

LAURA MEINI - GLORIA MUCCI - SEBASTIANO VITTORINI (*)

RICERCHE METEOMARINE
SUL LITORALE TOSCANO: CENTOVENTI ANNI
DI OSSERVAZIONI METEOROLOGICHE A LIVORNO
(1857 - 1976) (**)

Premessa. — Da uno studio di V. Cantù e P. Narducci (1) si deduce che in Italia esistono 38 stazioni meteorologiche ultrasecolari. Tra queste però non viene menzionato l'Osservatorio di Livorno, che iniziò le sue osservazioni dal 1856 (2). Molto probabilmente ciò è dovuto al fatto che, mancando, a causa degli eventi bellici, parte del materiale originale, non si è creduto opportuno classificare l'Osservatorio fra le stazioni di sicura attendibilità.

Sarà sfuggito però che quasi tutti i dati delle precipitazioni e delle temperature erano stati pubblicati fino al momento in

(*) L. Meini e G. Mucci hanno curato la raccolta dei dati e il calcolo delle medie annuali e pluriennali degli elementi presi in considerazione; S. Vittorini ha provveduto all'elaborazione dei dati, alla costruzione dei grafici e alla stesura del testo.

(**) Progetto Finalizzato Conservazione del Suolo - Sottoprogetto Dinamica dei Litorali - Pubbl. n. 97 - Contr. 7800756.87 (prof. M. Tongiorgi).

(1) V. CANTU' e P. NARDUCCI, *Lunghe serie di osservazioni meteorologiche*, in « Riv. di Meteorol. Aeron. », Roma, 1967, pp. 71-79.

(2) L'Osservatorio di Livorno è posto nel centro cittadino e risiede all'ultimo piano dell'edificio del Liceo classico « Niccolini e Guerrazzi ». Gli strumenti sono collocati su di una costruzione, sopraelevata rispetto al tetto, la quale sovrasta alquanto gli edifici adiacenti. Le coordinate geografiche dell'Osservatorio sono le seguenti: lat. 43°33', long. 2°11' O da Monte Mario.

Prima dell'installazione degli strumenti registratori le medie riguardanti il vento sono state fatte su tre osservazioni giornaliere eseguite alle ore 09, 14, 19.

cui entrò in funzione il Servizio Idrografico Italiano (3), il quale comprese la stazione di Livorno tra quelle della sua rete di stazioni termopluviometriche. Tali fatti hanno permesso, in questo lavoro, di ricostruire tutta la serie cronologica delle temperature e delle precipitazioni, colmando le lacune dei registri originali. Tale circostanza tuttavia non si è verificata sempre per il vento, perché i dati di questo elemento venivano pubblicati, in alcuni casi, senza l'indicazione della velocità, per cui nel testo appariranno delle discontinuità che però, nel complesso, non nuoceranno molto alla chiarezza delle informazioni che si vogliono fornire. Le lacune nelle serie relative alla pressione atmosferica e all'umidità dell'aria, invece, erano talmente gravi che abbiamo ritenuto opportuno non prendere in considerazione questi due elementi del clima.

Per quanto riguarda l'impostazione del lavoro, ci siamo proposti non tanto di porre in risalto le medie normali, ma piuttosto di mettere in evidenza le variazioni che i valori dei singoli elementi del clima hanno subito nel corso del tempo, nonché le variazioni del clima verificatesi a Livorno in questi 120 anni.

La temperatura dell'aria. — Riferendoci ai valori medi che, data la lunghezza del periodo in esame, possono considerarsi come valori normali della temperatura di Livorno, riteniamo non privo di interesse statistico confrontarli anzitutto con quelli elaborati per decenni (tab. 1). L'accordo è a prima vista soddisfacente, dato che lo scarto semplice medio relativo dei valori mensili con i valori normali corrispondenti è piuttosto basso, oscillando dall'8,0% in febbraio all'1,5% a luglio, mentre quello annuo è del 2,8%. Sembrerebbe pertanto che non si siano verificate grandi variazioni della temperatura. Osservando invece il grafico della fig. 1, si può notare che essa ha subito sensibili variazioni sia da un anno all'altro sia da un periodo all'altro.

Analizzando la serie cronologica dei dati (fig. 1) e applicando i criteri della regressione lineare si possono fare le seguenti osservazioni:

(3) « Ann. dell'Uff. Centr. di Meteorol. Ital. », Roma, serie II, 1878 e segg.

1) La temperatura nel complesso tende a diminuire, come indica l'equazione della retta di regressione lineare: $t = 16,409 - 0,001 T$ (4); tale diminuzione è tuttavia molto lieve essendo di appena un decimo di grado per secolo.

2) Si possono distinguere nettamente tre periodi, di cui il primo, che va dal 1857 al 1890, è caratterizzato da un aumento costante della temperatura di circa quattro centesimi di grado all'anno; il terzo, che va dal 1956 al 1976, presenta un leggero aumento della temperatura, valutabile a due centesimi di grado per anno (5). Mancando i dati del periodo 1944-49, non si possono che fare congetture sull'andamento della temperatura nell'arco di tempo che va dal 1937 al 1956: sembra tuttavia che tale periodo sia stato caratterizzato da una diminuzione della temperatura annua protrattasi fino al 1956, anno che, come abbiamo visto, ha segnato l'inizio di una tendenza all'aumento. Si possono perciò individuare negli anni 1890, 1909, 1937 e 1956, punti che segnano la fine o l'inizio di fasi termiche distinte.

L'analisi eseguita con le medie mobili di 5 e 11 anni mostra, nelle curve ottenute, la presenza di massimi ben differenziati di 33 anni, ad indicare che entro ciascuno di tali periodi la temperatura media annua raggiunge valori massimi intervallati da periodi con temperatura più bassa.

I massimi cadrebbero intorno al 1865, al 1899 e al 1932, con un intervallo appunto di 33 anni. Confrontando le curve ottenute con le medie mobili e la successione delle rette di regressione, si può dire che esiste una buona concordanza tra i risultati delle analisi eseguite con i due metodi diversi.

Tuttavia lo studio delle temperature medie annue non tiene conto delle eventuali variazioni del regime annuo. Si sono così confrontate le temperature estive con quelle invernali nel loro

(4) In questa equazione t indica la temperatura media annua, mentre T indica il tempo espresso dagli anni della serie.

(5) Le equazioni delle rette di regressione lineare per i vari periodi sono le seguenti:

1857-1890	$t = 18,16 - 0,0361 T$
1909-1937	$t = -25,021 + 0,044 T$
1956-1976	$t = 15,81 + 0,0243 T$

MEDIE DECENNALI DELLA TEMPERATURA MEDIA

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N
7°7	9°1'	12°8	16°6	20°6	24°8	27°5	26°9	23°3	19°8	13°3
7°2	9°1	10°8	14°0	18°2	21°1	24°9	24°2	21°6	16°8	10°3
6°9	9°5	10°4	13°9	17°0	20°7	23°5	24°1	20°9	16°1	11°9
6°2	7°2	10°2	13°5	17°3	21°4	23°9	23°1	20°9	16°1	11°6
8°0	9°1	10°8	14°0	17°1	21°7	24°6	24°3	21°0	16°7	12°0
7°1	8°1	10°7	13°2	17°5	20°7	23°4	23°4	19°7	16°4	11°7
7°8	9°0	10°7	13°2	17°9	21°0	23°9	23°8	21°1	17°0	12°4
7°7	7°7	11°0	13°7	17°5	22°2	24°3	24°6	22°4	17°0	13°2
7°3	8°9	11°6	14°0	17°2	21°8	24°3	24°1	21°1	17°2	13°3
7°5	7°6	10°3	13°5	17°2	20°8	23°7	23°3	20°9	16°3	12°1
7°7	9°0	10°5	13°7	17°2	21°1	23°3	23°0	20°5	16°8	11°3
9°0	9°7	10°7	13°5	17°2	20°4	23°5	23°4	20°6	16°6	12°9
7°5	8°7	10°9	13°9	17°7	21°5	24°2	24°0	21°2	16°9	12°2

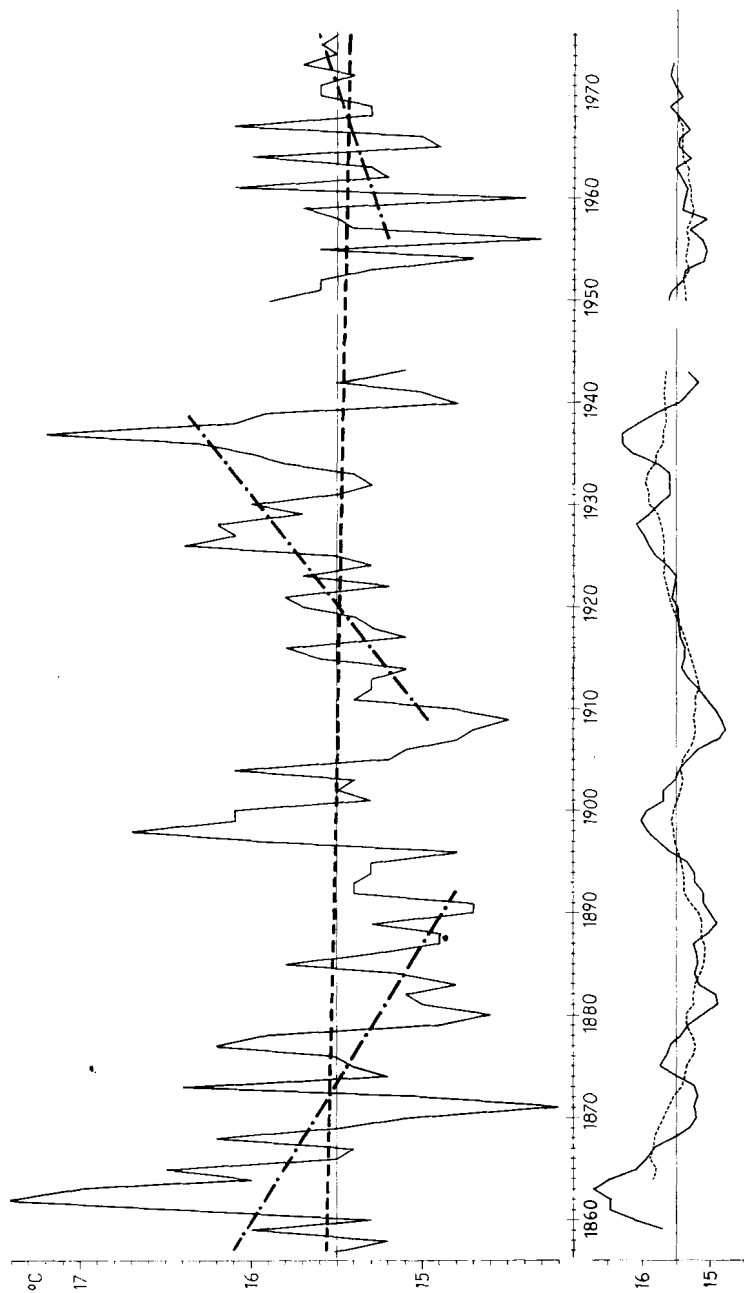


FIG. 1 — SERIE CRONOLOGICA DEI DATI TERMOMETRICI.

In alto: la spezzata indica l'andamento della temperatura annua e la linea sottile la media normale della temperatura; la linea tratteggiata è la retta di tendenza di tutto il periodo considerato; i segmenti a tratti e punti sono le rette di tendenza per singoli periodi caratteristici. *In basso* sono indicate le medie mobili di 5 anni (linea intera) e di 11 anni (linea a tratti).

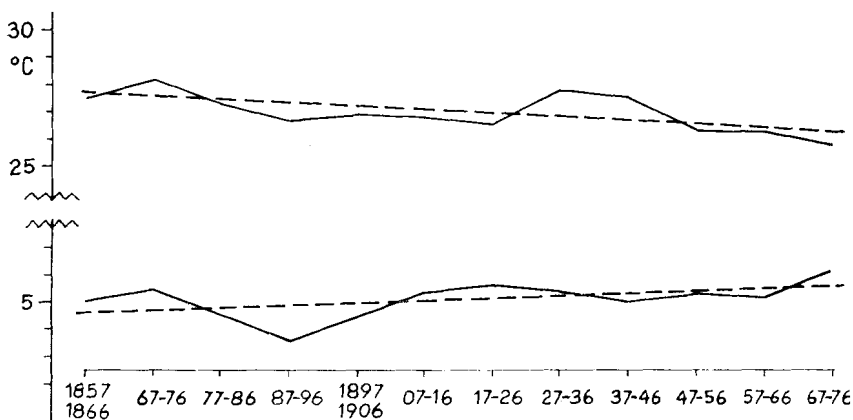


FIG. 2 — ANDAMENTO PER DECENNI DELLE TEMPERATURE MASSIME ESTIVE E DI QUELLE MINIME INVERNALI.

Le linee tratteggiate sono le rette di tendenza.

sviluppo cronologico (fig. 2) e si è potuto notare che le temperature massime estive e quelle minime invernali, dopo un periodo in cui mantenevano tra di loro un intervallo costante pur seguendo oscillazioni annue, hanno cominciato ad avvicinarsi dagli inizi del secolo. Questa tendenza si è accentuata negli ultimi decenni, mostrando una graduale variazione in senso oceanico del clima di Livorno. In effetti, lo scarto tra le medie massime estive e le medie minime invernali ha subito una sensibile diminuzione, passando da $22^{\circ},5$ nel decennio 1857-66 a $19^{\circ},6$ nel decennio 1967-76, con uno scarto di $-2^{\circ},9$. Il comportamento di Livorno in questo caso si discosta dalla generale tendenza verso un aumento dei valori delle temperature massime ed una diminuzione dei valori di quelle minime, secondo quanto emerge dalla ricerca di A. Giacobbe per l'Italia (6).

Dopo queste considerazioni crediamo valga la pena di calcolare la durata teorica dei periodi con temperature medie maggiori di 10° e 20° . A questo scopo ci avvaliamo delle formule pro-

(6) A. GIACOBBE, *Le variazioni della temperatura atmosferica in Italia*, in « Riv. Geogr. Ital. », Firenze, 1961, pp. 352-366.

poste da V. Conrad e L. W. Pollak (7), già usate, per lo studio di questo aspetto del clima, anche in Italia (8).

Abbiamo considerato i valori limite di 10° e di 20° perché ci paiono significativi rispettivamente della fine e dell'inizio del periodo freddo e di quello caldo. Oltre che compiere questa indagine sui valori medi normali, abbiamo scelto allo scopo l'anno più caldo (il 1863) e quello più freddo (il 1871). I risultati sono sintetizzati nella tab. 2, dalla quale si ricava che mediamente

TAB. 2

DURATA TEORICA DEI PERIODI CON TEMPERATURA SUPERIORE
A 10° E A 20°

	$> 10^{\circ}$		$> 20^{\circ}$	
	inizio	fine	inizio	fine
medie normali	5 marzo	4 dicembre	1 giugno	23 settembre
1863	22 febbraio	8 dicembre	17 maggio	5 ottobre
1871	2 marzo	29 ottobre	21 giugno	26 settembre

la durata dei periodi in cui la temperatura media giornaliera è superiore a 10° e a 20° è rispettivamente di 274 e 115 giorni, mentre per l'anno più caldo tali valori salgono a 289 e 141 e per l'anno più freddo scendono a 240 e 97.

(7) V. CONRAD e L. W. POLLAK, *Methods in Climatology, including some Methods in General Geophysics*, Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press., 1962.

$$\text{Tali formule sono: } d = 30 \frac{t_0 - b}{a - b}; \quad d' = 30 \frac{a' - t_0}{a' - b'}$$

dove a = media mensile superiore al limite prescelto t° ; b = media mensile inferiore a tale limite all'inizio della stagione calda; d = differenza in giorni tra la metà del mese con media inferiore al limite prescelto e la data in cui tale limite ha inizio; a' e b' come a e b , ma riferiti alla fine della stagione calda; d' = differenza in giorni tra la metà del mese con media superiore e la data in cui la temperatura limite stessa cessa di verificarsi.

(8) MIN. LL.PP., SERV. IDROGR., *La distribuzione della temperatura dell'aria in Italia nel trentennio 1926-1955*, a cura di T. GAZZOLO e M. PINNA, Pubbl. n. 26, fasc. IV, Roma, 1973; A. A. BISSANTI, *La temperatura dell'aria in Puglia*, Bari, 1974 (« Mem. Ist. di Geogr. della Fac. di Econ. e Comm. dell'Univ. di Bari », 6).

Le precipitazioni. — La media normale delle precipitazioni annue a Livorno è di 844 mm, ma la piovosità annua varia notevolmente. Si sono avuti infatti estremi di 1389 mm nel 1872 e di 434 mm nel 1894 e lo scarto semplice medio relativo annuo è del 17,5%; valore abbastanza frequente nell'Italia peninsulare (9). Questo indice però assume valori più elevati se lo si computa mese per mese, e varia dall'87% a luglio al 43,1% a novembre.

La variabilità delle piogge è facilmente avvertibile osservando la fig. 3, in cui è rappresentata la serie cronologica delle precipitazioni. Eseguendo la correlazione lineare per tutta la serie si constata che le precipitazioni nel complesso tendono a diminuire con un valore medio di circa 8,8 mm al secolo, secondo quanto indica l'equazione della retta di regressione lineare: $p = 1360,25 - 0,559 T$.

Nella serie cronologica si possono notare dei periodi in cui la tendenza è verso una diminuzione delle precipitazioni o viceversa, a partire dal 1895 circa. Fino a quella data, infatti, le variazioni non hanno seguito nessun andamento preciso, come attesta anche il bassissimo coefficiente di correlazione lineare ($r = -0,14$). Dal 1895 al 1920 si verifica una netta diminuzione delle piogge, con un tasso medio di 9,5 mm/anno. Dal 1920 al 1937 la tendenza si inverte e si verifica un aumento medio annuo di circa 17 mm, ma dal 1937 al 1958 la quantità delle piogge tende di nuovo a diminuire, con un tasso di 16 mm/anno. Il 1960 segna invece un valore molto elevato, 1070 mm, dal quale, negli anni successivi, si passa a valori sempre più bassi. Si individua anche qui, fino al 1974, un periodo con piogge in diminuzione (10).

Il 1895, il 1920 e il 1937 rappresentano così anni critici che

(9) A. A. BISSANTI, *Sulla variabilità relativa delle precipitazioni in Italia*, in « Atti XX Congr. Geogr. Ital., Roma, 1967 », III, pp. 53-74.

(10) Le equazioni delle rette di regressione lineare, relative alla pioggia, per i vari periodi sono le seguenti:

1895-1920	$p = 9574,586 - 9,51 T$
1920-1937	$p = -15308,609 + 17,333 T$
1937-1958	$p = 1549,18 - 16,12 T$
1959-1974	$p = 2271,38 - 21,8 T$

segnano l'inizio o la fine di fasi piovose ben distinte e corrispondono il primo e il terzo ad un periodo di precipitazioni minime, in accordo con l'andamento delle curve ricavate dalle medie mobili di 5 e 11 anni. Per quanto riguarda queste ultime, a differenza di quanto si constataba per le temperature, non esiste una periodicità nell'andamento dei massimi i quali sono distanziati di 36 e di 25 anni. Alquanto caratteristico è l'andamento di queste curve dall'inizio delle osservazioni fino al 1890 circa, andamento confuso e tortuoso, che conferma la casualità delle variazioni annue delle precipitazioni in questo periodo.

Il regime delle precipitazioni, se si prendono in considerazione i valori decennali, non avrebbe subito nessuna variazione e sarebbe costantemente rimasto di tipo submediterraneo (11), con il massimo principale in autunno e quello secondario in inverno. Tuttavia un'indagine più approfondita ha condotto ai seguenti risultati che, mostrando aspetti alquanto diversi, sia pure riferiti a tempi più brevi, mettono in evidenza che, per alcuni periodi minori di 10 anni, si sono verificate a Livorno condizioni pluviometriche particolari, con tipi di regime diversi da quello *standard*.

E' un fenomeno tuttavia che prende inizio solo verso il 1914 e si è accentuato dopo l'ultimo evento bellico, seguendo anche un andamento evolutivo costante, e passando, a partire dagli anni '50, dal tipo mediterraneo a quello sublitoraneo, attraverso il tipo submediterraneo (12), come mostra la fig. 4. Nell'ultimo decennio, poi, il regime dei singoli anni ha mostrato di distaccarsi ancora di più dall'andamento normale: nel 1971, ad es., le piogge estive rappresentano il massimo secondario dopo quelle

(11) A. MORI, *Carta del regime delle precipitazioni*, Roma, C.N.R., 1969.

(12) VARIAZIONI DEL REGIME DELLE PRECIPITAZIONI

Periodo	Massimo principale	Massimo secondario	Tipo di regime
1914-18	Autunno	Primavera	Sublitoraneo
1926-30	Inverno	Autunno	Mediterraneo
1951-55	»	»	»
1956-60	»	»	»
1961-65	Autunno	Inverno	Submediterraneo
1966-70	»	»	»
1971-75	»	Primavera	Sublitoraneo

MEDIE DECENNALI DELLE PRECIPITAZIONI E DEI GIORNI PIOVOSI

	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N
mm	70	75	83	42	56	36	21	30	84	174	119
gp	10	8	11	7	7	7	2	4	7	11	12
mm	68	44	61	52	48	42	34	59	51	143	128
gp	10	7	9	8	7	6	2	4	5	11	11
mm	69	47	73	76	62	41	20	39	118	115	91
gp	9	7	10	12	9	6	2	3	8	11	12
mm	65	69	67	69	65	33	25	41	53	148	123
gp	9	10	10	10	9	5	3	5	5	12	13
mm	60	76	95	72	58	64	35	36	84	152	141
gp	10	10	12	10	10	6	3	3	8	12	11
mm	64	59	97	55	77	78	18	25	103	105	118
gp	9	10	13	10	9	9	4	5	9	13	13
mm	90	61	51	94	50	31	24	30	77	86	107
gp	9	7	9	11	5	3	3	2	6	9	10
mm	84	73	97	61	58	37	18	16	78	108	128
gp	10	7	8	9	6	3	3	2	6	11	12
mm	73	54	71	56	69	59	11	35	67	152	118
gp	10	8	7	6	8	5	1	3	7	10	9
mm	83	82	42	47	44	29	19	34	88	97	103
gp	9	10	6	6	7	3	1	3	5	8	9
mm	67	58	75	65	41	27	18	32	80	145	129
gp	8	7	9	7	5	4	2	3	5	9	11
mm	64	68	61	43	59	69	15	37	85	77	106
gp	9	8	9	7	6	4	2	4	7	6	8
mm	71	64	73	61	57	46	21	34	81	125	118
gp	9	8	9	9	8	5	2	3	7	10	11

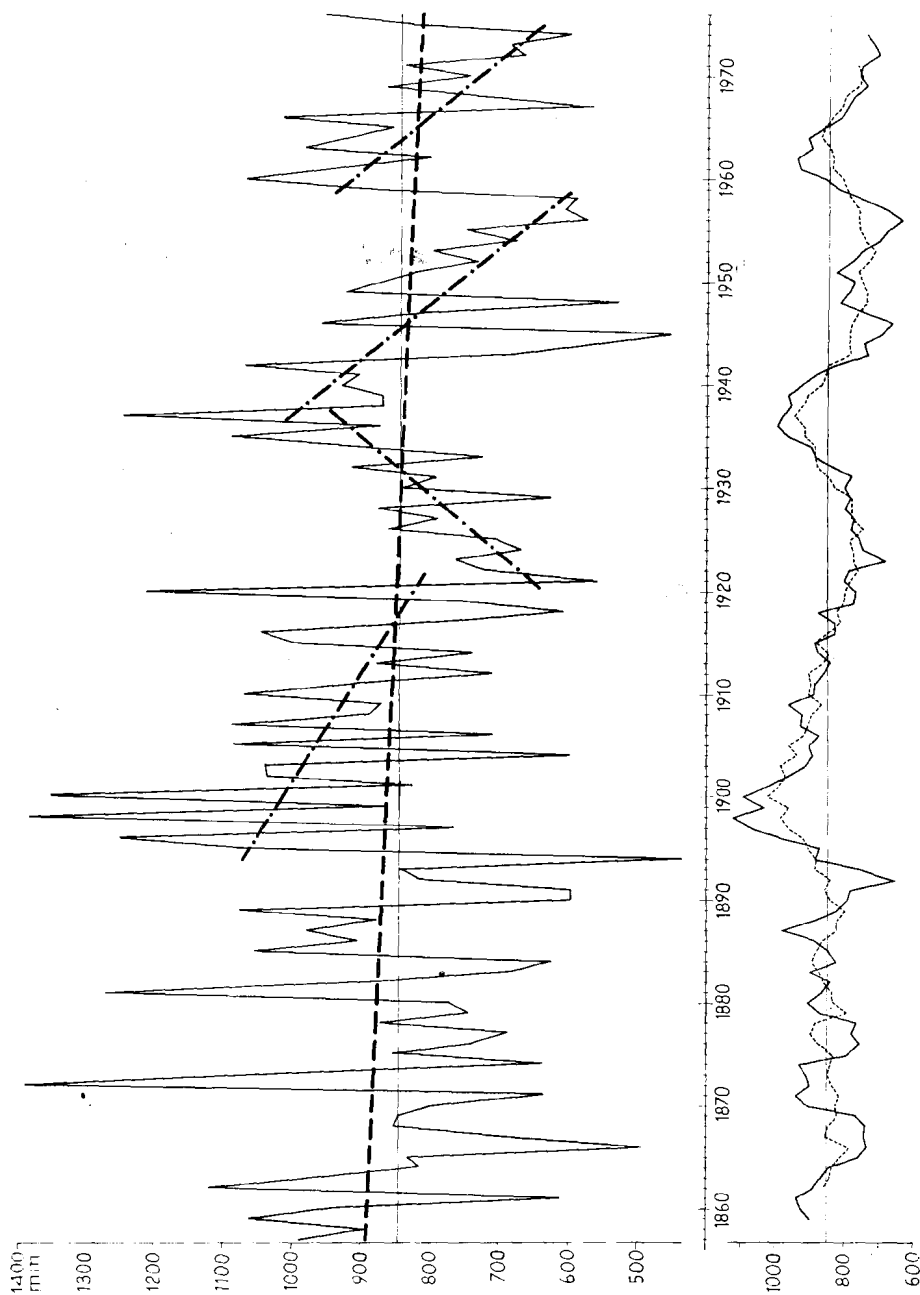


FIG. 3 — SERIE CRONOLOGICA DEI DATI PLUVIOMETRICI.

In alto: la spezzata indica l'andamento delle precipitazioni annue e la linea sottile la media normale delle precipitazioni; la linea tratteggiata è la retta di tendenza di tutto il periodo considerato; i segmenti a tratti e punti sono le rette di tendenza per singoli periodi caratteristici. *In basso* sono indicate le medie mobili di 5 anni (linea intera) e di 11 anni (linea a tratti).

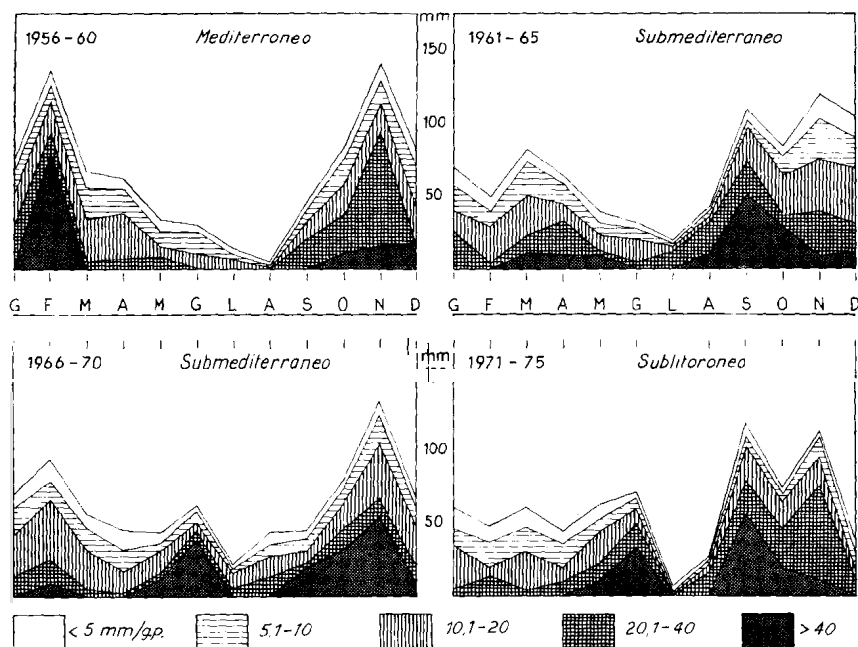


FIG. 4 -- L'APPORTO DELLE SINGOLE CLASSI DI INTENSITA' DI PRECIPITAZIONI AL REGIME PLUVIOMETRICO.

La figura mostra l'evoluzione del regime dal 1956 al 1975; si passa dal tipico regime mediterraneo del quinquennio 1956-60 al regime sublitoraneo del periodo 1971-75.

autunnali, seguite da quelle primaverili e da quelle invernali, tipica successione del tipo subcontinentale; altri anni escono fuori da qualsiasi schema, come il 1974, la cui successione è primavera, inverno, autunno, estate, o come il 1976, con la successione autunno, inverno, estate, primavera. Sono fenomeni, questi, di interesse non solo statistico, ma anche pratico, poiché vengono avvertiti in modo sensibile pure dall'uomo.

Per quanto riguarda l'apporto delle singole classi di intensità giornaliera al regime pluviometrico si constata che le classi più piovose sono, nel primo semestre, quelle intermedie, da 10,1 a 40,0 mm/giorno piovoso, mentre nel secondo semestre sono quelle di massima intensità. A settembre o a ottobre, spesso,

il 50% delle piogge è costituito da precipitazioni con intensità superiore a 40 mm/g.p. Le piogge con intensità inferiore a 10 mm/g.p. sono scarse e prevalgono in primavera.

Il vento. — Secondo le medie normali, il vento regnante a Livorno è il NE (19,8%), cui seguono, per ordine di frequenza, l'O (17,7%), l'E (16,2%) e il SO (12,0%); le altre direzioni hanno frequenza decisamente più bassa. Le calme ammontano all'11%. Anche questi valori sono delle astrazioni, poiché nel corso del periodo in esame le frequenze sono cambiate sensibilmente, come si può osservare dalla tab. 4, che riporta le medie decennali delle frequenze nelle otto direzioni principali (13).

Fino a tutto il 1896, infatti, il vento regnante era il NE, seguito dall'O; nel decennio seguente la seconda direzione in ordine di importanza è il SO. Segue un periodo, dal 1907 al 1942, che si può definire di transizione, in cui la massima frequenza spetta all'O e la seconda direzione in ordine di importanza è via via il NE, l'E o il SO. Dalla fine dell'ultimo conflitto si ha invece la netta prevalenza dell'E, mentre nell'ultimo decennio il SO assume il minimo valore del periodo. Queste variazioni sono meglio avvertite dal confronto dei grafici della fig. 5 (14). Vi si potrà notare che i venti più veloci sono quelli del III quadrante, dove spicca il SO, la cui velocità media oscilla tra 22,3 e 13,8 km/h, e che è il vento dominante (15). Un confronto più sintetico è offerto dalla fig. 6, in cui sono indicate le variazioni delle frequenze nel corso del periodo considerato, per le otto direzioni principali.

(13) Fino al 1887 i dati anemometrici disponibili non erano continui né omogenei per quanto riguarda l'unità di misura della velocità; siamo stati costretti a spezzettare il periodo fino a tale anno in gruppi di anni aventi continuità di osservazioni e la stessa unità di misura della velocità.

(14) Nel primo grafico della fig. 5 l'indicazione della velocità non è in km/h come negli altri, ma è espressa in numeri che indicano la forza del vento, com'era nei registri originali. Siamo stati costretti a mantenere questa soluzione poiché sui registri non era indicato il tipo di scala adoperato. Alcuni altri diagrammi sono privi dell'indicazione della velocità a causa della mancanza dei dati relativi. In parte ciò si verifica anche per l'ultimo decennio per il parziale cattivo funzionamento dell'anemografo.

(15) Non sempre, tuttavia, il SO è il vento più veloce: nel periodo 1917-26 è l'O che detiene la massima velocità media (18,7 km/h) e nel decennio successivo è il S (14,6 km/h).

TAB. 4

MEDIE DECENNALI DELLE FREQUENZE PERCENTUALI DEI VENTI
SECONDO LE OTTO DIREZIONI PRINCIPALI

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
1862-1867	4,3	22,7	14,6	2,6	9,0	12,1	17,5	6,6	10,6
1867-1870	5,3	19,8	14,5	4,0	9,2	10,3	17,4	7,4	12,1
1878-1881	3,3	23,3	17,7	2,4	9,2	12,0	19,5	5,4	12,2
1882-1885	4,0	20,2	11,8	2,7	8,8	11,6	19,0	6,8	15,1
1887-1896	4,2	21,4	13,4	2,8	8,0	10,4	19,4	9,3	11,1
1897-1906	1,6	27,4	7,3	4,0	10,4	14,2	13,7	8,7	12,8
1907-1916	2,1	19,7	14,1	3,3	12,1	11,5	22,9	6,6	7,5
1917-1926	3,3	19,6	12,5	1,9	14,3	18,0	17,2	4,0	9,2
1927-1936	3,0	15,5	17,9	3,0	11,5	11,8	22,2	5,4	9,2
1937-1942	3,8	18,3	18,1	1,7	6,4	9,2	18,7	13,3	10,5
1951-1956	0,2	13,9	24,1	2,8	13,5	14,4	17,4	4,9	8,7
1957-1966	2,1	16,4	21,6	7,5	9,4	13,1	12,2	6,3	11,4
1967-1976	1,4	18,9	22,8	7,2	8,3	7,8	13,5	8,0	12,1
1862-1976	3,0	19,8	16,2	3,5	10,0	12,0	17,7	7,1	11,0

Nelle medie normali per quadranti la massima frequenza spetta al I quadrante con il 29,1%, cui seguono il III (25,9), il IV (17,5) e il II (16,4). Questa successione si è mantenuta fino al 1906; da quell'anno, fino al 1936, ha prevalso il III quadrante, seguito dal I. Negli anni seguenti si è ritornati alla successione primitiva, fino a che, nell'ultimo decennio, il III quadrante è passato al terzo posto con appena il 18,7% delle frequenze.

Per quanto riguarda il regime dei venti, quello di Livorno

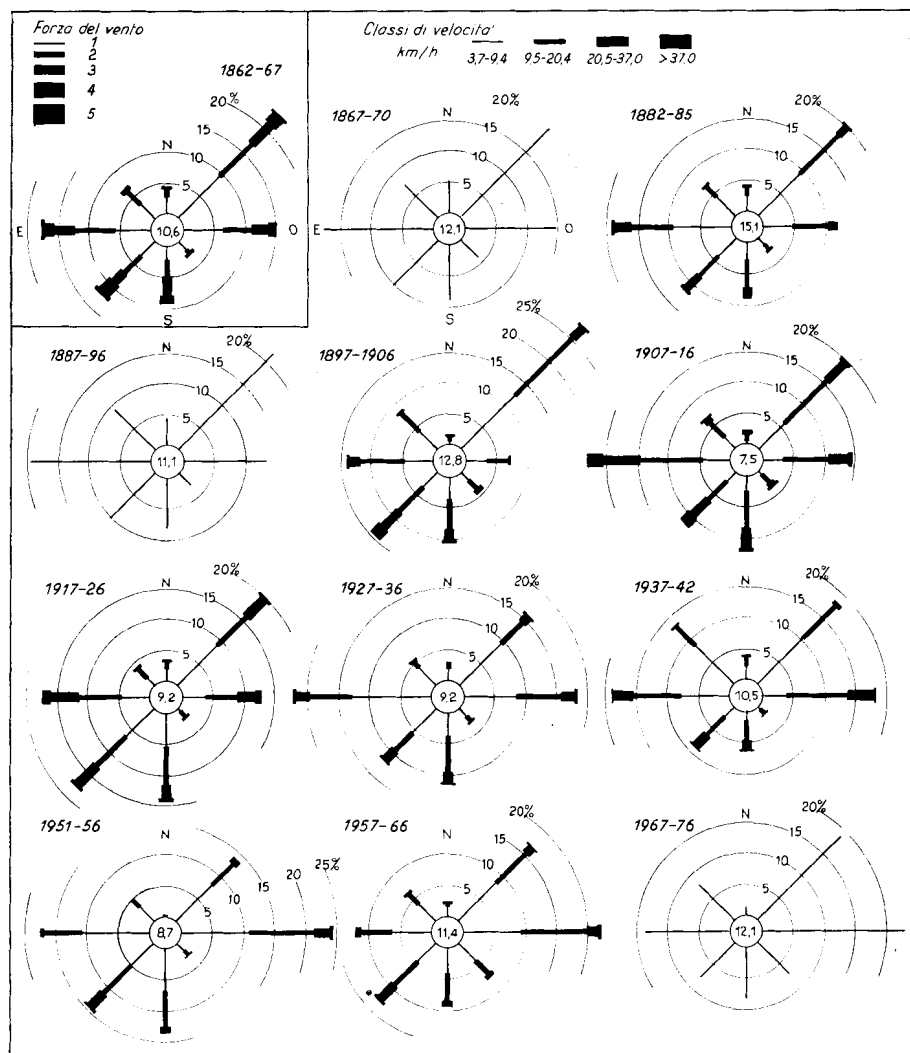


FIG. 5 — DISTRIBUZIONE PERCENTUALE MEDIA ANNUA DEI VENTI PER CLASSI DI VELOCITA'.

I valori segnati al centro si riferiscono alle calme. I tre diagrammi della prima fila si riferiscono a periodi minori di un decennio per la mancanza dei dati di alcuni anni. Qualche diagramma inoltre presenta solo la frequenza dei venti poiché, per il periodo relativo, mancano i dati della velocità.

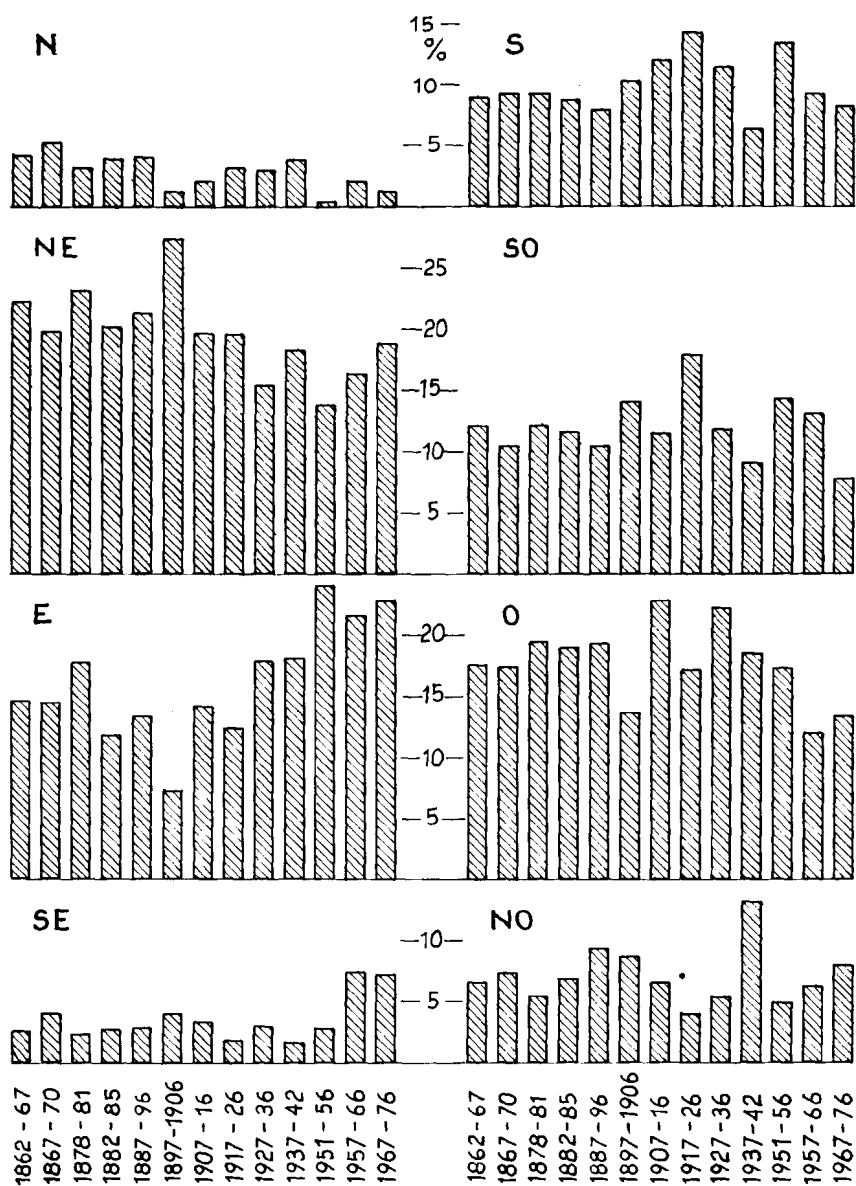


FIG. 6 — ANDAMENTO PLURIENNALE DELLE FREQUENZE PERCENTUALI DEI VENTI NELLE OTTO DIREZIONI PRINCIPALI.

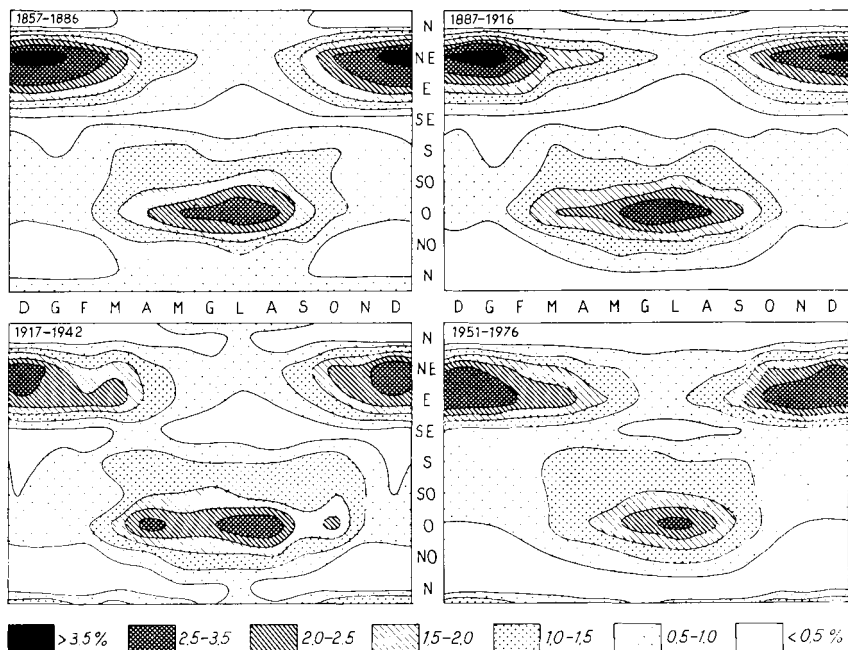


FIG. 7 — IL REGIME DEI VENTI.

Il periodo considerato è stato suddiviso in quattro trentenni per mettere meglio in evidenza le variazioni verificatesi dall'inizio del nostro secolo.

non si discosta dai regimi della Toscana marittima e dell'Arcipelago Toscano (16): prevalenza nel semestre invernale dei venti orientali e nel semestre estivo di quelli occidentali. Tuttavia la fig. 7 mostra una leggera ma costante diminuzione delle frequenze dei venti occidentali ed una loro minore durata: nei primi tre trentenni, infatti, il periodo con frequenza mensile superiore all'1,5% relativo all'O e al SO andava da marzo ad ottobre e totalizzava il 19-20% delle frequenze annue; nell'ultimo

(16) Cfr.: M. PINNA, *Il regime dei venti nella bassa valle dell'Arno*, in « Riv. Geogr. Ital. », Firenze, 1958, pp. 97-118; S. VITTORINI, *Ricerche sul clima del bacino dell'Ombrore grossetano*, Pisa, 1969 (« Pubbl. Ist. di Geogr. dell'Univ. di Pisa », 16); ID., *Le condizioni climatiche dell'Arcipelago toscano*, in « L'Universo », Firenze, 1976, pp. 147-176; F. RAPETTI e S. VITTORINI, *Osservazioni sul clima del litorale pisano*, in « Riv. Geogr. Ital. », Firenze, 1978, pp. 1-26.

trentennio, invece, il periodo comprende soltanto i mesi da maggio ad agosto, e le frequenze totali sono scese ad appena il 10,8%.

Un tentativo di sintesi. — Nelle pagine precedenti, trattando singolarmente dei principali elementi del clima, abbiamo cercato di porre in evidenza le oscillazioni che essi hanno subito nel corso del periodo in esame. In primo luogo abbiamo potuto notare che intorno al 1900 si verifica una serie di circostanze concomitanti: la temperatura e le precipitazioni raggiungono un massimo ragguardevole, inizia la diminuzione delle frequenze del vento di NE mentre si avvia l'aumento di quelle dell'E e dei venti del III quadrante.

Analoga situazione si verifica alla fine degli anni '30, quando si produce un nuovo massimo delle temperature e delle precipitazioni e termina la prevalenza dei venti del III quadrante. Le curve delle medie mobili delle figg. 1 e 3 seguono all'incirca lo stesso andamento sia per le temperature che per le precipitazioni. Dato il metodo adoperato non è però possibile stabilire il periodo delle oscillazioni che si possono notare, ma approssimativamente si può individuare un periodo di 33 anni per le prime e di 37 anni per le seconde.

Inoltre, dal 1900 circa le temperature massime estive e quelle minime invernali tendono ad accorciare lo scarto esistente tra loro, e questo fenomeno diventa più marcato proprio dal decennio 1937-46, che rappresenta, come abbiamo visto, il secondo periodo critico.

Dal 1857 per le temperature e dal 1900 per le precipitazioni comincia un'alternanza di brusche e decise diminuzioni seguite da altrettanto decisi aumenti; nel corso del periodo in esame, pertanto, si sono susseguiti periodi secchi e periodi umidi molto marcati, tali da poter influire sulle attività umane e specie sull'agricoltura: di certo non dev'essere passato inosservato, per esempio, il periodo 1920-1937, in cui da 550 mm di pioggia annua si è passati ad oltre 1250 mm.

Tuttavia, se prese singolarmente o anche confrontandole tra di loro, le oscillazioni dei singoli elementi climatici non sono

BILANCIO IDRICO E TIPI DI CLIMA SECONDO THORNTWHAITE

P	EP	AE	D	S	Im	CET	Simboli climatici
873	856	667	189	201	1,4	50,5	C ₃ B' ₃ s b' ₄
853	827	658	169	188	2,3	51,3	C ₃ B' ₂ s b' ₄
850	817	685	132	174	5,1	49,9	C ₃ B' ₂ r b' ₄
854	815	646	169	209	4,9	51,2	C ₃ B' ₂ s b' ₄
965	825	703	122	266	17,4	51,4	C ₃ B' ₂ r b' ₄
918	811	701	110	221	13,7	50,1	C ₃ B' ₂ r b' ₄
761	828	658	170	99	—8,6	49,8	C ₁ B' ₂ s b' ₄
844	843	656	187	188	0,1	50,8	C ₃ B' ₂ s b' ₄
858	814	673	141	190	6,0	51,6	C ₃ B' ₂ s b' ₄
749	810	649	161	102	—7,3	49,5	C ₁ B' ₂ s b' ₄
859	791	640	151	222	9,0	48,4	C ₃ B' ₂ s b' ₄
745	808	686	122	55	—8,3	48,3	C ₁ B' ₂ d b' ₄

azioni; EP = evapotraspirazione potenziale; AE = evapotraspirazione reale; D = deficit idrico
 = indice di umidità globale; CET = concentrazione estiva dell'efficienza termica.

sufficienti ad indicare se vi siano state variazioni del clima o se si sia trattato di normali oscillazioni nell'ambito di uno stesso tipo di clima. Solo ricorrendo ad opportune operazioni di sintesi è possibile verificare se un mutamento di clima c'è stato. Naturalmente dipende dai metodi adottati: il metodo di Köppen, ad esempio, mal si presta al nostro caso, tanto sono ampi i limiti di temperatura e di piovosità con i quali esso definisce un tipo di clima. Ci è parso perciò più opportuno scegliere il metodo di Thornthwaite, che invece è molto sensibile a piccole variazioni di temperatura e di precipitazioni, non solo di quelle che si verificano da un anno all'altro, ma anche di quelle che avvengono nel corso di uno stesso anno, tenendo perciò conto del regime.

Osservando la tab. 5, le caratteristiche del clima dei vari decenni appaiono ben evidenziate dai valori dei singoli indici e dei simboli relativi.

A partire da un certo anno, tuttavia, il tipo di clima comincia a variare. In effetti possiamo constatare che fino al decennio 1907-16 il clima è stato sempre di tipo *subumido*, anche se alterna periodi a *deficit* nullo (*r*) con altri a *deficit* moderato (*s*), ma dal decennio seguente ad esso si è alternato il tipo di clima *subarido*. L'ultimo decennio è infatti di questo tipo, ma con una caratteristica che lo distingue dagli altri analoghi, poiché è privo o quasi di eccedenza, come mostra il simbolo *d*. La concentrazione estiva dell'efficienza termica (CET) assume in questo decennio il valore più basso di tutti i 120 anni, indicando e confermando ciò che era stato notato in altra sede, cioè che la temperatura estiva diminuisce, ma aumenta quella invernale, di modo che il valore dell'evapotraspirazione potenziale si mantiene ancora abbastanza elevato. L'aridità perciò deriva dalla debole quantità delle piogge e dal loro regime, e non solo dall'evapotraspirazione (17).

(17) A parità di quantità annua delle piogge, l'influenza del regime pluviometrico sul valore dell'eccedenza idrica è sensibile, in quanto più le piogge sono concentrate nei mesi freddi (regime mediterraneo) tanto meno sono soggette all'evaporazione e tanto maggiore è l'eccedenza; al contrario, questa risulta minore quanto più le piogge sono concentrate nei mesi caldi (regime subitioraneo), nei quali l'evaporazione è maggiore.

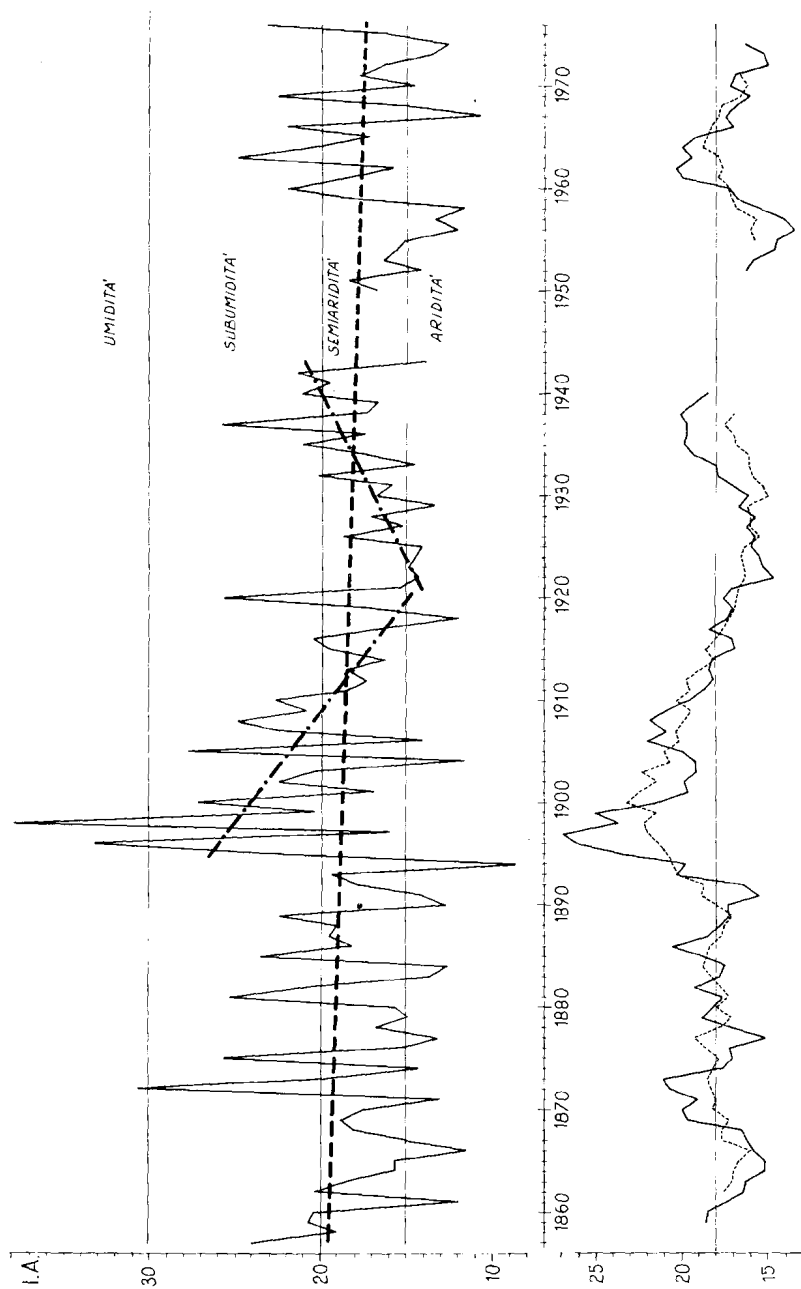


FIG. 8 — SERIE CRONOLOGICA DEI VALORI DELL'INDICE DI ARIDITA'.

In alto: la spezzata indica l'andamento annuo dell'indice e la linea tratteggiata la tendenza di tutto il periodo; i segmenti a tratti e punti sono le rette di tendenza per singoli periodi caratteristici. *In basso* sono indicate le medie mobili di 5 anni (linea intera) e di 11 anni (linea a tratti).

Il decennio 1967-76, che è caratterizzato da un tipo di clima subarido con caratteristiche accentuate, potrebbe rappresentare un momento critico dopo il quale i valori ritornerebbero ad essere « normali », oppure potrebbe essere solo una fase tipica di una fluttuazione più profonda del clima, come starebbero a testimoniare la notevole frequenza del tipo subarido di questi ultimi decenni.

Per verificare queste ipotesi abbiamo calcolato, per ogni anno, l'indice di aridità di de Martonne, secondo la formula ben nota (18). Dai risultati ottenuti abbiamo ricavato i grafici riportati nella fig. 8, in cui non solo appaiono normali oscillazioni annuali, ma si distinguono nettamente un periodo di decrescita dei valori (1896-1918) e un periodo di aumento (1921-1942). Nel complesso, però, la retta di regressione lineare indica una

TAB. 6

VALORI DECENNALI DELL'INDICE DI ARIDITA' (I.A.)
DI DE MARTONNE

decenni	1857-66	1867-76	1877-86	1887-96	1897-1906	1907-16
I.A.	17,8	18,9	17,5	18,9	21,5	20,2
tipo di clima .	semiarido mediterraneo				subumido	
decenni	1917-26	1927-36	1937-46	1947-56	1957-66	1967-76
I.A.	16,4	16,9	19,4	15,5	18,4	16,2
tipo di clima .	semiarido mediterraneo					

(18) L'ultima formula di de Martonne, che definisce l'indice di aridità e che è stata da noi adottata, è la seguente:

$$I.A. = \frac{\frac{P}{T + 10} + \frac{12 p}{t + 10}}{2}$$

in cui P e T rappresentano le precipitazioni e la temperatura annue e p e t le precipitazioni e la temperatura del mese più arido.

lenta ma sensibile diminuzione dei valori, significando con ciò un progressivo inaridimento del clima di Livorno, in accordo con i risultati ottenuti col metodo di Thornthwaite.

Si tratta, anche in questo caso, di un fenomeno legato alla diminuzione delle precipitazioni, assai più intensa di quella, appena apprezzabile, delle temperature.

Considerazioni finali. — Volendo fare una sintesi dell'andamento degli elementi del clima a Livorno, nel periodo considerato, emerge non solo che esiste una loro forte variabilità interannuale, ma che si manifesta anche la presenza di periodi caldi e di periodi freddi, di periodi piovosi e di periodi siccitosi e infine la prevalenza ora di un gruppo di venti ora di un altro. Non è conveniente, a nostro avviso, limitarsi ad una definizione astratta del clima di Livorno, partendo dalle medie normali. Possiamo constatare invece alcune tendenze, come quella di un progressivo inaridimento dovuto alla diminuzione della quantità annua delle precipitazioni, più che a un aumento della temperatura. Questa anzi tende, pur se insensibilmente, a diminuire anch'essa. Possiamo pure constatare la variazione di direzione dei venti regnanti, dal NE all'E, e la minore frequenza del libeccio negli ultimi anni. Abbiamo cercato di quantificare alcuni di questi fenomeni mediante l'uso del metodo di Thornthwaite e dell'indice di aridità di de Martonne e abbiamo potuto notare che i risultati concordano sensibilmente, nel senso di evidenziare una maggiore aridità verso gli ultimi anni.

Purtuttavia bisogna usare grande cautela nell'accettare pienamente alcuni risultati, come, per esempio, la tendenza alla diminuzione generale della temperatura, non tanto per la scarsa attendibilità dei metodi adoperati quanto per altri motivi dovuti a cause ambientali, strettamente collegati con lo sviluppo della città. Ammettendo infatti che le misure dell'Osservatorio siano state fatte con la massima cura, è pure possibile che i dati raccolti siano stati influenzati, nel corso degli anni, da parecchi fattori. Basta infatti che in prossimità dell'Osservatorio sia stato abbattuto un edificio o ne sia stato costruito un altro perché gli strumenti possano essere stati, in un modo od in

un altro, influenzati. E' opportuno ricordare, a questo proposito, che, nel corso della seconda guerra mondiale, il centro di Livorno è stato completamente distrutto e che è stato poi ricostruito secondo nuovi criteri. Inoltre, negli ultimi centoventi anni, lo sviluppo urbanistico di questa città è stato molto forte, e così pure quello industriale. Questi fatti, da soli, basterebbero a modificare il topoclimate di una città, sì che specialmente i valori della temperatura possono essere alterati.

Oltre a ciò, grande prudenza va assunta nell'interpretare i dati forniti dagli strumenti, per motivi legati a fattori tecnici: in centoventi anni gli apparecchi di misura possono essere stati sostituiti diverse volte, e in questi casi c'è da chiedersi se ogni volta è stata impiegata la massima precauzione nella loro taratura. Come pure è cambiato il personale addetto alla manutenzione dell'Osservatorio, ed è noto quanto possa influire nella lettura dei dati l'interpretazione soggettiva. Abbiamo voluto perciò confrontare i dati pluriennali della stazione di Livorno con quelli di altre stazioni aventi osservazioni plurisecolari, scelte sia sul versante tirrenico, come Pisa, Roma e Napoli, sia su quello adriatico, come Trieste, sia all'interno, lontano dall'influenza del mare, come Milano. Tale operazione ha dato dei risultati sorprendenti, poiché, di fronte ad una diminuzione della temperatura media annua di $0^{\circ},1$ ogni cento anni a Livorno, troppo esigua di fronte alle cause eventuali di errore già ricordate, si impongono nettamente gli aumenti di $1^{\circ},1$ e di $1^{\circ},0$ al secolo di Napoli e Milano, mentre l'aumento delle altre stazioni è più moderato, ma ancora abbastanza sensibile. Si tratta invero, eccetto Pisa, il cui incremento è assai debole, di grandi città dove lo sviluppo urbanistico e industriale è stato notevole. L'aumento della temperatura riscontrato potrebbe essere messo allora in relazione con tali fenomeni i quali, senza dubbio, determinano variazioni progressive dell'ambiente; variazioni che, com'è noto, hanno un'influenza notevole sull'andamento della temperatura, sì che una variazione di questa, come l'aumento riscontrato, potrebbe non essere rappresentativo di un andamento più generale, ma effetto di situazioni locali. Il confronto con tali stazioni rischia pertanto di essere poco significativo, date anche le diverse

TAB. 7

VARIAZIONI SECOLARI DELLA TEMPERATURA E DELLE
PRECIPITAZIONI ANNUE IN ALCUNE GRANDI CITTÀ ITALIANE

Variazioni in 100 anni	Livorno	Pisa	Roma	Napoli	Milano	Trieste
Temperatura	- 0°,1	+ 0°,2	+ 0°,9	+ 1°,1	+ 1°,0	+ 0°,5
Precipitazioni (mm) . .	- 8,8	- 89,2	- 185,8	+ 21,8	- 25,3	- 51,1

dimensioni delle città correlate. Si può notare infatti che l'aumento è pressappoco proporzionale alle dimensioni degli agglomerati urbani.

Per quanto riguarda le precipitazioni, esiste una concordanza abbastanza stretta tra Livorno e le stazioni prese in esame, poiché si riscontra una tendenza generale (eccetto per Napoli, dove si verifica un aumento) alla progressiva diminuzione delle piogge annue. Forse non è azzardato affermare che in questo caso si tratta di un fenomeno che non riguarda esclusivamente l'ambiente ristretto delle città campione. E' 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 (19). Anche per quanto riguarda la temperatura, la tendenza alla diminuzione riscontrata a Livorno concorderebbe con l'affermazione che sarebbe iniziato un periodo di raffreddamento o, per lo meno, che l'incremento della temperatura sarebbe in attenuazione.

(19) M. PINNA, *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; cfr. pp. 254-255.

120 YEARS OF METEOROLOGIC OBSERVATIONS IN LEGHORN, 1857-1976. — The Meteorologic Observatory of Leghorn began its activity in 1856 and except the interruption due to war events still continues its activity.

In this work 120 years of observations i.e. from 1857 to 1976 have been taken into examination and the main purpose has been to point out the fluctuations of the elements of the climate and its possible variations. As a matter of fact it was clear that not only there is a remarkable interannual variability in temperatures and precipitations but also an alternation of warm and cold periods, of rainy and dry ones. Also as to winds it was noticed a slight variability in particular as far as the predominant wind direction is concerned which from NE has shifted to E in these recent years while the highest average velocities pertain to the SW winds that have always been unopposed. Actually the wind *régime* has remained unchanged except a slight contraction of the western ones in the warm months.

As a whole it can be stated that, within certain limits, the climate has undergone some slight variations as, starting from 1917, the kind of *subhumid* climate (term proposed by Thornthwaite) alternated with the *subarid* one, while it was noticed a slight tendency to fall in temperatures (one tenth of degree per century) in contrast with a tendency to rise shown in large towns.

Also as to precipitations it was noticed a downtrend and once again the rate was rather low (8.8 mm per century) particularly if compared with the rate of Rome which showed a decrease of 186 mm per century.