

FRANCO RAPETTI - SEBASTIANO VITTORINI

LE VARIAZIONI DEL CLIMA DI FIRENZE DAL 1822 AL 1986

Premessa. — Da un censimento promosso nel 1961 dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale risultava che in Italia erano presenti trentuno stazioni con serie di dati ultraottantennali, delle quali nove con oltre un secolo di osservazioni e due con più di centocinquant'anni. Tra queste ultime si annovera l'Osservatorio Ximeniano di Firenze, che è uno dei più antichi, avendo iniziato le osservazioni meteorologiche dalla seconda metà del XVIII secolo, ad opera di Padre Leonardo Ximenes, «a completamento e sussidio degli studi astronomici nei quali allora l'Osservatorio eccellea»; invero solo dal 1813 tali osservazioni divennero sistematiche. In questa ricerca abbiamo dovuto tuttavia iniziare l'analisi dei dati dal 1822, poiché negli anni precedenti vi sono delle lacune che, secondo P. Alfani, già direttore dell'Osservatorio, dipendevano «non dalla mancanza delle osservazioni, ma dall'incertezza nell'interpretazione dei manoscritti».

L'Osservatorio Ximeniano fin dalla sua fondazione ha trovato sede presso l'edificio di San Giovannino, che è situato in pieno centro di Firenze (lat. 43°46'26"N, long. 11°15'18"E); gli strumenti meteorologici attualmente sono posti su una terrazza ad un'altezza di 27,53 m dal suolo e ad una quota di 74,41 m s.m.

Nel periodo considerato sono variate sia la frequenza giornaliera delle osservazioni sia le ore in cui esse venivano effettuate (1); inoltre

(1) Il numero giornaliero delle osservazioni meteorologiche nei vari periodi è stato il seguente:

1822-1826: mattina, mezzogiorno, sera
1827-1852: ore 7, 12, 23
1853-1856: ore 7, 9, 12, 15, 18, 21
1857-1872: ore 7, 12, 17, 22
1873-1878: ore 6, 9, 12, 15, 18, 21
1879-1941: ore 9, 15, 21
1941-1986: ore 8, 14, 19

nel 1948 l'antica gabbia meteorica è stata sostituita con una capannina più moderna. In seguito a quest'ultimo cambiamento P.C. Coppedè, nel 1956 ha proposto per le temperature medie annue, una correzione di $-0,66$ gradi centigradi per i dati anteriori al 1949. A proposito di questi problemi, P. Alfani ha rilevato che le osservazioni meteoriche, benché eseguite senza interruzione, sono state condotte da osservatori diversi e con metodi e strumenti via via trasformati, aggiungendo: «laonde non tutte e singole le osservazioni hanno lo stesso valore e meritano la stessa fiducia. Ma ben può ritenersi che, dato il lungo periodo, gli accidentali errori e deviazioni si compensino da sé medesime».

In questa sede, per la complessità e la delicatezza delle operazioni necessarie a normalizzare la serie storica dei dati e per gli inevitabili margini di incertezza che comunque rimarrebbero, abbiamo preferito utilizzare i dati forniti dalle pubblicazioni dell'Osservatorio (P.G. Alfani, 1920; Osservatorio Ximeniano di Firenze, 1972), senza apportare alcuna correzione. Pertanto i risultati del nostro studio vanno considerati con l'opportuna cautela che del resto è sempre necessaria nell'analisi di serie storiche molto lunghe. Perciò riteniamo che questa ricerca possa servire a dare un primo bilancio delle variazioni storiche del clima di Firenze e, nel contempo, ci auguriamo che essa possa essere di stimolo per ulteriori studi.

La temperatura dell'aria. — La temperatura media annua normale di Firenze è di $14^{\circ},9$ (2), un valore che si discosta anche di 1° rispetto alle medie decennali (tab. 1); osservando infatti il grafico della fig. 1 si può notare che la temperatura ha subito, nell'arco dei 165 anni di osservazione, sensibili variazioni sia da un anno all'altro sia da un periodo all'altro. Applicando i criteri della regressione lineare a particolari periodi della serie cronologica dei dati si deduce che le temperature medie annue presentano sensibili variazioni a medio periodo fin verso la fine del secolo scorso; dal 1822 al 1861 si ha un rapido incremento dei valori termici (1°) seguito da un decremento ancora più rapido nel trentennio successivo ($2^{\circ},1$). Questa flessione così accentuata si registra nello stesso periodo anche a Livorno, come mostra la fig. 2: tale coincidenza fa supporre che il fenomeno sia da attribuire ad una variazione termica almeno su scala regionale. Nei periodi successivi si nota un sostanziale livellamento dei valori annui della temperatura,

(2) Le temperature medie diurne sono state calcolate in base al numero delle osservazioni giornaliere che, come si è visto, è variato nel corso del periodo in esame: questa situazione si è protratta fino ai nostri giorni, nonostante che dal 1878 fossero disponibili anche le temperature massime e minime di ogni giorno. Le medie così calcolate tuttavia si discostano di poco da quelle ottenute con i massimi ed i minimi; infatti dal 1878 ad oggi la differenza tra le medie annue ottenute con i due metodi è di appena un decimo di grado.

TAB. I

TEMPERATURE MEDIE MENSILI ED ANNUE A FIRENZE (1822-1966)

DECENNI	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	ANNO
1822 - 1830	4°8	7°0	10°3	13°8	18°5	21°9	25°0	24°4	19°7	15°6	9°9	7°5	14°9
1831 - 1840	6°2	7°0	8°9	12°7	17°7	22°2	24°7	24°3	19°8	15°5	10°6	6°7	14°7
1841 - 1850	6°2	7°9	10°5	14°8	19°4	23°5	25°6	24°7	21°1	16°6	11°3	7°3	15°7
1851 - 1860	6°1	6°7	9°5	14°4	18°5	22°7	26°1	25°5	20°9	17°7	10°5	6°4	15°4
1861 - 1870	5°4	8°0	10°2	15°1	20°2	23°7	26°8	25°5	21°7	16°3	10°4	6°3	15°8
1871 - 1880	5°3	7°0	9°7	13°7	17°3	22°1	25°1	24°9	21°4	15°9	9°4	6°3	14°8
1881 - 1890	5°1	6°4	9°3	13°2	17°8	21°6	24°6	24°1	20°0	14°3	9°8	6°1	14°4
1891 - 1900	5°4	6°9	10°0	13°9	17°6	22°0	25°0	24°1	21°3	16°1	10°7	6°3	14°9
1901 - 1910	4°9	6°2	9°6	13°6	18°3	22°1	24°8	24°6	20°0	15°5	9°3	7°2	14°7
1911 - 1920	5°5	6°6	10°2	13°3	18°5	21°6	23°7	23°9	20°2	14°3	9°0	7°6	14°5
1921 - 1930	5°7	6°9	9°7	13°4	18°5	22°1	24°7	24°7	20°6	15°6	10°4	6°7	14°9
1931 - 1940	6°0	7°2	9°7	13°3	17°7	21°4	24°5	23°9	20°3	14°7	10°1	6°2	14°6
1941 - 1950	4°9	7°3	10°7	14°8	19°1	22°8	25°9	25°5	22°0	15°9	10°0	6°7	15°5
1951 - 1960	5°9	6°8	9°7	13°3	17°8	21°9	24°5	23°9	20°3	14°9	10°1	7°4	14°7
1961 - 1970	5°3	7°3	9°8	14°0	17°7	21°6	23°9	23°6	20°4	14°4	11°0	6°1	14°6
1971 - 1980	7°1	8°2	10°4	12°9	17°6	21°1	24°0	23°5	19°7	14°8	9°9	7°2	14°7
1981 - 1986	5°8	5°9	9°9	13°5	17°7	21°7	25°8	24°2	21°1	16°0	10°2	7°7	15°0
1822 - 1986	5°6	7°0	9°9	13°7	18°2	22°1	25°0	24°4	20°6	15°5	10°2	6°8	14°9

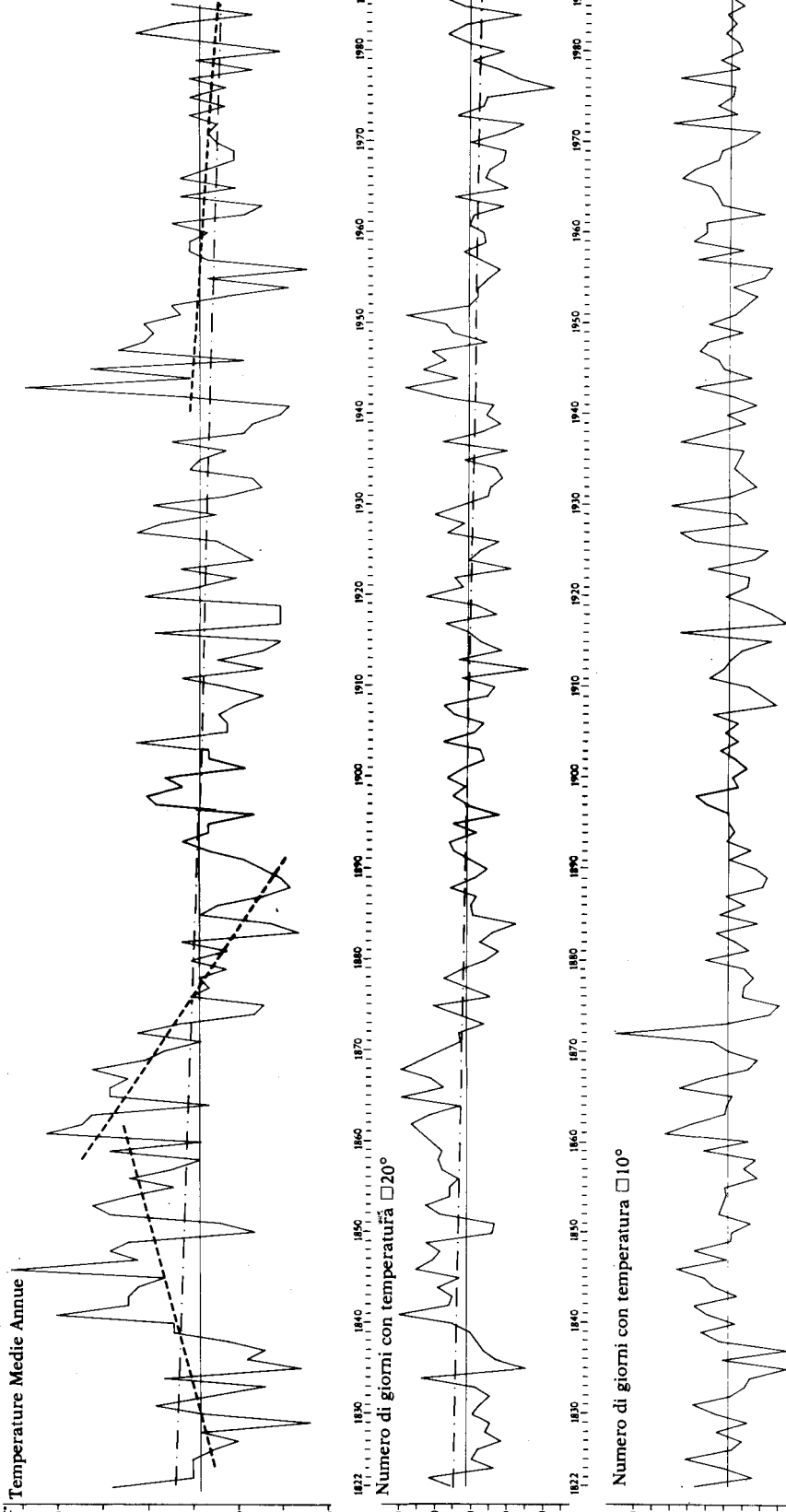


FIG. 1 — TEMPERATURE MEDIE ANNUE E NUMERO DEI GIORNI CON TEMPERATURA M

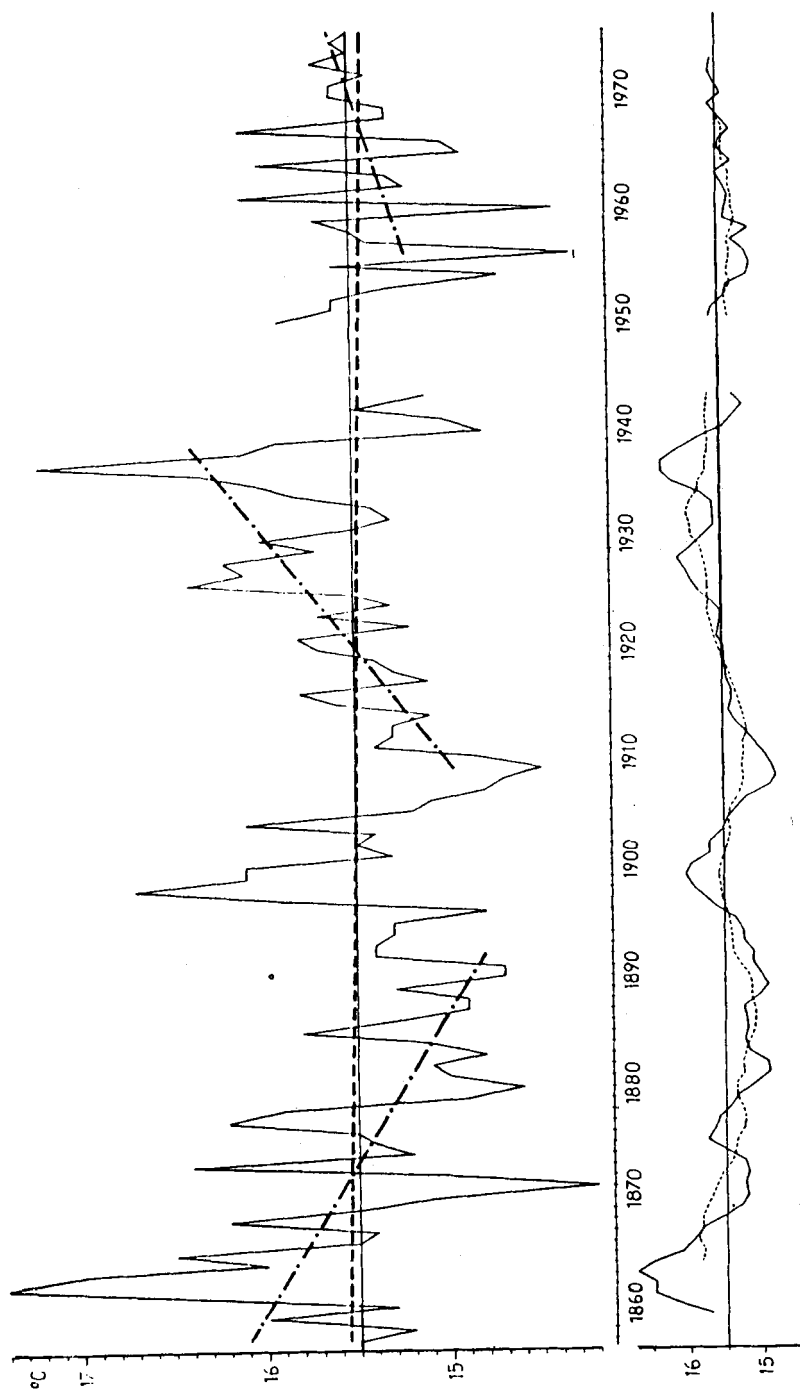


FIG. 2 — SERIE CRONOLOGICA DEI DATI TERMOMETRICI DI LIVORNO (1857-1976).

Le linee tratteggiate sono le rette di regressione; la linea continua indica la media normale. In basso, le medie mobili di 5 (linea intera) e 11 anni (linea tratteggiata).

perché dal 1891 al 1940 la variazione è appena di $-0^{\circ},24$ e dal 1940 al 1986 di $-0^{\circ},33$.

Considerando il periodo in esame nel suo insieme, la temperatura mostra una lieve tendenza alla diminuzione che, secondo la retta di regressione ($T = 17,7201 - 0,0031 A$, con $r = -0,23$), è di $-0^{\circ},51$, pari a tre decimi di grado per secolo. Analoga tendenza si ha nelle osservazioni condotte per centoventi anni (1857-1976) a Livorno, dove però si è calcolata una diminuzione di un decimo di grado per secolo.

Se l'andamento delle temperature medie annue è utile per descrivere la tendenza termica generale, quello delle medie estive ed invernali (fig. 3) è importante per individuare eventuali variazioni del regime termico. Ad una prima analisi i valori estivi mostrano complessivamente, nel periodo considerato, un decremento di $1^{\circ},1$; infatti secondo quanto si ricava dalla retta di regressione ($T_e = 30,0978 - 0,0069 A$, con $r = -0,31$), si passerebbe da $24^{\circ},4$ nel 1827 a $23^{\circ},3$ nel 1986. All'interno del periodo però si osservano variazioni pluriennali assai più rilevanti: dal 1822 al 1861 si ha un incremento calcolato di $1^{\circ},8$, dal 1961 al 1891 una flessione di ben $2^{\circ},7$, che continua, se pur attenuata, fino al 1940; seguono quindi un breve periodo con valori piuttosto elevati (1941-1952) ed infine un'ulteriore diminuzione della temperatura estiva. Al contrario, le temperature invernali hanno una lieve tendenza generale all'aumento che è di $0^{\circ},1$. Negli ultimi anni però (1929-1986) le medie invernali salgono in maniera più sensibile, con un incremento calcolato di 1° . In definitiva lo scarto fra le temperature estive e quelle invernali si riduce, dapprima in modo lieve e quindi, dagli anni '40 in poi, in maniera più rilevante. A conferma di questo andamento si rileva che dall'inizio delle osservazioni ai nostri giorni l'escursione annua calcolata è passata da $21^{\circ},2$ a $19^{\circ},7$, con una diminuzione di $1^{\circ},4$. Si avrebbe quindi una convergenza tra le medie estive e quelle invernali. Una ulteriore riprova di questa tendenza ci viene offerta dal calcolo della durata teorica del numero dei giorni di ciascun anno con temperatura media maggiore di 10° e 20° , secondo le note formule di Conrad e Pollak (1962). Abbiamo considerato i valori limite di 10° e di 20° perché ci sembrano significativi per indicare la durata del periodo freddo e di quello caldo. Il numero medio annuo dei giorni con temperatura superiore ai 10° è di 248, con inizio dal 16 marzo e termine il 18 novembre; quello relativo a 20° è di 113 giorni, con inizio il 20 maggio e termine il 19 settembre. La variabilità interannuale però è piuttosto elevata, poiché gli estremi della durata dei periodi con media superiore a 10° sono rispettivamente di 310 giorni (1872) e di 215 giorni (1837); per i valori superiori a 20° gli estremi sono 149 giorni (1841) e 66 giorni (1976). La fig. 1 mostra la diminuzione del numero dei giorni con temperatura maggiore di 20° e l'aumento di quelli con media maggiore di 10° . Perciò viene confermata la riduzione della durata del pe-

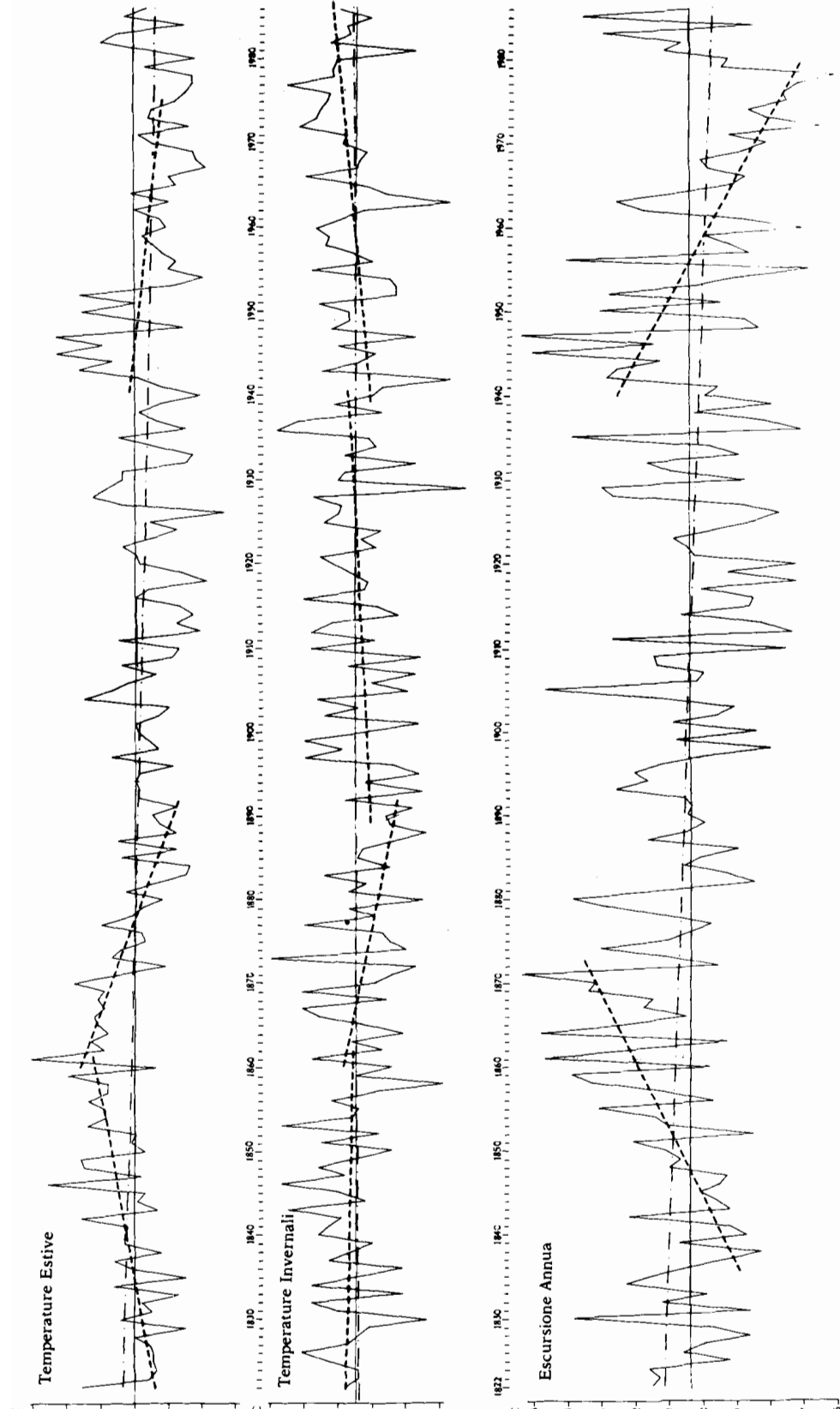


FIG. 3 — TEMPERATURE ESTIVE E INVERNALI ED ESCURSIONI ANNUA A FIRENZE (1822-1986).

riodo caldo e l'aumento di quella del periodo più temperato. In ultima analisi ciò fa pensare ad una tendenza, che si è accentuata negli ultimi decenni, verso una maggiore marittimità del clima termico di Firenze, com'è stato rilevato anche da altri autori (F. Pantani e G. Ciantelli, 1979; P. Nannini, 1983).

Le precipitazioni. — La media normale delle precipitazioni annue a Firenze è di 850 mm, ma la piovosità varia notevolmente da un anno all'altro; si sono avuti infatti estremi di 1323 mm nel 1910 e di 422 mm nel 1894. Lo scarto semplice medio percentuale annuo è del 15,2%, valore abbastanza frequente nell'Italia peninsulare (A.A. Bissanti, 1967). La variabilità interannuale risulta evidente anche dalla fig. 4, in cui è rappresentata la serie cronologica delle piogge. Eseguito la correlazione lineare per tutta la serie ($P = 987,6573 - 0,1517 A$, con $r = -0,04$), si constata che, nel complesso, le precipitazioni medie annue, dall'inizio ai nostri giorni, diminuiscono di 25 mm, corrispondenti a 15 mm al secolo. Nella serie cronologica si notano tuttavia periodi in cui si verificano deboli tendenze all'aumento o alla diminuzione delle piogge, come risulta anche dall'analisi eseguita con le medie mobili per gruppi di 30 anni. Le medie decennali, a loro volta, confermano questo andamento, poiché gli scarti semplici percentuali rispetto alla media normale sono bassi, oscillando tra il -7,9% del primo decennio e l'8,1% del decennio 1931-40 (tab. 3).

Poiché il massimo pluviometrico principale si verifica in autunno, quello secondario in primavera ed il minimo in estate, il regime medio delle precipitazioni è quello *sublitoraneo* (APIE) (3); tuttavia possiamo osservare una certa variabilità da un decennio all'altro (tab. 2): ad esempio, il periodo 1881-1890 è caratterizzato dal tipo *subalpino* (APEI). In quest'ultimo, com'è noto, il minimo pluviometrico principale cade in inverno, a differenza di quanto si riscontra in tutti gli altri decenni, nei quali esso cade in estate. Nelle medie decennali, pur prevalendo il tipo sublitoraneo, è frequente quello *submediterraneo* (AIPE) e in un caso (1951-1960), il tipo *mediterraneo* (IAPE). Il regime delle precipitazioni è ancor più variabile da un anno all'altro, poiché nella serie si possono individuare tutti i tipi presenti in Italia, da quello *continentale* (EAPI) a quello mediterraneo. Alcuni anni infine escono fuori da qualsiasi schema, come il 1886 in cui il massimo principale delle piogge cade in estate, quello secondario in inverno ed il minimo in primavera (EIAP), oppure il 1954 la cui successione è PEAI ed anche il 1955 con sequenza IAEP.

(3) La sigla APIE, come le altre di questo tipo, indica la successione delle stagioni in ordine decrescente di piovosità.

TAB. 2

REGIME DELLE PRECIPITAZIONI A FIRENZE (1822-1966)

DECENNI	PRIMAVERA mm	PRIMAVERA %	ESTATE mm	ESTATE %	AUTUNNO mm	AUTUNNO %	INVERNO mm	INVERNO %	TIPO DI REGIME
1822 - 1830	184,4	23,6	118,8	15,2	264,1	33,8	214,3	27,4	Submediterraneo
1831 - 1840	245,2	29,2	128,1	15,2	276,0	32,8	191,4	22,8	Sublitoraneo
1841 - 1850	221,0	25,2	158,1	18,1	322,5	36,8	173,6	19,8	»
1851 - 1860	254,1 •	27,7	114,6	12,5	323,8	35,3	225,8	24,6	»
1861 - 1870	197,3	22,5	149,4	17,0	298,4	34,0	233,2	26,5	Submediterraneo
1871 - 1880	211,6	24,7	150,3	17,5	289,4	33,7	206,7	24,1	Sublitoraneo
1881 - 1890	223,6	27,8	169,2	21,1	270,8	33,7	139,9	17,4	Subalpino
1891 - 1900	267,6	30,3	144,3	16,4	280,2	31,8	189,5	21,5	Sublitoraneo
1901 - 1910	216,1	24,0	178,6	19,8	301,8	33,5	205,2	22,8	»
1911 - 1920	242,1	27,3	156,3	17,6	273,7	30,9	214,0	24,1	»
1921 - 1930	216,5	27,2	111,8	14,1	269,3	33,8	198,0	24,9	»
1931 - 1940	223,0	24,3	133,1	14,5	329,3	35,8	233,6	25,4	Submediterraneo
1941 - 1950	170,8	21,2	110,7	13,7	298,7	37,0	226,3	28,1	»
1951 - 1960	185,6	23,2	109,7	13,7	247,4	30,9	257,1	32,1	Mediterraneo
1961 - 1970	195,2	23,4	151,9	18,2	268,3	32,1	219,9	26,3	Submediterraneo
1971 - 1980	226,2	27,9	167,3	20,6	241,3	29,7	186,7	23,0	Sublitoraneo
1981 - 1986	217,5	25,4	161,9	18,9	253,8	29,6	223,6	26,1	Submediterraneo
1822 - 1986	217,0	25,5	142,0	16,7	282,9	33,3	208,1	24,5	Sublitoraneo

L'evapotraspirazione potenziale e il bilancio idrico secondo Thornthwaite. — L'evapotraspirazione, com'è noto, rappresenta la restituzione dell'acqua all'atmosfera in condizioni naturali; è dunque in altri termini la vaporizzazione dell'acqua a partire dalla superficie terrestre, suolo e vegetazione in primo luogo. La stessa natura del termine «evapotraspirazione» ha il vantaggio di mostrare che intervengono due processi distinti:

— l'evaporazione (E) propriamente detta, cioè quella fisica, qualunque sia la superficie evaporante;

— la traspirazione vegetale (T), talora chiamata evaporazione fisiologica.

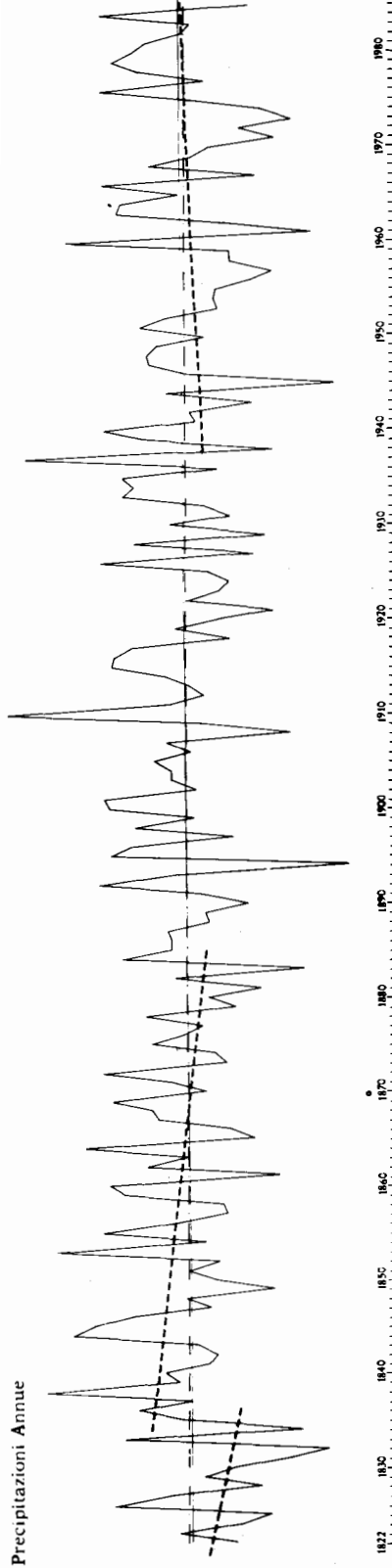
Ora, malgrado i progressi recentemente acquisiti nella conoscenza della traspirazione vegetale, è sorta la necessità di esprimere questo parametro unicamente in termini di energia. Ciò che viene definito allora non è altro che *l'evapotraspirazione potenziale* (ETP). Considerata da un punto di vista fisico, questa rappresenta dunque il potere evaporante dell'atmosfera applicato ad una superficie che non offra alcuna resistenza al passaggio dell'acqua. Spetta all'americano C.W. Thornthwaite il merito di aver proposto una teoria coerente di questo fenomeno secondo cui esso, dipendendo dalla sola disponibilità di energia, assume un valore che è funzione delle condizioni atmosferiche. Non intervenendo più la natura del complesso suolo-pianta, diviene possibile calcolare l'ETP a partire dai soli dati climatici (temperatura e precipitazioni), vantaggio incontestabile del metodo di Thornthwaite (4).

Fatte queste premesse ed osservando l'andamento dei valori annui dell'evapotraspirazione potenziale (fig. 4), si può notare un certo parallelismo con l'andamento delle temperature medie annue. Ciò si spiega con il fatto che i parametri introdotti da Thornthwaite per il calcolo dell'ETP, nella serie storica di una stessa stazione, rimangono invariati (latitudine e durata media mensile del dì), mentre variano le temperature medie mensili di ogni anno.

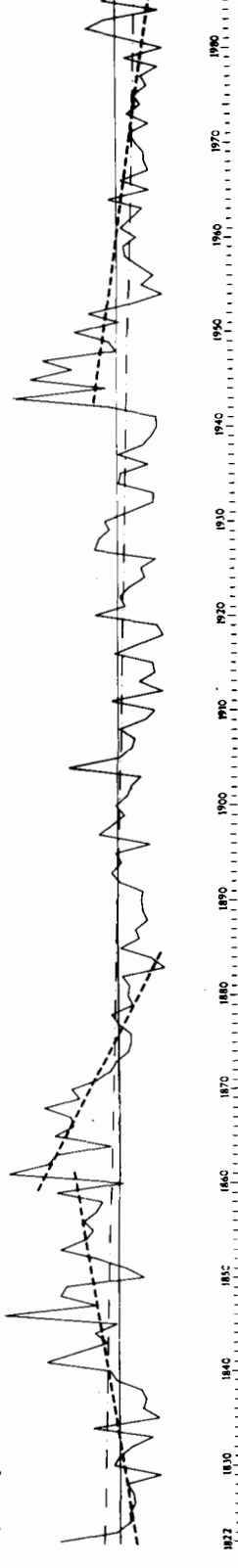
La media normale dell'ETP di Firenze è di 829 mm, con uno scarto semplice medio percentuale del 3,2%, praticamente identico a quello della temperatura dell'aria. Applicando anche in questo caso i criteri della regressione lineare (la retta di regressione è: $ETP = 1015,4529 - 0,2064 A$, con $r = -0,28$), si osserva che l'ETP, per tutto il periodo, ha avuto una diminuzione calcolata di 33,8 mm, pari al 4,1%

(4) A differenza di quanto da noi fatto finora il bilancio idrico di ciascun anno, relativamente a questa serie storica, è collegato a quello dell'anno precedente; in particolare i valori della riserva idrica del suolo di gennaio sono ricavati dal valore della riserva del dicembre dell'anno precedente. Ne consegue un computo più realistico del bilancio idrico, in quanto l'umidità del suolo di gennaio viene effettivamente ereditata da quella del mese precedente. Di conseguenza, rispetto al metodo classico, i valori di tutti i parametri del bilancio idrico risultano sensibilmente diversi.

Precipitazioni Annu



Evapotraspirazione Potenziale



Indice di Umidità Globale

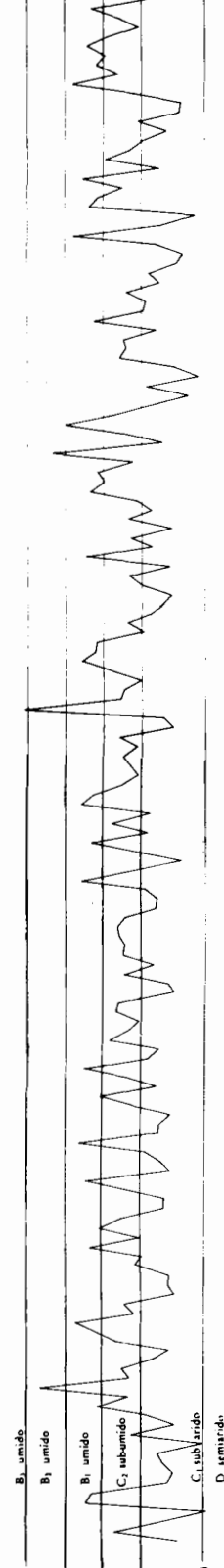


FIG. 4 — PRECIPITAZIONI ANNUE, EVAPOTRASPIRAZIONE POTENZIALE E INDICE DI UMIDITÀ GLOBALE A FIRENZE (1822-1986).

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	Anno
1911-1920													
ETP	10	13	33	55	99	128	149	140	93	52	21	15	808
P	83	53	88	66	88	69	40	47	85	96	93	79	887
ST	300	300	300	300	289	237	164	120	117	161	233	297	
AE	10	13	33	55	99	121	113	91	88	52	21	15	711
D						7	36						97
S	70	40	55	11				49	5				176
Im = 9,8	CEET = 51,6 C2 B'2 r b'3												
1921-1930													
ETP	10	13	28	54	96	131	158	146	94	57	26	12	825
P	59	66	70	77	70	44	27	41	62	100	106	73	795
ST	300	300	300	300	275	205	132	93	83	126	206	267	
AE	10	13	28	54	95	114	100	80	72	57	26	12	661
D					1	17	58	66	22				164
S	16	53	42	23									134
Im = -3,6	CEET = 52,7 C1 B'2 s b'3												
1931-1940													
ETP	12	15	30	55	92	126	157	139	94	54	25	11	810
P	71	59	74	60	89	67	24	42	94	139	97	104	920
ST	300	300	300	300	297	244	156	112	112	197	269	300	
AE	12	15	30	55	92	120	112	86	94	54	25	11	706
D						6	45	53					104
S	59	44	44	5								62	214
Im = 13,6	CEET = 52,1 C2 B'2 r b'3												
1941-1950													
ETP	7	13	32	60	98	138	170	153	105	55	22	10	863
P	76	74	50	61	60	58	21	32	68	110	121	76	807
ST	300	300	300	300	264	202	122	81	72	127	226	292	
AE	7	13	32	60	96	120	101	73	77	55	22	10	666
D					2	18	69	80	28				197
S	61	61	18	1									141
Im = -6,5	CEET = 53,4 C1 B'3 s b'3												
1951-1960													
ETP	11	14	29	55	93	130	157	139	93	55	25	14	815
P	73	89	62	66	57	38	36	35	77	92	78	96	799
ST	300	300	300	300	266	195	130	92	87	124	177	259	
AE	11	14	29	55	91	109	101	73	82	55	25	14	659
D					2	21	56	66	11				156
S	21	75	33	11									140
Im = -2,0	CEET = 52,3 C1 B'2 s b'3												
1961-1970													
ETP	10	15	30	59	92	127	150	136	93	59	29	11	811
P	72	74	69	57	70	59	33	60	73	66	129	74	836
ST	300	300	300	298	277	220	149	115	108	115	215	278	
AE	10	15	30	59	91	116	104	94	80	59	29	11	698
D					1	11	46	42	13				113
S	40	59	39										138
Im = 3,1	CEET = 50,9 C2 B'2 r b'4												
1971-1980													
ETP	14	18	34	52	91	123	153	137	89	54	24	14	803
P	61	57	72	77	67	52	41	74	69	75	97	69	811
ST	300	300	300	300	277	218	150	121	113	134	207	262	
AE	14	18	34	52	90	111	109	103	77	54	24	14	700
D					1	12	44	34	12				103
S	9	39	38	25									111
Im = 1,0	CEET = 51,4 C2 B'2 r b'4												
1981-1986													
ETP	10	10	29	55	91	127	169	142	99	58	24	15	829
P	62	62	86	58	74	54	36	71	87	80	87	100	857
ST	300	300	300	300	283	222	142	112	107	129	192	277	
AE	10	10	29	55	91	115	116	101	92	58	24	15	716
D						12	53	41	7				113
S	29	52	57	3									141
Im = 3,4	CEET = 52,8 C2 B'2 r b'3												
1822-1986													
ETP	10	14	29	56	95	132	161	144	95	57	24	12	829
P	64	63	72	70	75	57	36	50	83	98	102	81	851
ST	300	300	300	300	280	218	143	104	100	141	219	288	
AE	10	14	29	56	95	119	111	89	87	57	24	12	703
D						13	50	55	8				126
S	42	49	43	14									148
Im = 2,7	CEET = 52,7 C2 B'2 r b'3												

ETP = evapotraspirazione potenziale; P = precipitazioni; ST = riserva idrica del suolo; AE evapotraspirazione reale; D = deficit idrico; S = eccedenza idrica; Im = indice dell'umidità globale (miusture index); CEET = concentrazione estiva dell'ETP; l'insieme delle lettere e dei numeri rappresenta la formula climatica (valori mm)

rispetto alla media normale e ad una flessione di 20 mm per secolo. In realtà questa diminuzione non è stata progressiva poiché, ad esempio, dal 1822 al 1861 è stato registrato un aumento medio di 63 mm e dal 1861 al 1883 una diminuzione di ben 114 mm. Dal 1883 al 1943 si è avuta invece una variazione positiva molto lieve, ma dal 1943 ad oggi l'ETP è diminuita di 59 mm, pari a 1,3 mm per anno. Esaminando la tab. 3, che riporta le medie decennali dell'ETP, possiamo riscontrare, analogamente a quanto appena osservato, un aumento dei valori medi fino al decennio 1861-70, in cui si hanno 882 mm, che rappresentano il massimo assoluto decennale. Si constata poi una diminuzione sensibile fino al periodo 1911-20; successivamente si ha una nuova tendenza all'aumento dei valori, i quali culminano negli anni 1941-50 con 863 mm. A questo valore però segue una forte flessione, tanto che negli anni 1971-80 si registra il minimo assoluto (803 mm).

Il regime dell'ETP presenta il massimo principale in estate e quello secondario in primavera. Risulta pertanto che i valori primaverili sono superiori a quelli autunnali, all'opposto di ciò che accade per la temperatura dell'aria; ciò è dovuto ovviamente al diverso numero di ore di soleggiamento tra le due stagioni. In primavera infatti essa è maggiore che in autunno, fatto questo esaltato dal fattore K di Thornthwaite, che rappresenta appunto la durata media mensile del dì.

L'indice di umidità globale, il principale parametro per la definizione dei climi secondo Thornthwaite, presenta un valore medio di 2,7, ma la sua variabilità interannuale è molto forte. Il massimo infatti si verifica nel 1910, con il valore di 60,5 ed il minimo nel 1825, con -34,0. La regressione lineare ($Im = -7,5806 + 0,0125$, con $r = 0,03$) indica una leggera tendenza all'aumento, anche se all'interno del periodo si hanno delle modeste oscillazioni pluriennali. Si può segnalare tuttavia che dal 1894 al 1915 l'Im è aumentato di 14 punti, nel periodo 1915-1945 è diminuito di 8,2, ma successivamente, fino ai nostri giorni, è aumentato di 15,6.

Nella tab. 3 si notano, anche per le medie dell'Im, deboli variazioni; il decennio più arido è il 1822-1830 con -5,1, quello più umido è il 1931-1940 con 13,6, seguito però da venti anni con Im negativo. Successivamente si è sempre registrato un indice positivo. Nelle medie decennali perciò i tipi di clima che risultano dal valore dell'Im sono soltanto due: il *subarido* (C1) e il *subumido* (C2). Tra i due prevale di gran lunga il secondo, che si mantiene costante anche per tre decenni consecutivi; il tipo climatico medio del periodo è di conseguenza quello subumido. Tuttavia dai valori interannuali dell'Im, che come si è detto hanno una variabilità molto accentuata, derivano altri tipi climatici; ad esempio nel 1825 (anno di massima aridità) si ha il tipo *semiarido* (D) e nel 1910 (anno di massima umidità) quello *umido* (B3) (fig. 5). Il bi-

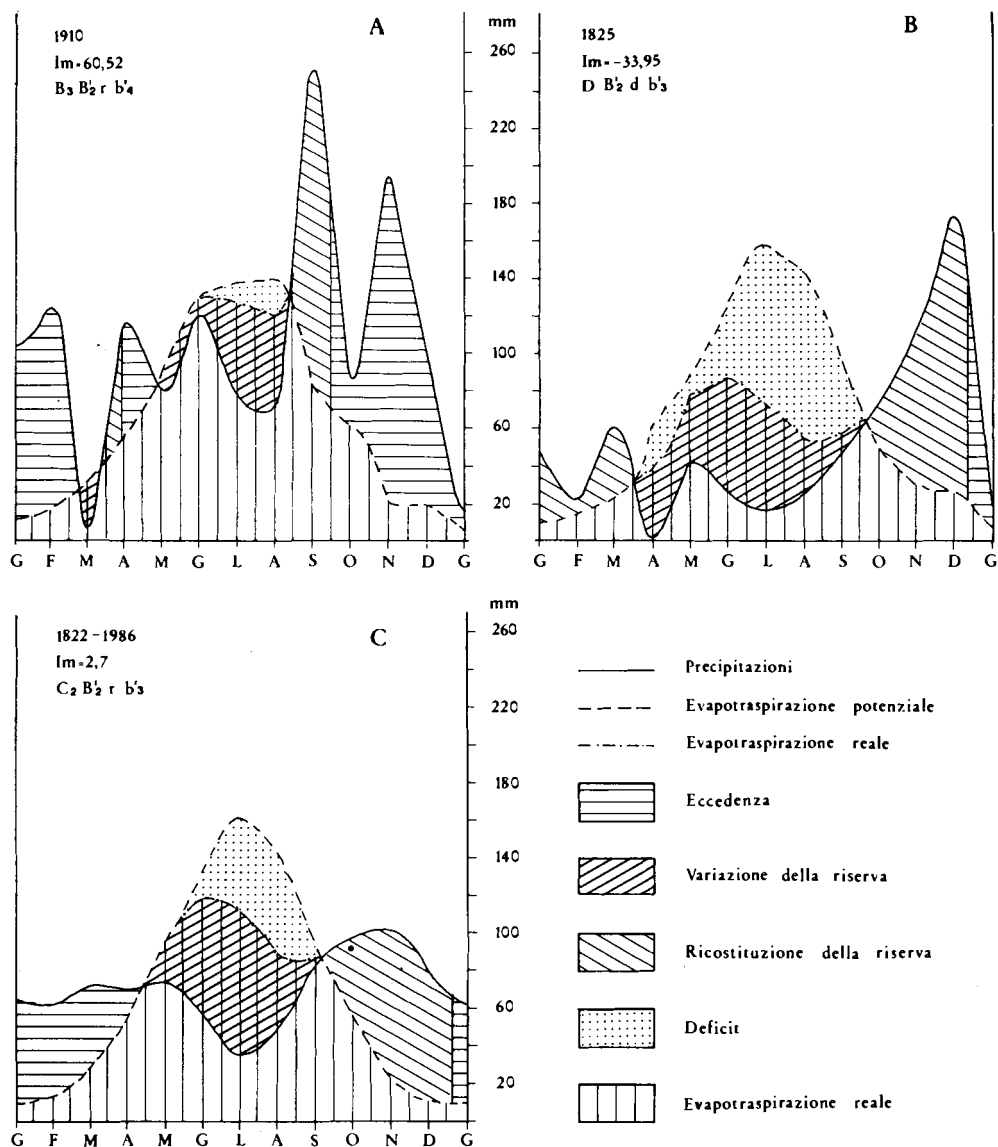


FIG. 5 — BILANCIO IDROLOGICO (SECONDO THORNTHWAITTE) RELATIVO AGLI ANNI CRITICI (A e B) E A TUTTO IL PERIODO CONSIDERATO (C).

lancio idrico del 1825 è caratterizzato da un forte deficit, che va da aprile ad ottobre e da una modestissima eccedenza (8 mm) a dicembre; quello relativo al 1910 mostra invece un piccolissimo deficit limitato al periodo giugno-agosto ed un'eccedenza che comprende i mesi da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre. Il bilancio idrico di tutto il periodo mostra un'eccedenza limitata ai mesi da gennaio ad aprile ed un deficit moderato da giugno a settembre, mentre la ricostituzione della riserva idrica del suolo si verifica fra ottobre e i primi giorni di gennaio (fig. 5).

Conclusioni. — Nel tentativo di fare una sintesi delle variazioni degli elementi del clima di Firenze dagli inizi del secolo scorso ad oggi si rileva che esiste non solo una loro forte variabilità interannuale, ma che si manifesta anche la presenza di periodi caldi e di periodi freddi, di periodi aridi e di periodi umidi. Ciò nonostante, per quanto riguarda la temperatura, si è potuto riscontrare una tendenza generale alla diminuzione. I fatti più rilevanti da noi constatati sono la flessione delle temperature estive, l'aumento di quelle invernali e la conseguente riduzione dei valori dell'escursione annua, che denota una tendenza ad una maggiore marittimità del clima. Secondo A. Giacobbe (1961), invece, in Italia si sarebbe avuto un aumento delle temperature massime e una diminuzione di quelle minime, con conseguente incremento dell'escursione termica e quindi una tendenza ad una maggiore continentalità del clima. Tuttavia l'autore, per giungere a tali conclusioni, ha confrontato solamente i periodi 1892-1906 e 1936-1955. D'altro canto, M. Pinna, in una sintesi sulle variazioni storiche del clima, fa presente che nell'Europa settentrionale si è avuta una tendenza all'aumento delle temperature medie tra la fine del secolo scorso e la prima metà del nostro, precisando però che ciò è derivato principalmente dall'incremento di quelle invernali, mentre le medie estive hanno segnato un aumento appena sensibile. Ne è derivata ovviamente una diminuzione dell'escursione termica annua e quindi un'accentuazione delle caratteristiche marittime del clima. Inoltre, secondo W.O. Roberts e H. Lansford, in tutto l'emisfero settentrionale l'aumento della temperatura si è protratto fino al 1940 per poi subire una brusca diminuzione.

Per Firenze abbiamo già notato la tendenza alla diminuzione della temperatura dopo il 1943 (fig. 1): precisamente si è calcolato che dal 1943 al 1986 si è verificata una diminuzione di $0^{\circ},62$. Tuttavia l'analisi condotta con le medie mobili ha messo in evidenza negli ultimissimi anni un'inversione di tendenza, con una sensibile ripresa dei valori termici. Questa evoluzione è confermata dalle temperature di Prato (stazione molto vicina a Firenze) e di Pisa per il periodo che va dal 1926 al 1986 (fig. 6) e, come s'è già visto, anche da quelle verificatesi a Livorno (fig. 2).

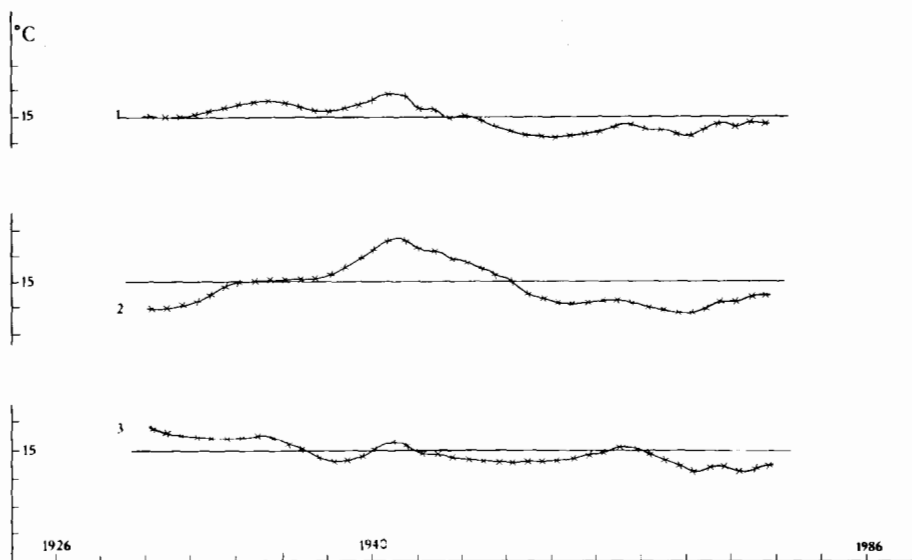


FIG. 6 — MEDIE KMOBILI DELLE TEMPERATURE MEDIE ANNUE PER IL PERIODO 1926-1986
1, Firenze; 2, Prato; 3, Pisa.

Bisogna però usare grande cautela nel generalizzare i risultati di poche stazioni, non tanto per la scarsa attendibilità dei dati e dei metodi adoperati, quanto per motivi legati a cause ambientali, strettamente collegati con lo sviluppo delle città. A tale proposito ci interessano le ricerche che sono state condotte per studiare il clima urbano di Firenze. Secondo F. Pantani e G. Ciantelli (1979), si sarebbe avuta dal 1950 una diminuzione della temperatura media e dell'escursione; inoltre, dal confronto con la stazione dell'aeroporto fiorentino di Peretola, le temperature medie minime annue di Firenze risultano più elevate di $1^{\circ},32$ rispetto a quelle dell'aeroporto, mentre quelle massime sono minori di $0^{\circ},69$. Ad analoghe conclusioni è giunto P. Nannini (1983), il quale afferma che dal 1952 al 1981 si è verificato allo Ximignano un progressivo decremento delle temperature massime ed un aumento di quelle minime. Nel confronto con le temperature di Peretola egli osserva che le massime di Firenze sono inferiori a quelle rurali, mentre quelle minime sono superiori. Nel complesso quindi si verificherebbe fra le due stazioni un sensibile effetto *cross-over* (5) rispetto alla temperatura massima diurna. La convergenza dei risultati di que-

(5) L'effetto *cross-over* si verifica quando la temperatura rurale è maggiore di quella urbana.

sti studi è in accordo con le conclusioni della nostra ricerca, ma in disaccordo rispetto alla generale tendenza all'aumento della temperatura media annua secolare in città come Roma ($0^{\circ},9$), Napoli ($1^{\circ},1$) e Milano ($1^{\circ},0$), fatto da mettersi in relazione probabilmente alla maggiore dimensione di questi centri urbani e quindi ad un loro più accentuato effetto «isola di calore».

Per quanto riguarda le precipitazioni, la moderata tendenza alla diminuzione riscontrata per Firenze concorda invece, ad esempio, con quella delle grandi città testé menzionate. Forse non è azzardato affermare che, in questo caso, si tratta di un fenomeno che non riguarda esclusivamente l'ambiente delle città prese ad esempio; è noto infatti che i nuclei di condensazione e la bassa pressione relativa presenti nell'atmosfera degli agglomerati urbani favoriscono le precipitazioni, per cui, a maggior ragione, una diminuzione di queste fa pensare ad un fenomeno di importanza più generale. Questo andamento infatti concorda con quanto è avvenuto in Europa e nel Mediterraneo, dove si è verificato un aumento delle precipitazioni fino al 1890 ed una diminuzione che, per alcuni, si sarebbe fermata al 1920, mentre per altri continuerebbe tuttora (M. Pinna, 1969). Anche il regime pluviometrico merita alcune considerazioni: infatti dal decennio 1951-60, in cui si è registrato il regime mediterraneo, si sono susseguiti i regimi submediterraneo e sublitoraneo, con prevalenza del primo. Sembra così che da parecchi decenni, dopo una predominanza di piogge prevalentemente autunnali e primaverili, ma distribuite abbastanza uniformemente nel corso dell'anno, le precipitazioni si siano concentrate nel semestre freddo, lasciando la primavera e l'estate più aride.

Lo studio delle variazioni storiche dei singoli elementi del clima non consente di formulare un giudizio generale e nello stesso tempo sintetico sull'evoluzione climatica; per questo motivo abbiamo ritenuto necessario ricorrere a quella sintesi che è rappresentata dal metodo di Thornthwaite. In base a questo approccio si è giunti alla compilazione della tab. 3, che rappresenta i valori decennali del bilancio idrico. Tuttavia le medie decennali appiattiscono notevolmente i valori annui dei vari parametri, come il deficit e l'eccedenza, poiché in realtà nel corso dei 165 anni di osservazione si sono alternati periodi umidi a periodi secchi. Nelle pagine precedenti, infatti, si sono messi in evidenza gli anni in cui si sono verificati gli estremi dell'indice Im e dalla tab. 3 si può dedurre, almeno per quanto riguarda l'ETP e l'Im, che essi non rappresentano l'eccezione. Sarebbe troppo lungo elencare tutti i valori annui che si discostano sensibilmente dalla media, ma è certo che il clima di Firenze ha conosciuto situazioni che lo pongono in alcuni casi tra quelli tipici dell'Italia meridionale e in altri tra quelli delle aree prealpine. Si sono succeduti infatti anni con eccedenza nulla, come avviene di frequente in Sicilia, ad anni con forte eccedenza, come si veri-

fica in località molto umide del nostro paese. Nel complesso però il clima di Firenze, verificandosi progressivamente un minore scarto tra l'ETP estiva (CEET) (6) e quella annua, tende ad una maggiore marittimità (il valore della CEET indica abbastanza bene il grado di continentalità di una località), confermando i risultati desunti dall'andamento delle temperature estive ed invernali. Riguardo all'andamento del clima negli ultimi decenni, si tende verso una maggiore umidità, a causa non solo della diminuzione dell'ETP, ma anche dell'aumento delle piogge, che mostrano una recente inversione di tendenza.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- ALFANI G., *Un secolo di osservazioni meteoriche. Contributo allo studio della climatologia italiana*, Firenze, Barbera, 1920, pp. 264 («Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano dei PP. Scolopi», 126).
- BISSANTI A.A. *Sulla variabilità relativa delle precipitazioni in Italia*, in «Atti XX Congr. Geogr. Ital., Roma, 1967», III, pp. 53-74.
- CANTÙ V. e NARDUCCI P., *Lunghe serie di osservazioni meteorologiche*, in «Riv. di Meteorol. Aeron.», Roma, 1967, pp. 71-79.
- CONRAD V. e POLLAK L.W., *Methods in Climatology, including some Methods in General Geophysics*, Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press., 1962.
- COPPEDE C., *L'Osservatorio Ximeniano di Firenze nel secondo centenario della sua fondazione*, Firenze, STEF, 1956.
- GIACOBBE A., *Le variazioni della temperatura atmosferica in Italia negli ultimi sessant'anni*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1961, pp. 352-366.
- MATHER Y.R., *Average climatic water balance data of the continents, Part V, Europe*, in «Publ. in Climatol.», Centerton, 1964, pp. 125-206.
- MEINI L., MUCCI G. e VITTORINI S., *Ricerche meteomarine sul litorale toscano: centoventi anni di osservazioni meteorologiche a Livorno (1857-1976)*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma, 1979, pp. 449-474.
- MORI Alb., *Carta del regime delle precipitazioni*, Roma, CNR, 1969.
- NANNINI P., *L'isola di calore a Firenze*, in «Riv. di Meteorol. Aeron.», Roma 1983, pp. 43-52.
- OSSERVATORIO XIMENIANO DI FIRENZE, *Cinquant'anni di osservazioni meteoriche (1919-1970). Contributo allo studio della climatologia italiana*, Empoli, Guainai, 1976, pp. 226.

(6) La sigla CEET indica la «concentrazione estiva dell'efficienza termica», che è uguale alla percentuale dell'ETP estiva rispetto a quella totale annua.

- PANTANI F. e CIANTELLI G., *Alcune considerazioni sul microclima di Firenze*, in «Riv. di Meteorol. Aeron.», Roma 1979, pp. 163-167.
- PINNA M., *Le variazioni del clima in epoca storica e i loro effetti sulla vita e le attività umane. Un tentativo di sintesi*, in «Boll. Soc. Geogr. Ital.», Roma 1969, pp. 198-275.
- PINNA M., *La storia del clima. Variazioni climatiche e rapporto clima-uomo in età postglaciale*, Roma, 1984, pp. 264 («Memorie della Società Geografica Italiana», XXXVI).
- PINNA M. e VITTORINI S., *Contributo alla determinazione dei regimi pluviometrici in Italia*, in PINNA M. (a cura di), *Contributi di climatologia* «Mem. Soc. Geogr. Ital.», XXXIX, Roma, 1985, pp. 147-167.
- ROBERTS W.O. e LANSFORD H., *Il ruolo del clima*, Bologna, Zanichelli 1985, pp. 195.
- THORNTHWAITTE C.W., *An approach toward a rational classification of climate*, in «The Geogr. Rev.», New York, 1948, pp. 55-94.
- THORNTHWAITTE C.W. e MATHER Y.R., *Instruction and table for computing Potential Evapotranspiration and Water Balance*, in «Publ. in Climatol.» Centerton, 1957, pp. 185-311.
- VITTORINI S., *Ricerche sul clima della Toscana in base all'evapotraspirazione potenziale e al bilancio idrico*, in «Riv. Geogr. Ital.», Firenze, 1972, pp. 1-30.
- VITTORINI S., *Le condizioni climatiche dell'Arcipelago Toscano*, in «L'Universo», Firenze, 1976, pp. 147-176.

THE CLIMATE CHANGES IN FLORENCE FROM 1822 TO 1986. — In this article the variations of the elements of climate occurred in Florence from 1822 until 1986 are studied on the basis of the data supplied by the Ximenian Observatory.

The author emphasizes a general trend towards a decrease of the yearly average temperature and from 1940 on a significant fall of the summer temperatures combined with an increase of the winter temperatures that consequently cause a more marked maritime climate. Precipitations also are on moderate decrease, even though they have shown an increase over that last decades. Finally the author tries to work out a synthesis by means of Thornthwaite's climatic hydric balance that has confirmed over the last forty years an increase of the climatic humidity.

Pisa, Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino del CNR.