7 8	167,7 9	272,4 11	380,7 15	266,1 11	2565,4 134
M. Cimone	2165	56,1 9	48,5 8	60,2 9	51,7 9	59,8 10	63,6 9	46,9 7	66,8 8	73,9 7	81,9 10	86,6 12	48,7 8	744,7 106
Barigazzo	1224	116,8 10	122,6 11	124,4 11	141,9 12	121,9 11	114,5 10	72,1 7	113,4 7	130,1 8	154,7 10	204,4 13	123,2 9	1540,0 119
Sestola	1020	111,1 9	99,0 9	107,6 10	133,9 12	113,0 11	98,8 10	66,0 6	97,0 8	119,0 7	154,0 9	184,2 12	116,8 9	1400,4 112
Polinago	810	75,2 8	69,9 8	73,0 8	97,4 10	85,8 9	77,9 9	54,2 5	90,4 7	89,8 6	95,2 8	120,2 10	84,2 9	1013,2 97
Pavullo	682	66,2 8	62,9 7	70,6 8	96,8 10	78,8 9	76,0 8	53,9 6	76,7 7	83,3 7	86,0 8	112,3 10	71,4 8	934,9 96
Guiglia	483	60,7 7	55,9 7	69,0 8	81,8 8	73,3 8	59,8 7	42,7 5	58,2 6	77,9 6	79,5 7	97,4 10	63,5 7	819,7 86
Sassuolo	121	57,9 7	59,4 7	70,7 8	75,5 8	76,7 9	60,4 7	42,1 4	58,5 6	71,5 5	79,4 7	99,2 9	73,8 7	825,1 84
Modena	35	69,6 8	54,9 7	71,4 8	71,0 8	69,2 8	56,8 6	45,8 4	66,5 6	66,7 5	76,6 7	99,1 9	73,8 7	821,4 83

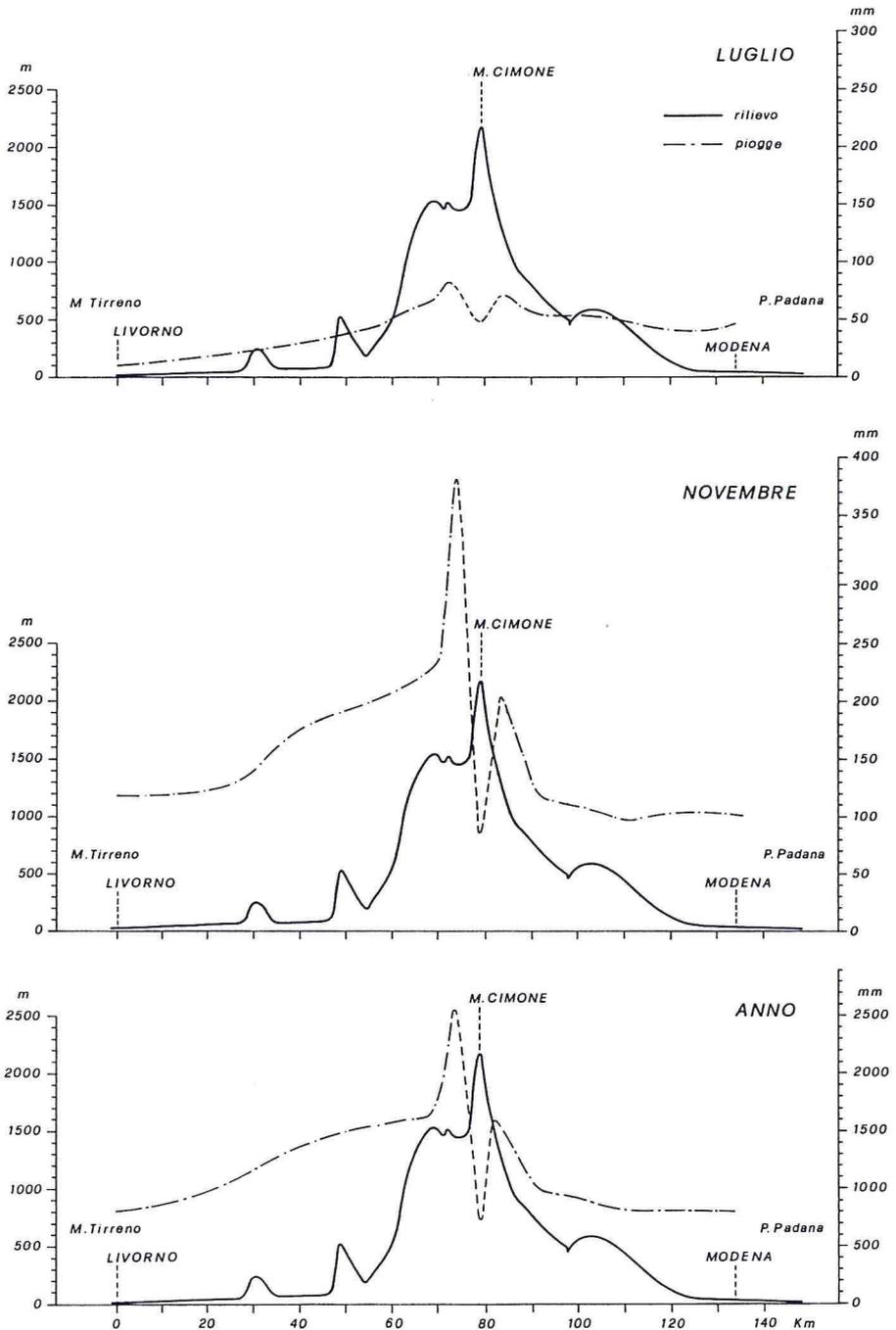


Fig. 4 - Profili pluviometrici di luglio, di novembre e dell'anno, lungo l'allineamento Livorno-M. Cimone-Modena (1961-1980).

molto singolare. Del resto ci sono note le difficoltà che presenta la misurazione delle precipitazioni nelle aree montane, soprattutto nelle stazioni di vetta. Purtroppo tale flessione non può essere adeguatamente analizzata per l'assenza di stazioni intermedie nell'intervallo altimetrico esistente tra le più elevate stazioni dei due versanti e il M. Cimone <sup>(2)</sup>, che è di circa 900 m (Tab. 6). Quanto osservato viene posto in evidenza dalla figura 4, in cui sono rappresentati, in tre casi significativi, il profilo altimetrico della sezione e quello pluviometrico. Nel versante tirrenico quest'ultimo sembra concordare con l'andamento del rilievo, anche se l'incremento delle piogge fino a Bagni di Lucca è di circa 6 mm/m, mentre nel tratto di montagna, tra Porrino e Boscolungo, tale variazione è di appena 0,6 mm/m. Ugualmente nel versante adriatico si osserva un aumento delle piogge con l'altitudine, sia pure in misura sensibilmente minore, poiché da Modena a Sassuolo la variazione pluviometrica è di circa 0,1 mm/m e da Pavullo a Barigazzo di 1,1 mm/m.

Anche sull'intensità delle precipitazioni si possono fare analoghe osservazioni e confronti: nel lato occidentale si registrano valori molto alti, con un andamento annuo caratterizzato da una forte escursione tra i valori autunnali e quelli estivi; nel lato orientale i valori sono molto più bassi e l'andamento annuo presenta variazioni sensibilmente più modeste (Fig. 5). Si può anche osservare che mentre ad occidente dello spartiacque appenninico l'intensità delle piogge aumenta progressivamente con l'altitudine, ad oriente ciò si verifica solo a partire da Polinago, poiché a quote inferiori essa è praticamente costante.

Per quanto riguarda i regimi pluviometrici, da precedenti ricerche (MORI, 1966; PINNA e VITTORINI, 1985), è risultato che in Italia ne esistono due tipi principali, l'uno con il minimo invernale e l'altro con il minimo estivo. La linea di demarcazione tra questi può essere rappresentata dal corso del Po: a nord predomina il primo tipo, a sud il secondo. Nel versante tirrenico questo andamento, considerato il regime medio del periodo, è rispettato in tutte le stazioni, nelle quali infatti il minimo pluviometrico cade in estate. Poiché

---

(2) La carenza di stazioni pluviometriche in montagna si ripercuote sull'affidabilità delle stime di afflusso nei bacini montani e, per conseguenza, sull'attendibilità dei bilanci idrologici. Ad esempio, nel bacino del F. Serchio, su trenta stazioni pluviometriche che vi si trovano, appena quattro sono comprese tra i 1000 e i 1340 m. Per quanto riguarda l'intero Compartimento della Toscana, su un totale di 279 stazioni pluviometriche, soltanto sette di esse sono poste oltre i 1000 m e nessuna oltre i 1340 m (dati 1986).

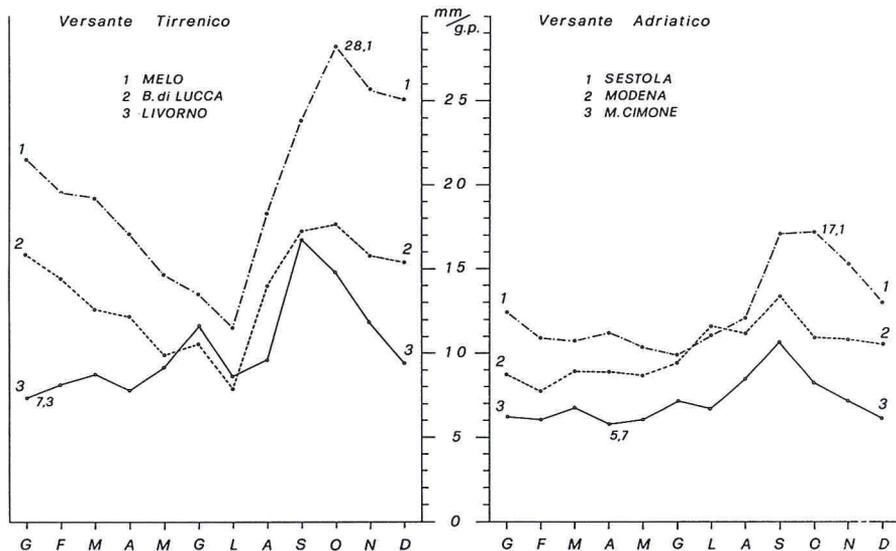


Fig. 5 - Andamento annuo dell'intensità media diurna delle precipitazioni di alcune stazioni significative (1961-1980).

il massimo principale si registra, in media, in autunno e quello secondario in inverno, il regime risultante è quello *submediterraneo* (AIPE). Fa eccezione, fra le stazioni di questa parte dell'Appennino, Mutigliano, che presenta il massimo principale in inverno e quello secondario in autunno, combinazione caratteristica del tipo *mediterraneo* (IAPE). Nel versante adriatico, dove il minimo stagionale non coincide sempre con l'estate, prevale il tipo *sublitoraneo*, che ha il massimo principale in autunno e quello secondario in primavera (APIE). Pavullo, che registra il minimo in inverno, ha invece il regime *subalpino* (APEI), mentre il M. Cimone, che presenta un aspetto singolare anche da questo punto di vista, ha un regime *subcontinentale* (AEPI). Non tutti gli anni invero presentano le stesse caratteristiche, poiché in base alla successione dei valori decrescenti delle piogge stagionali si è constatato che, nel ventennio, tra tutte le stazioni si sono verificati ventuno delle ventiquattro combinazioni possibili di regime. Nel versante toscano, tuttavia, si ha una frequenza molto elevata dei regimi a minimo estivo (77%), mentre in quello emiliano si verifica una maggiore dispersione dei tipi, poiché tale percentuale si riduce al 45% dei casi. Il regime del M. Cimone, per

la forte dispersione dei tipi si inserisce meglio nell'andamento del versante emiliano.

TAB. 7 - *Tipi di regime pluviometrico. Media del periodo 1961-80.*

Livorno	A I P E	Submediterraneo
Pisa	A I P E	Submediterraneo
Mutigliano	I A P E	Mediterraneo
Bagni di Lucca	A I P E	Submediterraneo
Casabasciana	A I P E	Submediterraneo
Sperando	A I P E	Submediterraneo
S. Marcello P.	A I P E	Submediterraneo
Porrino	A I P E	Submediterraneo
Melo	A I P E	Submediterraneo
Boscolungo	A I P E	Submediterraneo
Monte Cimone	A E P I	Subcontinentale
Barigazzo	A P I E	Sublitoraneo
Sestola	A P I E	Sublitoraneo
Polinago	A P I E	Sublitoraneo
Pavullo	A P E I	Subalpino
Guiglia	A P I E	Sublitoraneo
Sassuolo	A P I E	Sublitoraneo
Modena	A P I E	Sublitoraneo

*Il gradiente altimetrico delle precipitazioni* - Com'è stato già osservato, le precipitazioni aumentano con l'altitudine fino ad una certa quota, oltre la quale, a differenza di quanto si verifica per la temperatura dell'aria, esse subiscono un decremento. Secondo FROSINI (1961), in media in Italia le piogge aumentano dal livello del mare fino a 750-1000 m, mentre più in alto presentano una generale flessione. Le caratteristiche geografiche e orografiche locali possono però modificare molto sensibilmente questo schema, determinando, in alcune situazioni, andamenti molto diversi rispetto alla tendenza riscontrata.

Nel nostro caso il gradiente altimetrico non rimane costante lungo il versante, ma risulta omogeneo per segmenti di esso, per cui è applicabile la seguente espressione analitica che correla la piovosità con l'altitudine:

$$P = P^{\circ} + aH \quad 3)$$

TAB. 8 - Gradiente altimetrico mensile ed annuo delle precipitazioni (mm/100 m) per fasce altimetriche (1961-1980).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Versante tirrenico													
Livorno-Bagni di L. (3-120 m)	92,3	67,8	59,7	56,8	36,6	23,2	25,2	50,6	46,4	33,9	74,6	67,7	628,2
Bagni di L.-Sperando (120-470 m)	5,3	2,7	4,6	5,5	1,3	1,6	5,1	-0,1	0,5	2,1	7,3	3,0	39,2
Porrino-Boscolungo (640-1340 m)	7,1	4,9	6,0	5,6	5,4	2,4	-0,5	1,7	2,2	5,2	12,5	9,3	61,1
Bagni di L.-Boscolungo (120-1340 m)	10,6	7,6	8,5	8,9	6,3	4,6	2,6	1,5	2,9	10,6	15,0	10,4	89,4
Livorno-Boscolungo (3-1340 m)	13,2	9,6	10,4	10,9	7,5	5,5	4,2	3,6	4,7	11,2	17,2	11,9	109,5
Versante adriatico													
Modena-Guiglia (35-483 m)	-1,2	-0,1	-0,5	2,2	0,4	0,4	-0,4	-1,3	2,3	0,5	-0,4	-2,5	-0,4
Guiglia-Barigazzo (483-1224 m)	8,7	9,4	8,2	8,7	7,2	7,3	3,9	7,1	7,8	12,1	15,8	9,0	105,1
Modena-Barigazzo (35-1224 m)	4,5	5,0	4,0	6,0	4,1	4,6	2,4	4,3	5,1	6,8	8,6	4,2	59,8

in cui  $P$  sono le precipitazioni ad un'altitudine determinata,  $P^0$  è la pioggia al livello del mare,  $a$  rappresenta il gradiente per metro e  $H$  è l'altitudine espressa in metri.

Nel versante tirrenico si sono individuati due principali valori del gradiente, l'uno, relativo al tratto di pianura e all'area pedemontana, da Livorno a Bagni di Lucca, e l'altro da quest'ultima località a Boscolungo (Fig. 6 e tab. 9). Nel primo caso il gradiente è assai

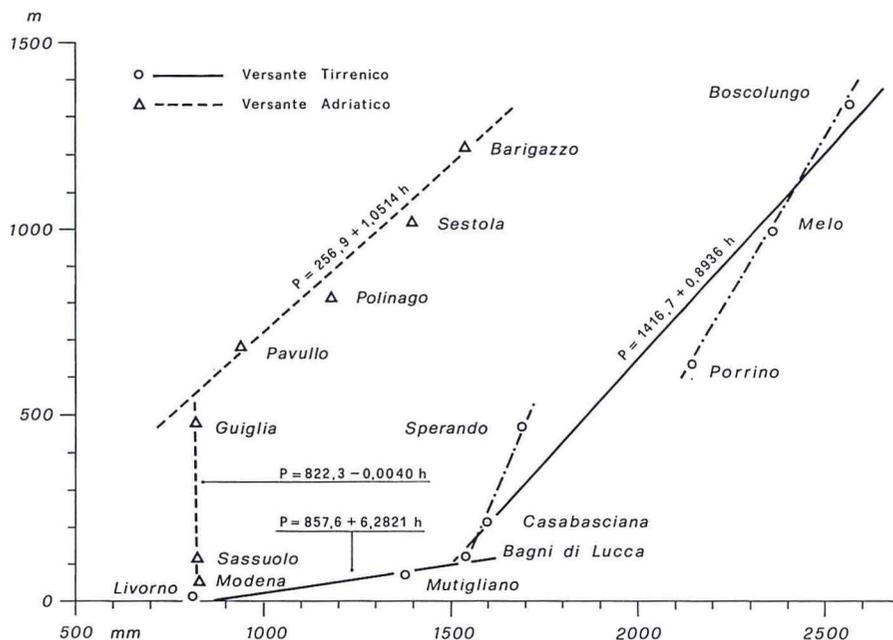


Fig. 6 - Rappresentazione grafica della correlazione lineare tra le precipitazioni annue e l'altitudine nei due versanti dell'Appennino (1961-1980).

elevato poiché quello annuo, ad esempio, è di 628,2 mm/100 m (Tab. 9), nel secondo caso è sensibilmente minore, non superando gli 89,4 mm/100 m. Tutto il lato toscano può essere quindi suddiviso in due parti, nelle quali l'incremento delle piogge con l'altitudine è pressoché lineare. Oltre a ciò, all'interno del settore montano esistono due gruppi di stazioni tra cui il coefficiente di correlazione è addirittura pari ad uno: tra Bagni di Lucca e Sperando, dove il gradiente è di 39,2 mm/100 m, e tra Porrino e Boscolungo, dove esso è di 61,1 mm/100 m. Considerando poi tutte le stazioni del versante tirrenico

TAB. 9 - *Equazioni delle rette di regressione delle precipitazioni medie mensili ed annue con l'altitudine (1961-1980). Tra parentesi è riportato il coefficiente di correlazione lineare.*

	tratto pedemontano	tratto montano
Versante tirrenico		
G	P= 76,71 + 0,9226 h (0,91)	P= 156,24 + 0,1057 h (0,97)
F	P= 72,03 + 0,6783 h (0,92)	P= 131,56 + 0,0757 h (0,96)
M	P= 75,09 + 0,5968 h (0,93)	P= 127,20 + 0,0854 h (0,98)
A	P= 56,54 + 0,5680 h (0,98)	P= 109,74 + 0,0890 h (0,97)
M	P= 57,82 + 0,3656 h (0,94)	P= 90,79 + 0,0630 h (0,96)
G	P= 47,50 + 0,2319 h (0,97)	P= 69,60 + 0,0461 h (0,95)
L	P= 15,69 + 0,2520 h (1,00)	P= 51,97 + 0,0256 h (0,83)
A	P= 40,85 + 0,5057 h (0,97)	P= 94,70 + 0,0154 h (0,95)
S	P= 84,48 + 0,4636 h (0,99)	P= 131,63 + 0,0293 h (0,96)
O	P=119,81 + 0,3388 h (0,98)	P= 139,99 + 0,1055 h (0,94)
N	P=119,83 + 0,7459 h (0,99)	P= 180,20 + 0,1503 h (0,99)
D	P= 83,27 + 0,6767 h (0,91)	P= 131,81 + 0,1042 h (0,98)
ANNO	P=857,60 + 6,2821 h (0,96)	P=1416,68 + 0,8936 h (0,97)
Versante adriatico		
G	P= 65,23 - 0,0117 h (-0,46)	P= 12,97 + 0,0866 h (0,96)
F	P= 57,00 - 0,0013 h (-0,99)	P= 2,65 + 0,0941 h (0,97)
M	P= 71,47 - 0,0052 h (-0,99)	P= 19,33 + 0,0825 h (0,93)
A	P= 71,39 + 0,0221 h ( 0,97)	P= 36,71 + 0,0873 h (0,97)
M	P= 72,28 + 0,0037 h ( 0,23)	P= 33,36 + 0,0725 h (0,97)
G	P= 58,10 + 0,0042 h ( 0,52)	P= 23,50 + 0,0734 h (0,99)
L	P= 44,47 - 0,0044 h (-0,53)	P= 24,64 + 0,0393 h (0,99)
A	P= 63,90 - 0,0133 h (-0,67)	P= 27,00 + 0,0713 h (0,99)
S	P= 67,17 + 0,0228 h ( 0,97)	P= 34,63 + 0,0775 h (0,97)
O	P= 77,51 + 0,0046 h ( 0,67)	P= 12,21 + 0,1205 h (0,93)
N	P= 99,45 - 0,0041 h (-0,97)	P= 10,01 + 0,1584 h (0,96)
D	P= 75,61 - 0,0246 h (-0,98)	P= 15,54 + 0,0904 h (0,97)
ANNO	P=822,26 - 0,0040 h (-0,27)	P=256,90 + 1,0514 h (0,98)

si ottiene un gradiente annuo di 109,5 mm/100 m, ed un coefficiente di correlazione lineare di 0,93, ancora molto significativo. La figura 7A mostra il regime del gradiente del versante occidentale nel tratto pedemontano e in quello di montagna; pur riscontrando nell'andamento delle rette di regressione una forte analogia, non si può fare a meno di osservare che il gradiente massimo si verifica a gennaio nel tratto pedemontano e quello minimo in estate al di sopra dei 120 m.

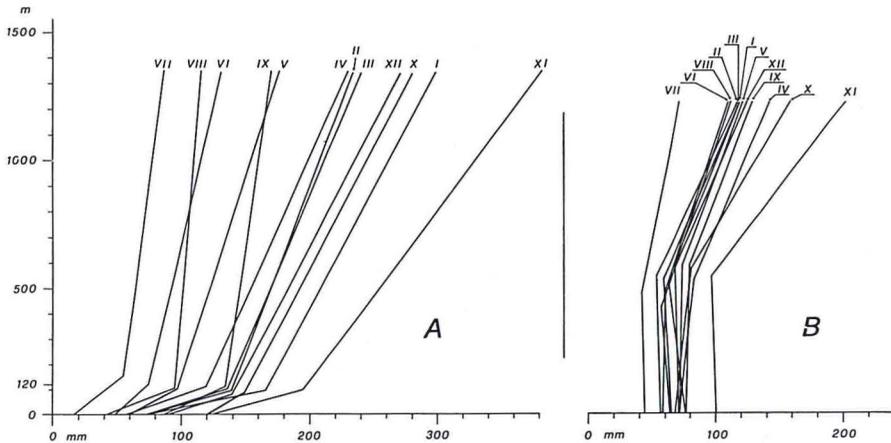


Fig. 7 - Rappresentazione grafica della correlazione lineare tra le precipitazioni mensili e l'altitudine nei versanti tirrenico (A) e adriatico (B) (1961-1980).

Anche nel versante adriatico è possibile individuare due settori con gradiente diverso: il primo, quello pedemontano, presenta tuttavia una forte difformità con l'omologo dell'altro versante, poiché il gradiente risulta negativo in molti mesi, così da portare su valori negativi anche quello annuo. Nel pedemonte infatti il regime è caratterizzato da valori negativi in inverno ed in estate e da valori debolmente positivi nelle stagioni intermedie. Per spiegare questo fenomeno non siamo stati in grado di trovare una causa generale; solamente per il periodo estivo si potrebbero invocare le piogge convettive che sono così frequenti nella pianura padana. Ciò sarebbe confermato dal fatto che a Modena a luglio e ad agosto le piogge sono, sia pur di poco, più abbondanti che a Sassuolo e a Guiglia. Nel settore montano le precipitazioni aumentano linearmente con l'altitudine secondo un gradiente di 105,1 mm/100 m, confrontabile con quello dello stesso tratto tirrenico. Malgrado ciò il gradiente annuo di tutto il versante (59,8 mm/100 m) è minore di quello del lato occidentale dell'Appennino (109,5 mm/100 m) ed anche il coefficiente di correlazione lineare è meno significativo (0,89).

Anche per le piogge si è calcolato, con il metodo della regressione lineare, il limite altimetrico di alcune isoiete, per verificare a quali quote esse intersecano i due versanti. La figura 8 mostra i livelli relativi alle precipitazioni medie di luglio, il mese meno piovoso, di novembre, il mese più piovoso, e quelle dell'anno. Si osserva che le isoiete intersecano le due pendici a quote assai diverse

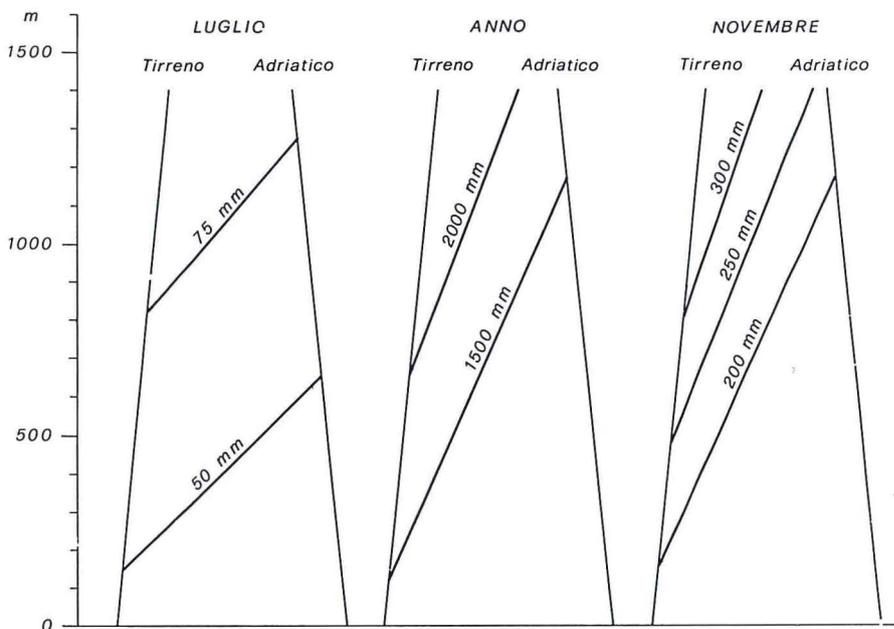


Fig. 8 - Livello altimetrico di alcune isoiete relative alle precipitazioni medie di luglio, dell'anno e di novembre nei due versanti dell'Appennino (1961-1980).

TAB. 10 - *Variatione del gradiente altimetrico delle precipitazioni in rapporto alla piovosità annua. a) indica l'anno più piovoso; b) l'anno meno piovoso. I valori delle piogge, per semplicità, si riferiscono solo a Boscolungo per il versante occidentale e a Barigazzo per quello orientale.*

Versante tirrenico			Versante adriatico		
anno	mm	gradiente mm/100 m	anno	mm	gradiente mm/100 m
a) 1979	3689,8	158	1972	1817,6	63
b) 1971	1848,6	65	1967	1093,6	50
rapporto a/b		2,4	rapporto a/b		1,3

tra loro; ad esempio quella dei 1500 mm annui si attesta sui 120 m nel lato tirrenico e sui 1150 m in quello adriatico, con un dislivello di circa 1000 m. Tale dissimmetria è meno accentuata in luglio poiché in questo mese le piogge sono scarse dappertutto.

Ponendo in relazione la quantità delle precipitazioni con il gra-

diente risulta che questo aumenta con l'aumentare delle piogge mensili ed annue, sia pure in misura diversa nei due versanti. Dalla tabella 10 si osserva che il gradiente è maggiore negli anni più piovosi ed inoltre che il rapporto tra i gradienti dell'anno più umido e di quello più arido è più elevato nel versante tirrenico che in quello adriatico.

Infine il diverso andamento delle precipitazioni con l'altitudine nei due lati appenninici è confermato dall'analisi cronologica delle piogge annuali, da cui risulta che il gradiente del lato tirrenico si è mantenuto, nei venti anni di osservazione, sempre più elevato di quello del lato adriatico, conservando un valore circa doppio dell'altro.

#### L'EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE E IL BILANCIO IDRICO

Nel tentativo di arrivare ad una definizione dei principali tipi di clima della regione in esame, tra i vari metodi abbiamo scelto quello proposto dal THORNTHWAITE (1948) perché ci sembra il più completo e nello stesso tempo il più idoneo a mettere in evidenza le differenze climatiche esistenti anche in aree geografiche relativamente ristrette. Com'è noto, i tipi di clima ottenuti secondo questo metodo sono individuati attraverso il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale (ETP) e del bilancio idrico, che deriva dall'interazione dell'ETP con le precipitazioni mensili (P). Nella tabella 11 sono evidenziate le caratteristiche del bilancio idrico di una stazione di pianura, di una di montagna e di una di alta montagna. Nel primo caso il valore annuo di P-ETP è negativo e risulta tale per ben cinque mesi, da maggio a settembre, contrassegnati da un'accentuata aridità. La ricostituzione della riserva idrica del suolo ha inizio ad ottobre e si protrae fino a dicembre, mentre l'eccedenza (S) si verifica solo nei primi tre mesi dell'anno, risultando, nel complesso, inferiore al deficit (D). Nella stazione di montagna l'elevata quantità delle precipitazioni e il modesto valore dell'ETP, dovuto alla riduzione della temperatura con l'altitudine, determinano una forte eccedenza annua ed un trascurabile deficit idrico a luglio. In questa stazione la ricostituzione della riserva dura solo un mese, mentre da settembre ha inizio una forte eccedenza che si protrae fino a giugno. Il carattere più rilevante del clima del M. Cimone, stazione di alta montagna, è costituito dal valore estremamente ridotto dell'ETP; ciò deriva dal fatto che in questa stazione la temperatura media dell'aria è negati-

TAB. 11 - Bilancio idrico di una stazione di pianura, di una di montagna e di una di alta montagna. Media del ventennio 1961-1980.

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
Livorno 3 m													
ETP	17	20	33	55	85	116	145	133	94	61	34	18	811
P	66	64	69	55	55	46	17	38	83	118	118	75	804
P-ETP	49	44	36	0	-30	-70	-128	-95	-11	57	84	57	-7
AE	17	20	33	55	84	103	92	76	86	61	34	18	679
D					1	13	53	57	8				132
S	45	44	36										125
Boscolungo 1343 m													
ETP	0	0	15	37	65	93	113	101	72	46	19	0	561
P	297	226	240	222	172	126	78	117	168	272	381	266	2565
P-ETP	297	226	225	185	107	33	-35	16	96	226	362	266	2004
AE	0	0	15	37	65	93	111	101	72	46	19	0	559
D							2						2
S	297	226	225	185	107	33			79	226	362	266	2006
M. Cimone 2165 m													
ETP	0	0	0	0	27	58	74	68	47	23	0	0	297
P	56	49	60	52	60	64	47	67	74	82	87	49	747
P-ETP	56	49	60	52	33	6	-27	-1	27	59	87	49	450
AE	0	0	0	0	27	58	73	68	47	23	0	0	296
D							1						1
S				52	60	64			59		87		322

ETP = evapotraspirazione potenziale; P = precipitazioni; AE = evapotraspirazione reale; D = deficit; S = eccedenza. Tutti questi parametri sono espressi in millimetri.

va per ben sei mesi, da novembre ad aprile, e che pertanto l'ETP in questo periodo è uguale a zero; ciononostante si registra a luglio un pur trascurabile deficit. La temperatura dell'aria condiziona poi, in modo diretto, l'eccedenza idrica, poiché questa, com'è noto, è nulla nei mesi in cui la temperatura media è inferiore a  $-1^{\circ}\text{C}$ , in quanto, in queste condizioni, le precipitazioni avvengono in forma solida e rimangono sul suolo, costituendo il manto nevoso. Per questo motivo, al Cimone, nonostante che la differenza P-ETP sia positiva da settembre a giugno, l'eccedenza termina a novembre e riprende solo ad aprile, quando la temperatura media dell'aria sale al di sopra di  $-1^{\circ}\text{C}$ .

Com'è noto i tipi climatici secondo Thornthwaite vengono sintetizzati da una formula costituita da quattro lettere; la prima di esse indica i fondamentali tipi di clima secondo il valore dell'*indice di umidità globale* (Im), la seconda il valore dell'ETP, la terza le variazioni stagionali dell'umidità ed infine l'ultima lettera la *concentrazione estiva dell'ETP* (CEET), che è un indice di continentalità<sup>(3)</sup>.

Nella tabella 12 sono riportati gli elementi generali del bilancio idrico medio: l'ETP, come potevamo attenderci, assume il valore massimo a Livorno con 811 mm e il valore minimo al M. Cimone con 296 mm. Anche il deficit idrico presenta il suo valore più elevato a Livorno con 132 mm e quello minimo a Porrino e al Melo con 0 mm, mentre a Boscolungo, malgrado la quota più elevata, presenta il pur trascurabile valore di 2 mm. Nel versante adriatico il deficit idrico non si annulla mai ed è sempre superiore, a parità di quota, a quello del versante opposto. L'eccedenza idrica ha un'escursione maggiore degli altri parametri considerati, poiché dai 125 mm di Livorno si raggiungono i 2006 mm di Boscolungo; nel lato padano l'escursione tra i valori estremi è più bassa, passando dai 143 mm di Modena ai 994 mm di Barigazzo. Sul M. Cimone l'eccedenza è molto ridotta a causa delle scarse precipitazioni. L'indice di umidità globale infine assume il valore più basso a Livorno con  $-0,9$  e quello più elevato a Boscolungo con 350,0; nel lato orientale non si supera invece il valore di 185,2 di Barigazzo. Risulta perciò che il versante tirrenico ha un'umidità climatica sensibilmente più elevata rispetto all'altro versante; infatti il tipo di clima *perumido* (A) compa-

---

<sup>(3)</sup> Per le procedure del calcolo dell'evapotraspirazione potenziale e del bilancio idrico, nonché per il significato dei simboli, si fa riferimento a THORNTHWAITE (1948) e THORNTHWAITE e MATHER (1957). I valori aggiornati degli indici della formula climatica si ritrovano, tra l'altro, in PINNA (1977).

TAB. 12 - I principali caratteri del bilancio idrico. Medie del periodo 1961-1980.

Stazioni	Altit. m	Temp. °C	ETP mm	P mm	D mm	S mm	Im	CEET %	Formula climatica
Livorno	3	15,5	811	804	132	125	-0,9	48,6	C <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> s b' <sub>4</sub>
Pisa	6	14,8	792	956	94	258	20,7	49,2	B <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>
Mutigliano	62	14,4	784	1373	60	649	75,1	49,9	B <sub>3</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>
Bagni di L.	120	13,7	764	1546	35	817	102,4	49,4	A B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>
Casabasciana *	215	13,6	757	1597	25	865	111,0	48,9	A B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>
Sperando	470	11,4	694	1686	13	1005	142,9	49,0	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>
S. Marcello P.	625	11,9	708	1611	25	928	127,5	49,7	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>
Porrino	640	10,8	680	2405	0	1725	253,7	49,6	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>
Melo *	1007	9,0	611	2363	0	1752	286,7	51,6	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>
Boscolungo	1340	7,4	561	2565	2	2006	350,0	54,7	A C' <sub>2</sub> r b' <sub>3</sub>
M. Cimone	2165	2,1	297	747	1	322	108,1	67,3	A C' <sub>1</sub> r b' <sub>1</sub>
Barigazzo *	1224	7,5	548	1540	2	994	185,2	55,3	A C' <sub>2</sub> r b' <sub>3</sub>
Sestola	1020	9,2	630	1401	8	779	122,4	53,2	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>3</sub>
Polimago	810	10,3	669	1012	21	364	51,3	51,3	B <sub>2</sub> B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>
Pavullo	682	9,4	638	935	25	322	46,6	53,1	B <sub>2</sub> B' <sub>1</sub> r b' <sub>3</sub>
Guiglia *	483	11,5	708	821	67	180	16,0	52,5	C <sub>2</sub> B' <sub>1</sub> r b' <sub>3</sub>
Sassuolo	121	13,5	789	826	105	142	6,9	52,7	C <sub>2</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>3</sub>
Modena	35	13,7	799	823	119	143	3,0	53,9	C <sub>2</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>3</sub>

\* Stazioni pluviometriche

TAB. 13 - Valori estremi dell'Im nelle stazioni termopluviometriche. Periodo 1961 - 1980.

	Valore massimo			Valore minimo		
	Im	Anno	Formula climatica	Im	Anno	Formula climatica
Livorno	28,6	1966	B <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> s a'	-30,9	1967	C <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> d b' <sub>4</sub>
Pisa	67,7	1966	B <sub>3</sub> B' <sub>2</sub> r a'	-3,7	1962	C <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>
Mutigliano	126,2	1979	A B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>	26,0	1974	B <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>
Bagni di L.	165,7	1979	A B' <sub>2</sub> r b' <sub>3</sub>	56,7	1962	B <sub>2</sub> B' <sub>2</sub> s b' <sub>4</sub>
Sperando	261,2	1979	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>	75,8	1962	B <sub>3</sub> B' <sub>1</sub> s b' <sub>4</sub>
S. Marcello P.	187,7	1979	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>	59,4	1971	B <sub>2</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>
Porrino	348,3	1979	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>	129,5	1971	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>
Boscolungo	402,3	1979	A C' <sub>2</sub> r b' <sub>2</sub>	244,7	1971	A C' <sub>2</sub> r b' <sub>3</sub>
M. Cimone	109,4	1968	A C' <sub>1</sub> r c' <sub>2</sub>	-6,2	1970	C <sub>1</sub> C' <sub>1</sub> d b' <sub>1</sub>
Sestola	171,5	1972	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>3</sub>	56,8	1971	B <sub>2</sub> B' <sub>1</sub> r b' <sub>3</sub>
Polinago	114,6	1972	A B' <sub>1</sub> r b' <sub>3</sub>	-2,2	1967	C <sub>1</sub> B' <sub>1</sub> d b' <sub>4</sub>
Pavullo	92,1	1972	B <sub>4</sub> B' <sub>1</sub> r b' <sub>4</sub>	0,4	1967	C <sub>2</sub> B' <sub>1</sub> r b' <sub>3</sub>
Sassuolo	37,8	1972	B <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>4</sub>	-23,8	1967	C <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> d b' <sub>3</sub>
Modena	27,7	1972	B <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> r b' <sub>3</sub>	-31,3	1967	C <sub>1</sub> B' <sub>2</sub> s <sub>2</sub> b' <sub>3</sub>

re già a Bagni di Lucca, a 120 m di altitudine, mentre nel versante opposto esso è presente a partire da quote molto più elevate (Sestola, 1020 m).

Il differente valore dell'umidità climatica deriva non tanto dall'andamento dell'ETP quanto piuttosto dalla marcata dissimmetria delle precipitazioni tra un versante e l'altro. Poco significative sono le variazioni stagionali dell'umidità, in quanto, se si eccettua Livorno, la deficienza idrica estiva è nulla o molto piccola (Tab. 12). Più marcate risultano invece le differenze della concentrazione estiva dell'efficienza termica (CEET): infatti, mentre nel versante tirrenico prevale il tipo b'<sub>4</sub>, rappresentativo di una condizione di marittimità, in quello adriatico è più frequente il tipo b'<sub>3</sub>, indice di maggiore continentalità. Il M. Cimone anche in questo caso presenta caratteristiche molto singolari, in quanto il tipo perumido in cui ricade non è dovuto a cospicue precipitazioni, ma al valore estremamente basso dell'ETP annua (296 mm), dal quale deriva la varietà climatica del *primo microtermico* (C'<sub>1</sub>), caratteristico dei climi molto freddi. Assai pronunciata risulta infine la concentrazione estiva dell'efficienza termica (b'<sub>1</sub>), che denota, per questa stazione, un'accentuata continentalità.

Per poter definire l'intervallo entro cui i tipi di clima sono va-

riati durante il ventennio in esame, abbiamo calcolato anno per anno il bilancio idrico delle sole stazioni termopluviometriche, riportando nella tabella 13 i valori estremi dell'Im, l'anno in cui si sono verificati e le formule climatiche caratteristiche. Si può osservare che la variabilità climatica interannuale è massima in pianura e decresce in modo sensibile con l'altitudine, ma con un andamento più accentuato nel versante adriatico; eccetto Porrino e Boscolungo, infatti, in tutte le stazioni si registrano forti variazioni climatiche in senso umido e in senso arido. Nelle due stazioni menzionate invece il tipo di clima rimane costante, con trascurabili variazioni nella composizione della formula climatica.

*I gradienti altimetrici dell'ETP e dell'Im* - L'evapotraspirazione potenziale, dipendendo essenzialmente dalla temperatura dell'aria, diminuisce linearmente con l'altitudine. Nei due versanti la diminuzione media annua riscontrata è molto simile, poiché, come si può osservare dalla figura 9, è di 18 mm/100 m nel versante tirrenico e di 20 mm/100 m in quello adriatico (Tab. 14).

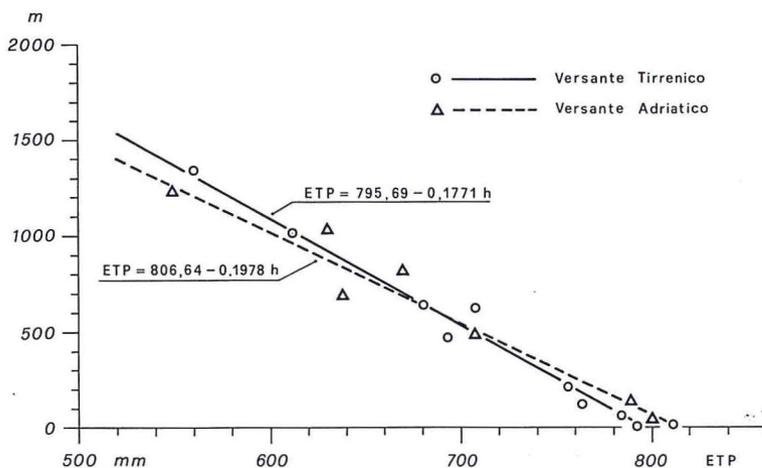


Fig. 9 - Rappresentazione grafica della correlazione lineare tra l'evapotraspirazione potenziale (ETP) media annua e l'altitudine nei due versanti dell'Appennino (1961-1980).

Anche l'Im presenta un gradiente altimetrico, poiché esso aumenta alquanto regolarmente con l'altitudine. Come accade per le precipitazioni, si è riscontrato che l'aumento non è uniforme su tut-

TAB. 14 - Equazioni delle rette di regressione dell'ETP e dell'Im annui con l'altitudine. Tra parentesi è indicato il coefficiente di correlazione lineare.

	Versante tirrenico	Versante adriatico
ETP	$795,7 - 0,1771 h (-0,99)$	$806,6 - 0,1978 h (-0,97)$
Im pedemontano	$20,7 + 0,5039 h (+0,90)$	$-2,2 + 0,0633 h (+0,95)$
Im montano	$61,6 + 0,2135 h (+0,94)$	$-151,5 + 0,2708 h (+0,98)$

to il versante, ma che è possibile individuare un tratto pedemontano ed uno montano aventi diverso gradiente. Anche in questo caso, come per le piogge, il tratto pedemontano del lato orientale ha un gradiente molto basso, mentre nei tratti montani i gradienti sono più elevati ed hanno all'incirca lo stesso valore (Fig. 10). Si

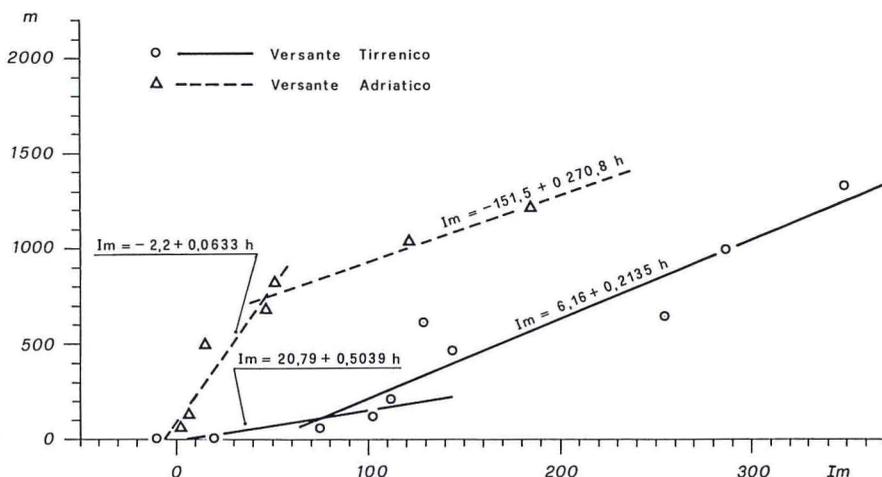


Fig. 10 - Rappresentazione grafica della correlazione lineare tra l'indice di umidità globale (Im) e l'altitudine nei due versanti dell'Appennino (1961-1980).

può affermare pertanto che la variazione dell'indice di umidità globale con l'altitudine è pressoché lineare, sia pure con diversi valori del gradiente nei due segmenti in cui si sono potuti suddividere i versanti.

La figura 11 mostra infine le quote alle quali avvengono i passaggi da un tipo di clima all'altro nei due lati appenninici. In particolare i tipi di clima *umido*, da B<sub>1</sub> a B<sub>4</sub>, sono presenti nel versante tirrenico a partire da altitudini modeste, mentre nel versante opposto

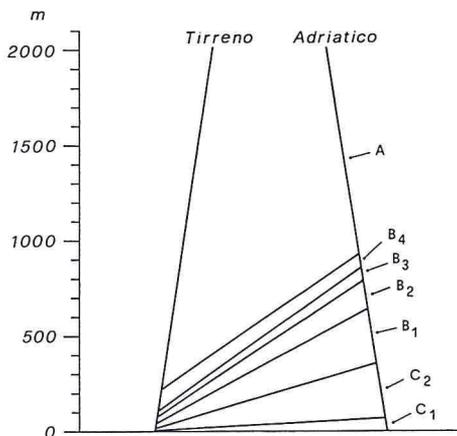


Fig. 11 - Livelli altimetrici dei tipi climatici nei due versanti dell'Appennino (1961-1980).

essi hanno inizio dai 350 m in poi; il tipo perumido compare rispettivamente a 220 m e a 930 m di altitudine. Si tratta, come si può osservare, di dislivelli molto forti che comportano, a parità di quota, la presenza di tipi di clima diversi, cui fanno riscontro, tra i due lati dell'Appennino, le note differenze idrologiche e vegetazionali.

## CONCLUSIONI

Con questo lavoro si è voluto studiare l'andamento spaziale ed altitudinale delle temperature, delle piogge e degli elementi del bilancio idrico di Thornthwaite per individuare le più importanti differenze climatiche esistenti tra i due versanti dell'Appennino, relativamente alla sezione scelta.

In altre ricerche è stato messo in evidenza (GENTILLI, 1959; DOUGUEDROIT e SAINTIGNON, 1970; SAINTIGNON, 1976) il ruolo svolto dalla morfologia e dall'esposizione sulla distribuzione della temperatura dell'aria nell'ambiente di montagna. Nel nostro caso, eccetto due stazioni chiaramente anomale (S. Marcello P. e Pavullo), possiamo affermare che, almeno per le temperature medie annue, esiste una graduale e costante diminuzione della temperatura con l'altitudine.

Nel versante adriatico il regime del gradiente presenta una forte variabilità che potrebbe essere messa in relazione al fatto che nei mesi più freddi la Pianura padana è soggetta a ristagni di masse di aria fredda di rilevante spessore. Per questo motivo, fino ad un'al-

titudine di circa 800-1000 m, si verifica un'inversione termica relativa che riduce il gradiente di gennaio, il quale risulta perciò di modesta entità ( $0,32^{\circ}/100$  m), nei mesi estivi invece il gradiente assume valori molto elevati (tra  $0,68^{\circ}$  e  $0,62^{\circ}/100$  m). Più omogeneo risulta il regime del gradiente altimetrico della temperatura nel versante tirrenico, in cui i valori mensili estremi oscillano da  $0,51^{\circ}$  a dicembre a  $0,65^{\circ}/100$  m ad aprile.

Per le piogge, come appare anche in precedenti ricerche (RYDEN, 1972; DOUGUEDROIT e SAINTIGNON, 1984), si è potuto confermare che esse aumentano linearmente con l'altitudine, senza tuttavia poter accertare a quale quota si manifesti l'optimum pluviometrico. Il principale problema rimane però l'interpretazione della marcata asimmetria della quantità delle precipitazioni tra i due versanti dell'Appennino. Una possibile spiegazione del fenomeno sta nel fatto che nel lato occidentale del rilievo le precipitazioni frontali si sommano a quelle dovute all'effetto orografico, mentre il lato orientale è interessato prevalentemente da piogge frontali. Ciò si può mettere in relazione, come s'è già detto, al fatto che il verso dominante del moto delle masse d'aria che interessano l'Appennino settentrionale è da occidente ad oriente. Al M. Cimone la scarsità delle precipitazioni che vi si registrano può essere dovuta in parte alla violenza dei venti che provoca sensibili errori di misura, di entità superiore a quella delle stazioni di valle e di pendio, e in parte al fatto che tale rilievo non determina un apprezzabile effetto barriera, trattandosi di un picco isolato<sup>(4)</sup>.

Del resto il ruolo svolto dalla morfologia e dall'esposizione sull'andamento delle precipitazioni è stato ampiamente trattato dai geografi di molti paesi. Anche in Italia il problema non è stato trascurato; ricordiamo a questo proposito i lavori di ORTOLANI (1937), TREVISAN (1949), PINNA (1977) e CAVAZZA (1985). Trevisan, ad esempio, afferma che la quantità di pioggia non dipende dall'altitudine della stazione, ma anche dall'altitudine e pendenza dei rilievi circostanti e dalla distanza di essi dalla stazione stessa. In effetti il fortissimo gradiente altimetrico annuo delle precipitazioni registrato tra Livorno e Bagni di Lucca ( $628,2$  mm/100 m) deriva essenzialmente dalle abbondanti piogge che si verificano in quest'ultima località a causa

---

(4) Non riteniamo di dover elencare in questa sede i numerosi scritti che si riferiscono alle obiettive difficoltà di ottenere dati veramente attendibili sulle precipitazioni nelle parti più alte dei rilievi. Ricordiamo almeno i contributi del Simposio di Geilo (W.M.O., 1972) e lo studio di GIADA e ZANON (1985).

dell'effetto orografico determinato dai primi contrafforti dell'Appennino.

Ponendo in relazione la quantità delle precipitazioni con il gradiente altimetrico, risulta che questo si accresce con l'aumentare delle piogge mensili ed annue, sia pure in misura diversa nei due versanti. Nella tabella 10, come si è visto, viene illustrata la relazione esistente tra il gradiente e le precipitazioni annue nei casi estremi di piovosità; si può osservare che il gradiente è maggiore negli anni più piovosi e minore in quelli meno piovosi e inoltre che il rapporto tra i gradienti dell'anno più umido e di quello più arido è maggiore nel versante tirrenico. In sostanza, i risultati del nostro studio confermano la difficoltà di individuare una metodologia generale per l'estrapolazione delle piogge in montagna, a causa dell'influenza della morfologia e dell'esposizione. Tuttavia si è potuto constatare che, ad eccezione del tratto pedemontano adriatico, le precipitazioni variano linearmente con l'altitudine, sia pure con diversi valori del gradiente nei due settori in cui sono stati suddivisi i versanti.

Per quanto riguarda infine l'applicazione del metodo di Thornthwaite, l'esito della ricerca conferma che esso consente di ottenere un elevato grado di definizione delle varietà climatiche presenti nel territorio, anche in ambiti spaziali relativamente ristretti o, come nel nostro caso, lungo un profilo altitudinale che presenta un dislivello di oltre 2000 m. L'applicazione di questo metodo ci ha permesso di comporre in modo sintetico i dati delle temperature e delle piogge, dando così veste quantitativa alla già nota differenza climatica tra il versante tirrenico e quello adriatico, facendo risaltare in modo particolare il carattere più continentale e più arido del lato orientale dell'Appennino.

#### BIBLIOGRAFIA

- AFFRONTI F. (1982) - Aspetti di climatologia appenninica per la valorizzazione del territorio nella regione emiliana. In: ZANELLA G., *Atti del Primo Convegno di Meteorologia Appenninica*, Reggio Emilia, 1982, 197-219.
- BALMELLI E. (1963) - Le condizioni termiche di una stazione di pendio e di una di pianura, situate al margine meridionale della catena alpina. *Geofis. e Meteor.*, **12**, 69-78.
- CAVAZZA S. (1985) - Sui moderni criteri di calcolo dell'afflusso meteorico. In: PINNA M., *Contributi di climatologia. Mem. Soc. Geogr. It.*, **39**, 239-277.
- CONRAD V., POLLAK L.W. (1962) - *Methods in Climatology, including some Methods in General Geophysics*. Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press.

- DOUGUEDROIT A., SAINTIGNON (de) M.F. (1970) - Méthode d'étude de la décroissance des températures en montagne de latitude moyenne: exemple des Alpes françaises du Sud. *Rev. de Géogr. Alpine*, **58**, 453-472.
- DOUGUEDROIT A., SAINTIGNON (de) M.F. (1981) - Décroissance des températures mensuelles et annuelles avec l'altitude dans les Alpes du Sud et en Provence. *Eaux et Climat*, CNRS, Grenoble, 179-194.
- DOUGUEDROIT A., SAINTIGNON (de) M.F. (1984) - Les gradients de températures et de précipitations en montagne. *Rev. de Géogr. Alpine*, **72**, 225-240.
- FEDERICI P.R., MAZZANTI R. (1988) - L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno inferiore. *Boll. Soc. Geogr. It.*, Ser. XI, vol. V, 573-615.
- FROSINI P. (1961) - La carta della precipitazione media annua per il trentennio 1921-1950. In: MIN. LL. PP. - SERVIZIO IDROGRAFICO, **21** (13), Poligrafico dello Stato, Roma.
- GAZZOLA A. (1982) - Le situazioni meteorologiche determinanti la distribuzione della temperatura e delle precipitazioni in Italia: il loro significato per l'Appennino. In: ZANELLA G., *Atti del primo Convegno di Meteorologia Appenninica*, Reggio Emilia, 95-117.
- GENTILLI J. (1959) - Le temperature montane in Toscana. *Riv. Geogr. It.*, **66**, 309-321.
- GIADA M., ZANON G. (1985) - Sulla misura e sul comportamento delle precipitazioni ad alta quota. In: PINNA M., *Contributi di climatologia. Mem. Soc. Geogr. It.*, **39**, 129-146.
- ISTAT (1962-1981) - *Annuario di Statistiche Meteorologiche*. Poligrafico dello Stato, Roma.
- MIN. LL. PP., SERVIZIO IDROGRAFICO (1961-1980) - *Annali Idrologici*. Parte prima. Poligrafico dello Stato, Roma.
- MORI A. (1964) - *Carta delle precipitazioni medie annue in Italia (trentennio 1921-1950)*, Roma, C.N.R.
- MORI A. (1969) - *Carta dei regimi pluviometrici d'Italia (trentennio 1921-1950)*. Roma, C.N.R.
- ORTOLANI M. (1937) - Sulle variazioni della piovosità con l'altezza. *Boll. R. Soc. Geogr. It.*, **74**, Ser. 7, vol. 2, 270-304.
- PICONE E.G., GRAMIGNANI M. (1966) - Sull'analisi «doppia cumulata» per precipitazioni annue. *L'Energia elettrica*, **43**, 521-530.
- PINNA M. (1969) - La distribuzione della temperatura in Italia nel trentennio 1926-1955. In: MIN. LL. PP., SERVIZIO IDROGRAFICO, *Pubbl. n. 21, Fasc. IV*, Roma, 39-112.
- PINNA M. (1977) - *Climatologia*. UTET, Torino, p. 442.
- PINNA M., VITTORINI S. (1985) - Contributo alla determinazione dei regimi pluviometrici in Italia. In: PINNA M., *Contributi di climatologia. Mem. Soc. Geogr. It.*, **39**, 147-168.
- RAPETTI C., RAPETTI F., VITTORINI S. (1988) - Differenze termiche tra i versanti tirrenico e adriatico nell'Appennino settentrionale lungo l'allineamento Livorno-Modena. *Atti XX Congr. Intern. di Meteor. Alpina*, Sestola, 18-25 sett. 1988, in corso di stampa.
- RAPETTI F., VITTORINI S. - Differenze pluviometriche tra i versanti tirrenico e adriatico lungo l'allineamento Livorno-M. Cimone-Modena. *Geogr. Fis. Din. Quatern.*, in corso di stampa.

- RAPETTI F., VITTORINI S. - I tipi climatici secondo Thornthwaite nell'Appennino tosco-emiliano lungo l'allineamento Livorno-M. Cimone-Modena. *Riv. Geogr. It.*, in corso di stampa.
- RYDEN B.E. (1972) - On the problem of vertical distribution of precipitation, especially in areas with great height differences. In: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Distribution of precipitation in mountainous areas. *Geilo Symposium*, Norway, 31 July-5 August 1972, vol. 2, 362-372.
- SAINTIGNON (de) M.F. (1976) - Décroissance des températures en montagne de latitude moyenne: exemple des Alpes françaises du Nord. *Rev. de Géogr. Alpine*, **64**, 483-494.
- SCHNEIDER-CARIUS K. (1950) - Lo strato base dell'atmosfera come determinante il clima delle Alpi. *Geofis. Pura e Appl.*, **17**, 94-103.
- TOMASINO M. (1971) - Il metodo degli scarti cumulati per la verifica dell'omogeneità di dati idrometeorici. *L'Acqua*, **52**, 63-67.
- THORNTWHAITE C.W. (1948) - An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, **38**, 55-94.
- THORNTWHAITE C.W., MATHER J.R. (1957) - Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Public. in Climat.*, **10**, 185-311.
- TREVISAN L. (1947) - Sui rapporti fra precipitazioni e rilievo nella regione apuana. *Atti XIV Congr. Geogr. It.*, Bologna, 8-12 aprile 1947, 340-342.
- VITTORINI S. (1969) - Ricerche sul clima del bacino dell'Ombrone grossetano. *Pubbl. dell'Ist. di Geogr. dell'Univ. di Pisa*, **16**, pp. 138.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1972) - Distribution of precipitation in mountainous areas. *Geilo Symposium*, Norway, 31 July-5 August 1972, vol. I, pp. 228, vol. II, pp. 587.

(ms. presentato il 25 settembre 1989; ult. bozze il 30 dicembre 1989)