

F. RAPETTI (*)

TENDENZE ATTUALI DEL CLIMA TERMICO INVERNALE ED ESTIVO A LUCCA (TOSCANA) (1929-2003)

Riassunto - Si analizzano le temperature medie degli Inverni e delle Estati a Lucca, il numero dei *giorni con gelo* ($T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$) e di *giorno* ($T_{\max} \leq 0^{\circ}\text{C}$), quello dei *giorni tropicali* ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) e quello dei giorni con la temperatura massima diurna maggiore di 35°C , sulla base delle osservazioni meteorologiche condotte nella città toscana dall'Ufficio Idrografico di Pisa dal 1929 (1), con particolare riguardo alle tendenze registrate nell'ultimo quindicennio. Le temperature medie invernali registrano un lieve *trend* positivo, stimabile in $0,14^{\circ}\text{C}/\text{decennio}$, pur mostrando una modesta flessione nell'ultimo quinquennio, confermata da un consistente aumento del numero annuo dei giorni con gelo osservato dall'inizio degli anni Novanta, seguente ad una fase, iniziata all'inizio degli anni Sessanta, di Inverni caratterizzati invece da un basso numero di tali giorni. Anche le temperature medie estive mostrano una lieve tendenza generale all'aumento, dello stesso ordine di quelle invernali, con una netta accentuazione dell'incremento dagli inizi degli anni Novanta; tale tendenza è stata accompagnata dal costante e forte aumento del numero annuo dei giorni tropicali e di quello dei giorni tropicali consecutivi. Il culmine di tale recente tendenza si è verificato nel 2003, quando è stata registrata la temperatura media estiva nettamente più elevata dal 1929 ed i record dei *giorni tropicali* (86 giorni), di quelli consecutivi tropicali (30 giorni), del numero di giorni con temperatura massima diurna maggiore di 35°C (22 giorni) e della temperatura massima assoluta ($40,2^{\circ}\text{C}$). Le eccezionali temperature estive del 2003, condizionate dall'azione dell'anticiclone delle Azzorre e di quello dell'Africa settentrionale, hanno determinato condizioni di *disagio termico* di elevatissima intensità per le popolazioni, effetti molto gravi sulle attività agricole, e importanti ripercussioni sullo stato di disseccamento dei suoli, e in specie di quelli argillosi, come condizione predisponente ai processi di erosione.

Parole chiave - Climatologia, temperature invernali, temperature estive, Lucca (Toscana).

Abstract - *Trends of Winter and Summer thermic climate in Lucca (Tuscany) (1929-2003)*. Mean Winter and Summer temperatures in Lucca are examined, along with the number of *days with frost* ($T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$) and *days of frost* ($T_{\max} \leq 0^{\circ}\text{C}$), the number of *tropical days* ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) and of days with maximum daytime temperature over 35°C ; meteorological observations collected in Lucca by the Ufficio Idrografico di Pisa since 1929 are taken into account, with special reference to the trends recorded during the last fifteen years. Mean Winter temperatures show a general trend towards a slight increase, assessable at about $0,14^{\circ}\text{C}$ per decade, although they seem to be slightly decreasing in the last five years: this trend is corroborated by a remarkable increase of the total number of days with frost per year, to start from the very ear-

ly Nineties, just after a period – to date from the beginning of the Sixties – of Winters that had clearly shown a decreasing trend in the number of such days. Also Summer mean temperatures, not unlike the Winter ones, show a general trend towards a slight increase, which gets much stronger from the very early Nineties; such trend goes along with a constant and strong increase of tropical days per year and of consecutive tropical days. The acme of such recent trend was recorded in the year 2003, when the highest Summer mean and absolute temperatures from 1929 occurred ($40,2^{\circ}\text{C}$), as well as the highest number of *tropical days* (86 days), of consecutive tropical days (30 days) and of days with maximum daytime temperature over 35°C (22 days). The extraordinary Summer temperatures recorded in the year 2003, due to the action of the Azores anticyclone and of the Northern African one, produced as a result conditions of severe *thermic disease* for people, serious damages for agricultural activities and heavy consequences on the state of desiccation of soils, especially on the clayey ones, as a predisposition to erosion processes.

Key words - Climatology, Winter temperatures, Summer temperatures, Lucca (Tuscany).

INTRODUZIONE

Vi è generalmente accordo sul fatto che nell'ultimo decennio del XX secolo la temperatura media della Terra abbia raggiunto i valori più elevati dalla metà dell'Ottocento e, nel complesso, sulla base di dati indiretti, sia di natura documentale, sia di natura paleoclimatologica, l'ultimo secolo sia stato il più caldo dell'ultimo millennio (Jones *et al.*, 1998; Mann *et al.*, 1999). Si tratta di valutazioni controverse, per l'oggettiva difficoltà di definire con la necessaria precisione la temperatura media planetaria e il suo andamento nel tempo. Tali difficoltà, oltre che dipendere dalle modalità di misura delle temperature e dalle tecniche utilizzate nell'elaborazione dei dati, sono legate alle diverse tendenze che si manifestano nel complesso mosaico delle province climatiche che coprono l'intera superficie terrestre. In Italia, secondo uno studio di Giuffrida & Conte (1991), su un totale di ventisette stazioni termometriche di funzionamento quasi centenarie, distribuite con accettabile omogeneità sul territorio nazionale, in quindici stazioni è stato osservato un trend positivo delle temperature annue e, nella sola stazione di Cuneo, una tendenza negativa. Un particolare interesse climatologico e applicativo rivestono le tempera-

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Pisa, via S. Maria 53, 56126 Pisa. E-mail: rapetti@dst.unipi.it.
Research by «Cofin 2002: Erosione idrica del suolo in ambiente mediterraneo» (Resp. Naz. Prof. G. Rodolfi).

(1) Si ringrazia la Regione Toscana – Servizio Idrologico (Ufficio di Pisa) – per avere messo a disposizione i dati termometrici inediti di Lucca dal 1997 al 2003.

ture invernali ed estive: nello studio citato è risultato che nella maggior parte delle stazioni le temperature medie invernali, con l'eccezione di quelle della Sicilia, sono stabili; quelle dell'Estate mostrano un trend negativo in due casi e una tendenza all'aumento nelle stazioni della Calabria, della Sardegna e della Sicilia. In Toscana, dai primi decenni del Novecento fino agli anni Novanta, le temperature medie dell'Inverno hanno segnato una sensibile tendenza all'aumento, mentre quelle dell'Estate, con poche eccezioni, sono risultate sostanzialmente stabili o in lieve diminuzione. Tali andamenti, osservati sia in località rurali, sia in centri urbani di diversa dimensione, potrebbero indicare una tendenza del clima verso una riduzione dell'escursione termica annua (Rapetti & Vittorini, 1992).

VERIFICA DELLA RAPPRESENTATIVITÀ METEOROLOGICA E STATISTICA DELLE OSSERVAZIONI

Secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale il clima attuale viene definito dalle condizioni medie degli elementi meteorologici raccolti in dato luogo negli ulti-

mi trenta anni (*valori normali*). La lunghezza di tale periodo, del tutto convenzionale, deriva dal compromesso tra la necessità di dare al topoclima un tempo sufficientemente lungo per manifestarsi e stabilizzarsi e l'opportunità di considerare periodi non tanto lunghi da consentire qualche significativa variazione nella struttura del clima (Rosini, 1988).

Allo scopo di attestarne la validità, le serie termometriche di lunghezza superiore a trenta anni, come nel caso in studio, devono essere precedute da indagini che ne provino la rappresentatività meteorologica (*omogeneità non climatica*) e statistica (*omogeneità climatica*).

Per la verifica della *omogeneità non climatica*, legata alla storia operativa della stazione, si è tracciato il diagramma cumulativo dei valori medi annui delle temperature minime, massime e medie dell'Inverno e dell'Estate in funzione del tempo (Fig. 1).

La sostanziale sovrapposizione delle curve cumulate con le relative rette di regressione, attestata da coefficienti di determinazione (R^2) prossimi o uguali a uno, indica che la serie presenta un soddisfacente grado di omogeneità non climatica e, per conseguenza, una buona rappresentatività meteorologica dei dati rilevati

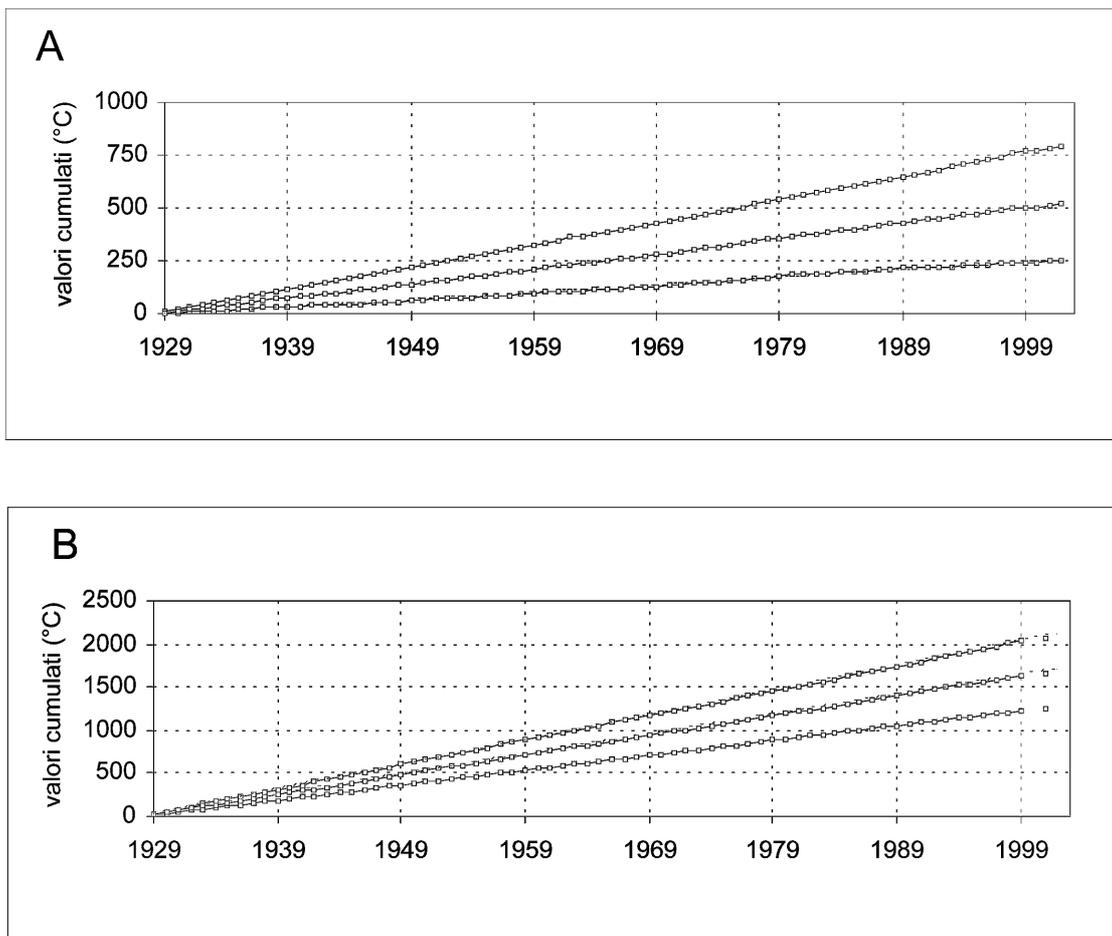


Fig. 1 - Curve cumulate delle temperature minime, medie e massime degli Inverni (A) e delle Estati (B) a Lucca (1929-2003).

(Cortemiglia, 2002), nonostante gli spostamenti ai quali è stata soggetta in due circostanze la stazione termometrica di Lucca (Rapetti, 1996).

Per il controllo della *rappresentatività statistica* dei dati di osservazione è necessario stabilire se essi possano essere considerati campioni parziali di un *universo virtuale* infinitamente esteso, dovendo in tal caso possedere i caratteri della *casualità*, dell'*indipendenza* e dell'*omogeneità*. Tali indagini possono svilupparsi secondo due distinti procedimenti: nel primo tipo di sviluppo, constatato che l'insieme dei dati campionari non abbia una distribuzione interna determinata, si procede all'applicazione di test detti *non parametrici*; nel secondo, quando la distribuzione dell'insieme dei dati campionari sia esprimibile per mezzo di una funzione matematica, generalmente riferibile ad una distribuzione normale, si procede all'applicazione di test detti *parametrici*. Nella valutazione della validità della serie termometrica si tratta, in altri termini, di assumere una *decisione statistica*, che presenta due alternative: la prima, indicata come *ipotesi nulla* (H_0), definisce, a meno di un prefissato livello di significatività, la corrispondenza tra campione e popolazione virtuale infinita; la seconda, indicata come *ipotesi alternativa* (H_1), verifica la non corrispondenza del campione rispetto a quello atteso.

Per la valutazione della omogeneità climatica in questa indagine è stato utilizzato il test *non parametrico* dei massimi e delle fasi, dalla cui applicazione è risultato che il numero dei massimi, dei minimi e delle fasi è compreso entro l'intervallo di confidenza del 5% dei rispettivi valori di probabilità teorica (Kivéliovitch & Vialar, 1953; Thom, 1972). Tale esito consente, con l'accettazione dell'*ipotesi nulla* (H_0), di rilevare il carattere sostanzialmente indipendente e aleatorio e la scarsa organizzazione della serie termometrica.

TEMPERATURE INVERNALI

Nello studio di lunghe serie termometriche la nozione di Inverno freddo o tiepido non ammette definizioni universalmente accettate, per la difficoltà di fissare criteri validi per qualunque luogo e per qualunque combinazione degli andamenti termici che concorrono alla qualificazione di tale stagione. Nel corso del Novecento

si sono verificati infatti Inverni con episodi di freddo estremo ma di breve durata, come quello che nel Gennaio 1985 ha interessato gran parte dell'Italia centro-settentrionale e, con particolare intensità, la Toscana settentrionale (Rapetti & Vittorini, 1986), ed Inverni caratterizzati da una distribuzione più omogenea delle basse temperature, come ad esempio si è verificato nell'Inverno del 1963. In questa indagine il criterio ordinatore adottato è stato quello del valore crescente della temperatura media stagionale, pur nella debita considerazione degli indicatori dell'intensità del freddo, quali il numero totale di giorni con gelo ($T_{\min} \leq 0^\circ\text{C}$), il numero massimo consecutivo di tali giorni, il numero di giorni di gelo ($T_{\max} \leq 0^\circ\text{C}$) e la temperatura stagionale minima assoluta (Rapetti, 1996).

Gli Inverni nettamente più freddi sono stati quelli del 1929 e del 1942, durante i quali si registrò anche il numero più elevato di giorni con gelo, seguiti da quello del 1963. Le temperature medie più elevate furono invece registrate nel 1977, quando, eccezionalmente, in nessun giorno della stagione il termometro segnò valori negativi (Tab. 1).

Nella città toscana la temperatura media dell'Inverno è stata di $7,1^\circ\text{C}$, con valori estremi di $3,5^\circ$ nel 1929 e di $9,7^\circ$ nel 1977; la media delle minime e delle massime è risultata rispettivamente di $3,4^\circ$ e di $10,8^\circ\text{C}$. Il numero di giorni con gelo, il cui valore medio di periodo è stato di 19,9, ha fatto registrare un campo di variazione compreso tra 0 e 54 giorni. Di giorni di gelo, che a Lucca costituiscono una rarità meteorologica, dal 1929 se ne sono verificati 8, con 2 giorni nell'Inverno del 1956 e del 1985, e con 1 giorno nel 1932, 1947, 1963 e 1968 (Tab. 2).

L'andamento interannuale del numero di giorni con gelo, fatta eccezione per il 1963, mostra una loro progressiva diminuzione dal 1929 al 1977, anno durante il quale la temperatura minima assoluta dell'Inverno è stata di $0,4^\circ\text{C}$ (18 Gennaio), e un loro successivo aumento, più marcato dall'inizio degli anni Novanta (Fig. 2).

L'aggregazione dei dati per quindicenni indica un progressivo aumento delle temperature minime e una sostanziale stabilità delle massime fino al periodo 1974-1988, seguito da una netta flessione delle minime ed un aumento significativo delle massime nell'ultimo quindicennio, quando si è registrato il valore

Tab. 1 - Classificazione degli Inverni per intensità in senso freddo e in senso tiepido a Lucca (primi due casi) (1929-2003).

	Anno	T_{med}	T_{min}	T_{max}	gg. con gelo	gg. consec. con gelo	gg. di gelo	T_{min} assoluta
Grandi Inverni ($T < 4,5^\circ$)	1929	3,5	-0,7	7,6	54	19	0	-11,5
	1942	4,3	0,3	8,3	42	18	0	-8,5
Inverni molto rigidi ($4,5^\circ \leq T \leq 5,0^\circ$)	1963	4,5	1,2	7,8	43	20	1	-7,8
	-	-	-	-	-	-	-	-
Inverni tiepidi ($8,0^\circ \leq T \leq 8,5^\circ$)	2000	8,5	3,9	13,1	20	6	0	-4,5
	2001	8,4	4,4	12,4	10	3	0	-2,8
Inverni miti ($T > 8,5^\circ$)	1977	9,7	7,3	12,1	0	0	0	0,4
	1980	9,1	5,8	12,3	1	1	0	-0,2

Tab. 2 - Campo di variazione delle temperature medie invernali, del numero di giorni con gelo, di quelli consecutivi con gelo, di quelli di gelo e dei valori minimi diurni assoluti a Lucca (1929-2003).

Inverno							
	T_{min}	T_{max}	T_{med}	gg. con gelo	gg. consec. con gelo	gg. di gelo	T_{min} assoluta
Min Data	-0,7 1929	7,6 1929	3,5 1929	0 1977	0 1977/88	0 vari	-13,4 1985
Max Data	7,3 1977	13,1 2000	9,7 1977	54 1929	25 1956	2 1956/85	0,4 1977
Media	3,4	10,8	7,1	19,9	7,4	0,1	-

medio più elevato dei giorni con gelo di tutto il periodo (Tab. 3).

Nel complesso le temperature medie stagionali mostrano una tendenza positiva, stimabile in $0,2^{\circ}\text{C}$ per quindicennio e alcune deboli fluttuazioni positive e negative; tra queste ultime appare di un certo interesse quella che ha riguardato l'ultimo periodo. La media delle massime mostra, rispetto a quella delle minime, una più spiccata tendenza generale all'aumento, mentre queste ultime, dal culmine raggiunto nel 1977, hanno subito una progressiva e sensibile riduzione (Fig. 2). Tale divaricazione ha determinato un forte aumento dell'escursione media diurna, che nel 1990 ha raggiunto il valore massimo della serie (Fig. 9).

TEMPERATURE MINIME ASSOLUTE DEGLI INVERNI

A differenza dei valori medi della temperatura, il verificarsi di eventi termici estremi può essere considerato un accadimento casuale, poiché le condizioni meteorologiche

che lo determinano risultano da combinazioni non lineari dei possibili stati dell'atmosfera, che hanno le caratteristiche proprie degli eventi casuali. Le temperature estreme costituiscono un campione di una popolazione infinita, virtualmente estesa senza limiti di tempo. Per calcolare la frequenza delle temperature estreme degli inverni, come di altri fenomeni meteorologici o idrologici, si può ricorrere all'*intervallo di ricorrenza*:

$$I_r = (N + 1)/M$$

dove N indica il numero di anni del catalogo considerato e M è il numero d'ordine della temperatura minima assoluta di ciascun Inverno della serie, disposta in ordine di grandezza decrescente. L'andamento degli intervalli di ricorrenza in funzione delle temperature minime assolute è sostanzialmente lineare nel campo dei valori compreso tra $-1,3^{\circ}$ (1930) e $-6,2^{\circ}\text{C}$ (1940); nella coda superiore escono dalla linearità i valori del 1980 ($-0,2^{\circ}$) e del 1977 ($0,4^{\circ}$), in quella inferiore i

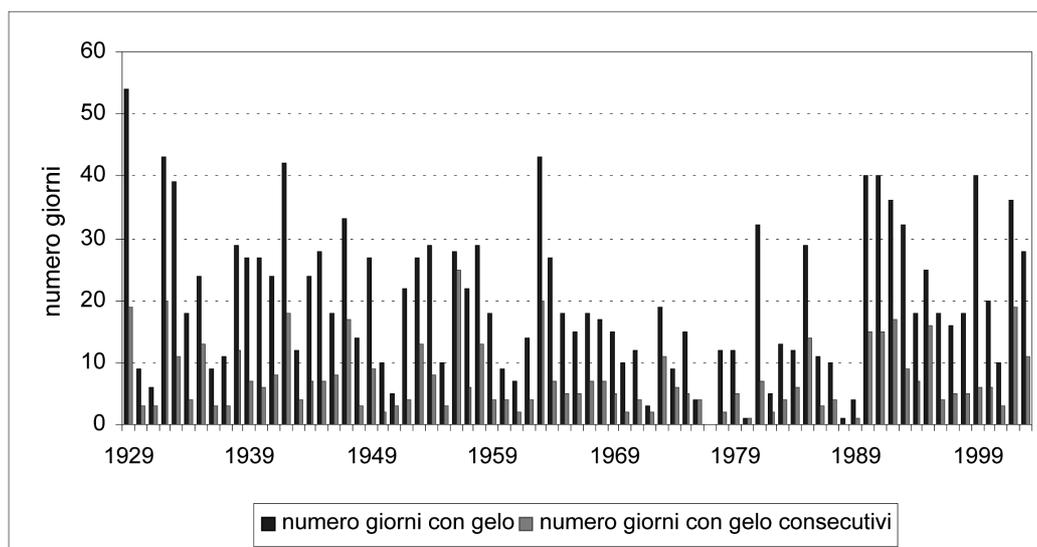


Fig. 2 - Andamento interannuale del numero di giorni con gelo e dei giorni consecutivi con gelo a Lucca (1929-2003).

Tab. 3 - Valori medi quindicennali delle temperature invernali, del numero di giorni con gelo e di gelo a Lucca (1929-2003).

Inverno					
Decenni	T _{min}	T _{max}	T _{med}	gg. con gelo	gg. di gelo
1929-43	2,7	10,4	6,6	24,9	0,1
1944-58	3,3	10,6	6,9	21,7	0,2
1959-73	3,7	10,5	7,1	16,3	0,1
1974-88	4,4	10,9	7,7	11,1	0,1
1989-03	2,8	11,9	7,4	25,4	0,0
Media	3,4	10,9	7,1	19,9	0,1

valori tra $-6,2^{\circ}$ (1940) e $-8,8^{\circ}$ (1968), e in modo molto marcato i valori di $-11,5^{\circ}$ (1929) e di $-13,4^{\circ}\text{C}$ (1985), che appartengono infatti agli Inverni durante i quali si sono verificati gli episodi di freddo più intenso nell'ultimo secolo (Fig. 4).

TEMPERATURE ESTIVE

Per la classificazione delle Estati valgono le considerazioni già espresse per gli Inverni: nel periodo in studio sono state osservate stagioni caratterizzate da episodi di caldo molto intenso ma di breve durata, come si è verificato nel 1983, ed Estati nelle quali le alte temperature hanno dominato l'intero periodo. Anche per questa stagione il criterio di ordinamento adottato è stato quello del valore crescente della temperatura media stagionale, pur con la debita considerazione degli indicatori dell'intensità del caldo, quali il numero totale di giorni tropicali ($T_{\text{max}} \geq 30^{\circ}\text{C}$), il numero massimo consecutivo di tali giorni, il numero di giorni con $T_{\text{max}} \geq 35^{\circ}\text{C}$, e il valore massimo assoluto della temperatura (Rapetti, 1996) (Tab. 4).

L'Estate più fresca è stata quella del 1989, seguita da quelle del 1954 e del 1980: in queste stagioni furono registrati scarti negativi dalla media di periodo rispettivamente di $2,5^{\circ}$ e $1,7^{\circ}$. Le Estati più calde si sono verificate nel 1950, 2000 e nel 2003.

La temperatura media dell'Estate è stata di $23,1^{\circ}\text{C}$, con valori estremi di $20,6^{\circ}$ nel 1989 e di $26,7^{\circ}$ nel 2003; la media delle minime e delle massime è risultata rispettivamente di $17,4^{\circ}$ e di $28,8^{\circ}\text{C}$. Il numero di giorni tropicali, il cui valore medio di periodo è stato di 37,5 giorni, ha fatto registrare un campo di variazione compreso tra 2 e 86 giorni. Il numero medio dei giorni con temperatura massima diurna maggiore di 35° è stato di 3,2, con valori estremi di 0 giorni in vari anni e di 22 giorni nel 2003 (Tab. 5).

L'andamento interannuale del numero di giorni tropicali mostra alcune evidenti fluttuazioni: il minimo assoluto di tali giorni cade nel 1940 (2 giorni); segue una fluttuazione positiva centrata sul 1950, quando si verificarono 64 giorni tropicali; dal 1990 al 2003 si osserva un numero molto elevato di giorni tropicali, con un valore medio di 57,3 giorni, con uno scarto positivo sulla media del periodo di 19,8 giorni, fino

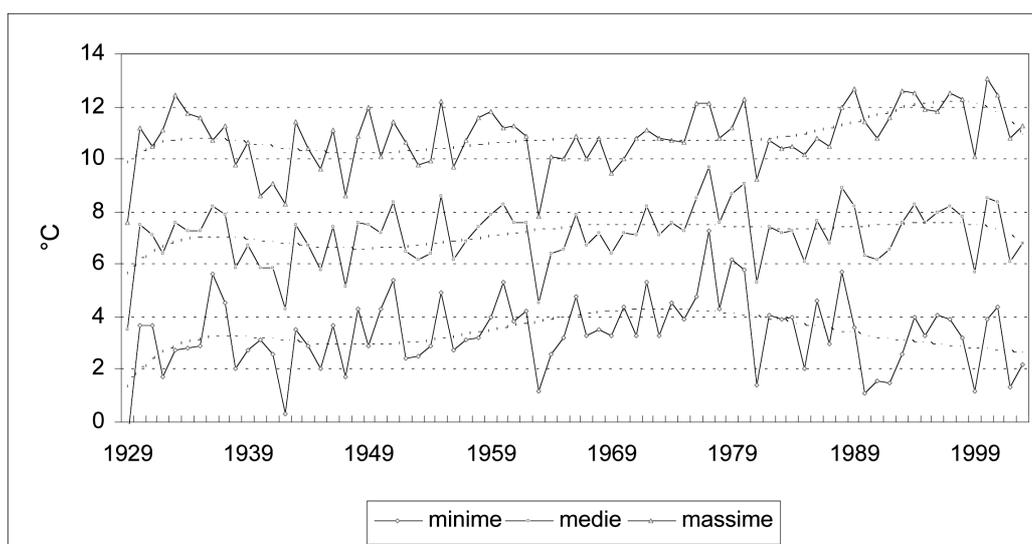


Fig. 3 - Andamento interannuale delle temperature minime, medie e massime degli Inverni a Lucca (1929-2003).

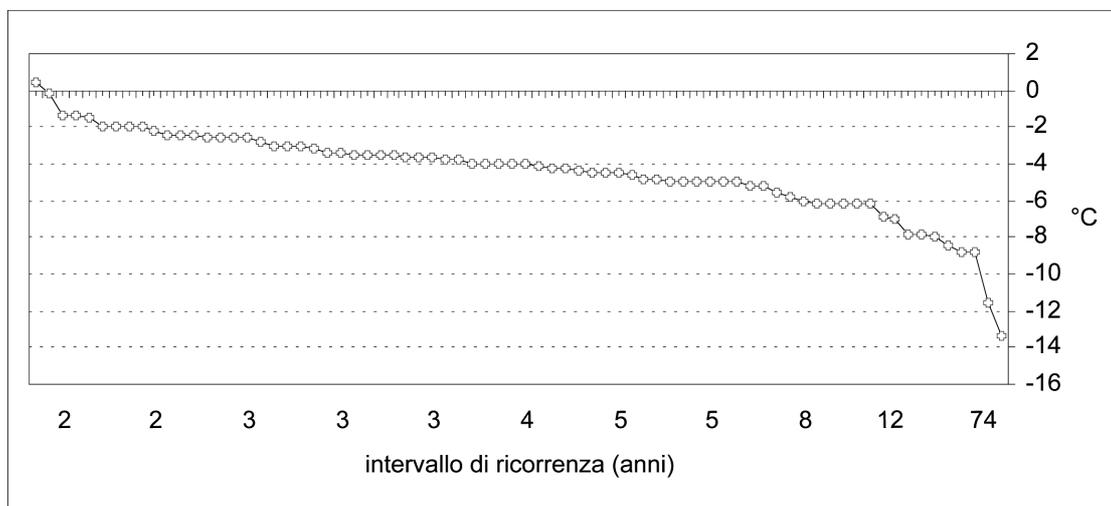


Fig. 4 - Frequenza delle temperature minime assolute annue a Lucca (1929-2003).

Tab. 4 - Classificazione delle Estati per intensità in senso tiepido e in senso caldo a Lucca (due casi) (1929-2003).

	Anno	T _{med}	T _{min}	T _{max}	gg. tropicali	gg. consec. tropicali	gg. T _{max} ≥ 35°C	T _{max} assoluta
Estati molto fresche (T < 21°)	1989	20,6	14,4	26,8	20	0	0	33,0
Estati fresche (21,0° ≤ T ≤ 21,5°)	1954	21,4	16,0	26,8	17	5	0	32,4
	1980	21,4	16,5	26,2	14	7	1	35,0
Estati calde (24,0° ≤ T ≤ 24,5°)	1993	24,1	17,6	30,5	59	35	11	37,0
	1983	24,1	18,3	29,9	46	24	7	39,5
Estati molto calde (T > 24,5°)	2000	25,2	18,6	31,7	71	24	15	38,5
	2003	26,7	19,6	33,7	86	30	22	40,2

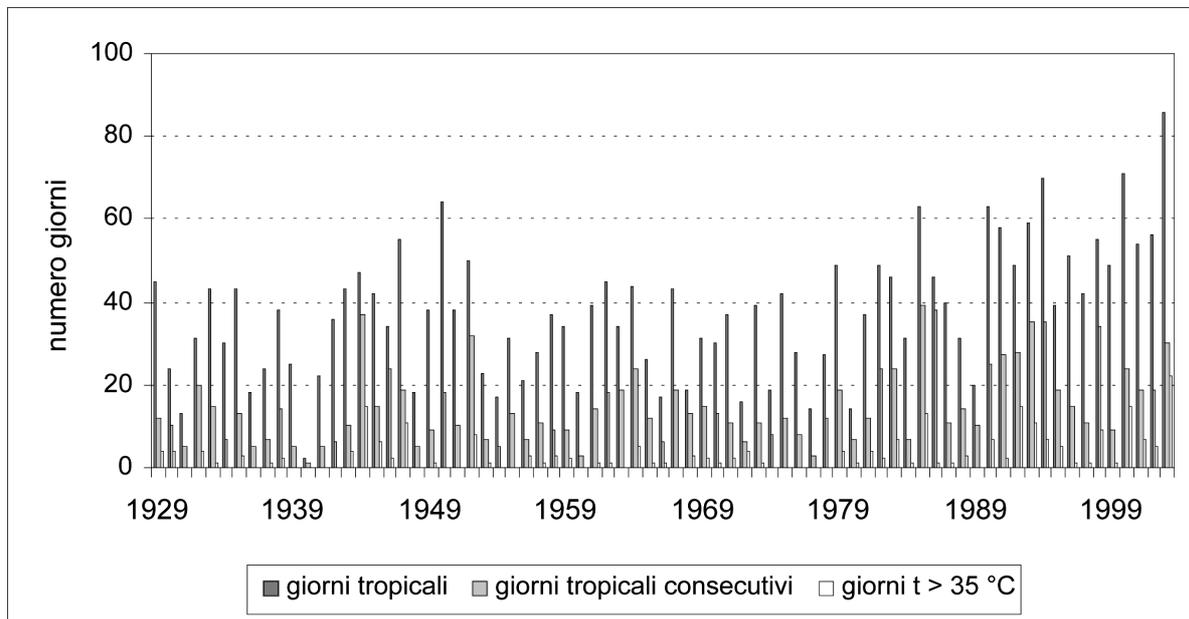
Tab. 5 - Campo di variazione delle temperature medie estive, del numero dei giorni tropicali, di quelli tropicali consecutivi, di quelli con T_{max} ≥ 35°C e dei valori termici estremi diurni a Lucca (1929-2003).

	Estate						
	T _{min}	T _{max}	T _{med}	gg. tropicali	gg. consec. tropicali	gg. T _{max} ≥ 35°	T _{max} assoluta
Min	13,0	26,2	20,6	2	1	0	30,9
Data	1932	1980	1989	1940	1940	vari	1940
Max	21,9	33,6	26,7	86	39	22	40,2
Data	1931	2003	2003	2003	1985	2003	2003
Media	17,4	28,8	23,1	37,5	15,0	3,2	-

al massimo assoluto di 86 giorni registrato nel 2003 (Fig. 5).

L'aggregazione dei dati per quindicenni indica andamenti fluttuanti delle temperature medie estive fino all'ultimo periodo (1989-2003), caratterizzato dal netto incremento dei valori termici (Tab. 6).

Nel complesso le temperature medie stagionali mostrano una debole tendenza all'aumento, appena più marcata per le massime, e alcune fluttuazioni positive e negative, centrate rispettivamente intorno alla metà degli anni Quaranta e alla fine degli anni Sessanta. Notevole interesse riveste la tendenza manifestatasi

Fig. 5 - Andamento interannuale del numero di giorni tropicali, dei giorni consecutivi tropicali, dei giorni con $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ a Lucca (1929-2003).

Tab. 6 - Valori medi quindicennali delle temperature estive, del numero di giorni tropicali e di quelli con $T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ a Lucca (1929-2003).

Estate					
Decenni	T_{\min}	T_{\max}	T_{med}	gg. tropicali	gg. $T \geq 35$
1929-43	17,2	28,4	22,8	29,1	1,5
1944-58	17,3	28,8	23,1	36,2	3,4
1959-73	17,3	28,3	22,8	31,5	1,6
1974-88	17,6	28,6	23,1	35,7	2,5
1989-03	17,4	30,1	23,8	54,8	7,2
Media	17,4	28,8	23,1	37,5	3,2

nell'ultimo quindicennio, caratterizzata da un sensibile incremento dei valori termici, fino al picco eccezionale registrato nel 2003 (Fig. 6).

TEMPERATURE MASSIME ASSOLUTE DELLE ESTATI

L'andamento degli intervalli di ricorrenza in funzione delle temperature massime assolute annue è sostanzialmente lineare nel campo dei valori compreso tra 34° (1930) e 38°C (2001), nel quale cade il 76% delle osservazioni; nella coda inferiore escono dalla linearità 11 casi, dal valore di $30,9^{\circ}$ (1940) a quello di $34,0^{\circ}$ (1942), in quella superiore i valori che si discostano dalla linearità sono 7, da $38,4^{\circ}$ (1952) a $40,2^{\circ}\text{C}$ (2003) (Fig. 7).

ESTATE 2003

In tutta l'Europa l'Estate 2003 ha rappresentato, per durata ed intensità delle alte temperature, un evento eccezionale. Tale anomalia climatica, fino a Luglio più intensa sul Mediterraneo, dall'inizio di Agosto, sotto l'azione congiunta dell'anticiclone delle Azzorre e di quello Nord-africano, si è estesa all'Europa atlantica, dalla Francia alla Gran Bretagna, alla Germania.

A Lucca tutti gli indicatori del caldo intenso non trovano riscontro negli ultimi settantacinque anni, compreso il numero di *notti tropicali* ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$), che costituiscono un indicatore molto efficace del disagio termico per le popolazioni. Nel corso della stagione se ne sono verificate 38, delle quali 7 consecutive, dal 10 Agosto al 16 Agosto. Nella graduatoria delle stagioni più calde il massimo secondario appartiene all'Estate 2000, mentre il terzo valore al 1994, con scarti positivi rispetto alle medie di periodo rispettivamente di $3,5^{\circ}$, $2,1^{\circ}$ e $1,8^{\circ}\text{C}$ (Tab. 7).

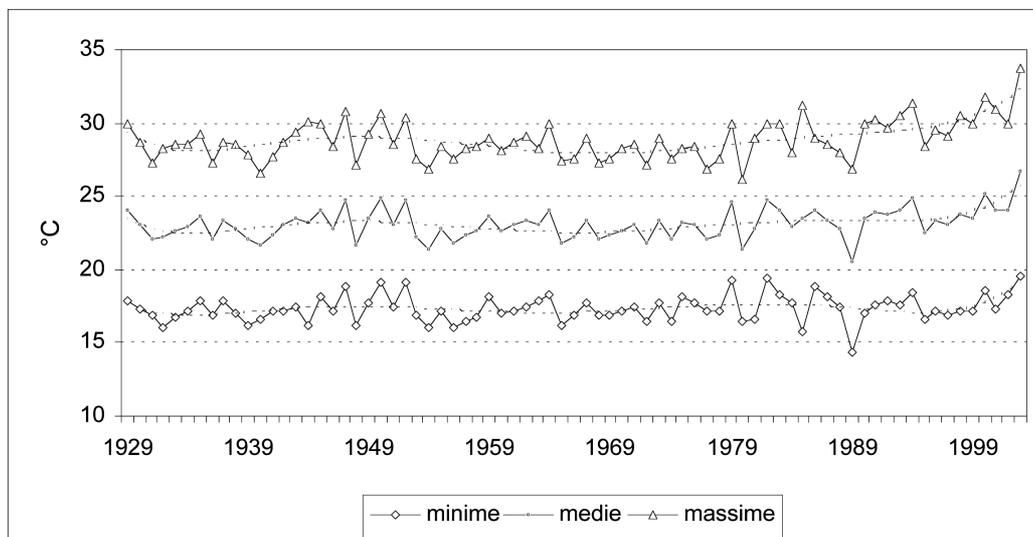


Fig. 6 - Andamento interannuale delle temperature minime, medie e massime delle Estati a Lucca (1929-2003).

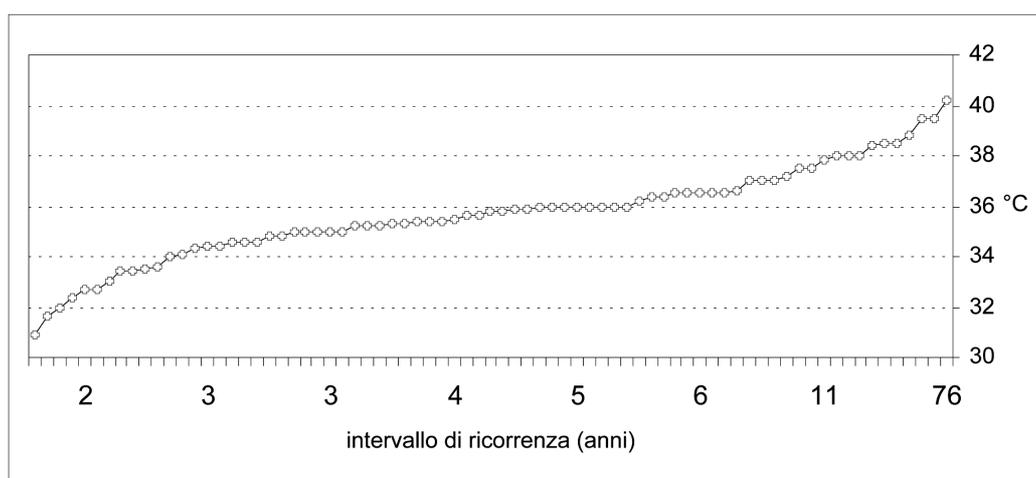


Fig. 7 - Frequenza delle temperature massime assolute annue nelle Estati a Lucca (1929-2003).

Tab. 7 - Confronto tra gli indicatori delle alte temperature nelle Estati più calde a Lucca rispetto i valori medi del periodo 1929-2003.

Casi	Anno	T_{\min}	ΔT	T_{\max}	ΔT	T_{med}	ΔT	gg. $T_{\max} \geq 30^\circ$	Δn°	gg. $T_{\min} \geq 20^\circ$	gg. $t \geq 35^\circ$	Δn°	$t_{\text{med}} \cdot \text{diur.}$
I	2003	19,6°	+2,2°	33,7°	+4,9°	26,7°	+3,5	86	+48,5	38	22	+18,8	14,1
II	2000	18,6°	+1,2°	31,7°	2,9	25,2°	+2,1	71	+33,5	-	15	+11,8	13,1
III	1994	18,4	+1,0	31,4	+2,6	24,9	+1,8	70	+32,5	34	7	+3,8	13,0

Le prime avvisaglie delle alte temperature che si sarebbero verificate nei mesi successivi si erano manifestate fin dall'inizio di Maggio, quando erano stati osservati 10 giorni tropicali, dei quali il più precoce, verifi-

catosi il 5 Maggio, aveva visto il termometro salire fino a 31,6°C. Dall'inizio di Giugno era stata osservata una sensibile crescita delle temperature, seguita da una loro brusca diminuzione dal 1 al 5 Luglio, quando

Tab. 8 - Campo di variazione delle temperature minime e massime diurne a Lucca nell'Estate 2003.

Valori estremi	Temperatura	Data
Min delle minime	13,4	05 Luglio
Max delle minime	25,4	30 Agosto
Min delle massime	26,9	01 Agosto
Max delle massime	40,2	06 Agosto
Max delle medie	31,5	06 Agosto
Min delle medie	20,3	05 Luglio

si era registrato il valore più basso stagionale delle minime e delle medie, rispettivamente con 13,4° e 20,3°C. Da quel giorno, salvo la flessione verificatasi il 1 Agosto, nel corso del quale si era verificato il valore minimo delle massime (26,9°), il termometro aveva ripreso a salire fino al 6 Agosto, che nella città toscana ha rappresentato il giorno più caldo dell'Estate 2003, durante il quale sono stati superati tutti i *record* degli anni precedenti (Tab. 8, Fig. 8). Da quel picco termico le temperature hanno iniziato una graduale discesa, fino all'1 Settembre, che ha segnato la fine di una stagione straordinaria. In quest'ultimo mese le temperature, pur mantenendosi relativamente elevate, sono progressivamente rientrate nei valori medi normali.

CONCLUSIONI

L'analisi dei dati dimostra che dall'inizio degli anni Novanta a oggi la tendenza del clima termico dell'Inverno a Lucca si è caratterizzata per una sensibile flessione delle temperature minime, confermata da un aumento significativo del numero di giorni con gelo e di quelli consecutivi con gelo, seguente ad un perio-

do che abbraccia gli anni Settanta e Ottanta, durante il quale, alla sostanziale stabilità delle temperature medie, era stata osservata una consistente riduzione del numero di tali giorni, fino alla loro completa e straordinaria assenza nel 1977.

Le temperature dell'Estate mostrano una sostanziale stabilità fino agli inizi degli anni Novanta, per subire un'impennata che culmina nel 2003, stagione durante la quale, come si è discusso, si sono verificate le temperature più elevate almeno nel corso degli ultimi 75 anni. Tale condizione termica è confermata dal numero eccezionalmente elevato sia dei giorni tropicali, sia delle notti tropicali, sia dei giorni con temperatura massima diurna maggiore di 35°C.

L'escursione termica media diurna, indicativa dei flussi energetici in entrata e in uscita durante il dì e la notte nello strato di atmosfera a contatto con il suolo, avente per dimensione verticale, nel caso in studio, l'altezza media delle essenze di alto fusto presenti nel Giardino Botanico di Lucca e quella degli edifici presenti nel suo intorno, dalla fine degli anni Settanta mostra una sensibile tendenza all'aumento, sia durante l'Inverno, sia durante l'Estate (Fig. 9).

Tale andamento, di non facile interpretazione, è tuttavia legato a variazioni dei flussi verticali turbolenti di calore sensibile e di calore latente, al bilancio netto della radiazione solare e di quella terrestre, al flusso di calore immesso dalle attività antropiche, legati a modificazioni dell'ambiente urbano e, probabilmente, a modificazioni nell'ambiente atmosferico, quali l'umidità relativa dell'aria e la nuvolosità.

Se esiste consenso quasi generale circa l'incremento tendenziale delle temperature medie della superficie terrestre nel corso del XX secolo, stimato in $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ (IPCC), che ha subito una forte accelerazione nell'ultimo quindicennio, più controversa è la spiegazione del

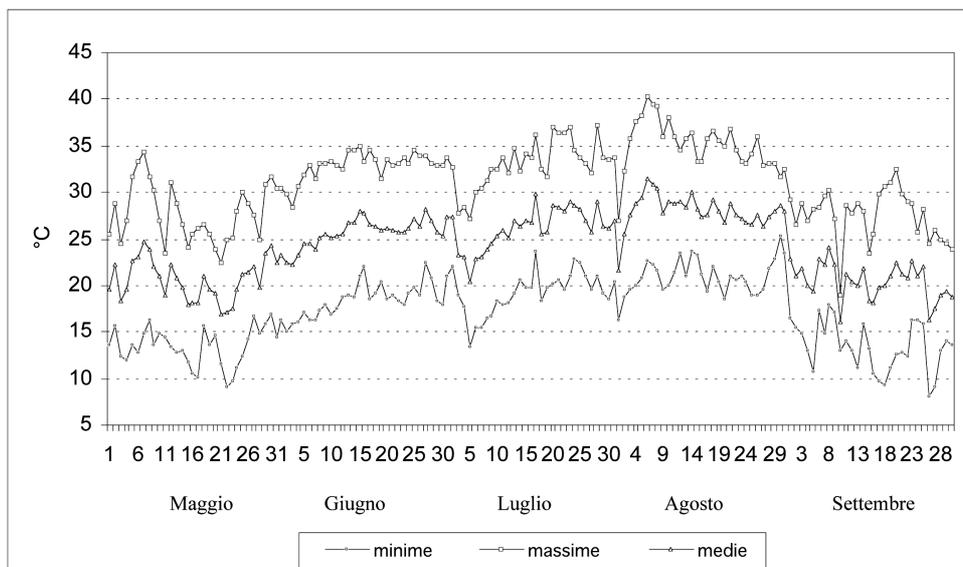


Fig. 8 - Andamento delle temperature minime, medie e massime diurne da Maggio a Settembre 2003 a Lucca.

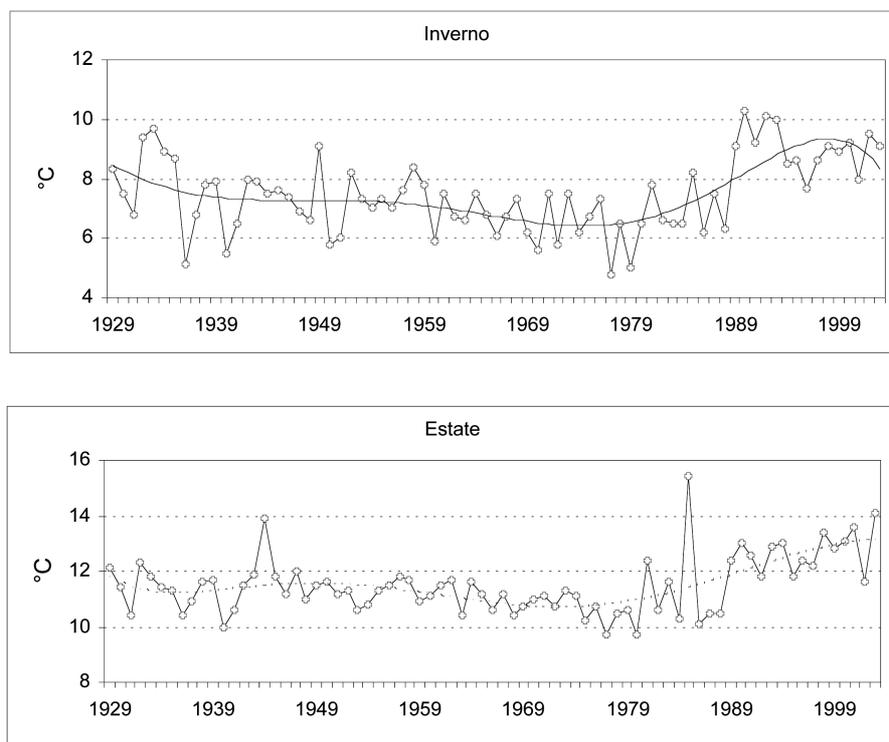


Fig. 9 - Andamento interannuale dell'escursione termica diurna negli Inverni e nelle Estati a Lucca (1929-2003).

fenomeno. A tale proposito nel dibattito odierno sono in campo due indirizzi interpretativi: quello generalmente più seguito indica nell'aumento della concentrazione dei *gas serra* in atmosfera la causa principale del fenomeno; il secondo indirizzo, pur non disconoscendo il ruolo dei *gas serra*, considera il ruolo delle eruzioni vulcaniche e quello delle fluttuazioni dell'attività solare. A quest'ultimo proposito è interessante considerare che l'influenza del Sole sul sistema climatico della Terra non può essere misurata considerando le modeste fluttuazioni della *costante solare*, bensì, più significativamente, attraverso lo studio della turbolenza del suo *vento di particelle*, che fuoriesce dai buchi coronali polari e investe la Terra a grande velocità. Ora, nel 2003, quando si è verificata l'Estate più calda dal 1929, l'attività geomagnetica del Sole ha raggiunto il valore più elevato dal 1868, con una intensità media del campo al suolo di 37 nT, con due violentissimi *flares* verificatisi in Maggio e in Novembre, dell'intensità rispettivamente di 381 nT e di 530 nT. Tali eventi avrebbero condizionato la dislocazione spaziale dei tre centri semipermanenti di azione della dinamica atmosferica sul Mediterraneo, ostacolando la circolazione zonale e favorendo l'espansione dell'anticiclone africano sul bacino del Mediterraneo e sull'Europa centrale. Pur non essendo lo scopo principale di questa ricerca indagare sulle cause dei fenomeni osservati e di fare previsioni per il futuro, non si può fare a meno di considerare come i principali cicli dell'attività geomagne-

tica del Sole, rispettivamente di 11, 22 e 60 anni, oggi in fase tra loro, siano destinati nei prossimi anni a uscire dalla condizione di *fasatura*, con una prevedibile diminuzione dell'attività solare.

BIBLIOGRAFIA

- Cortemiglia G.C., 2002. Messa a punto di una procedura per l'analisi climatica delle serie termopluviometriche storiche italiane con relativa applicazione esemplificativa alla serie storica di Genova (1833-2001). Quaderno N. 3. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse dell'Università di Genova. Litocoop Tortona (AL): 1-162.
- Giuffrida A., Conte M., 1991. L'evoluzione a lungo termine del clima italiano. In: *Le variazioni recenti del clima (1880-1990) e le prospettive per il XX secolo* (a cura di M. Pinna). *Mem. Soc. Geogr. Ital.* 46: 329-342.
- Jones P.D., Briffa K.R., Barnett T.P., Tett S.F.B., 1998. High-resolution Paleoclimatic Records for the Last Millennium: Interpretation, Integration and Comparison with General Circulation Model control run temperatures. *Holocene* 8: 477-483.
- Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K., 1999. Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations. *Geophys. Res. Lett.* 26: 759-762.
- Ministero LL. PP. - Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa (1929-1996). *Annali Idrologici*, Parte I. Roma, Ist. Poligr. dello Stato.
- Rapetti F., Vittorini S., 1986. L'episodio di gelo del Gennaio 1985 in Toscana, con particolare riguardo alla bassa valle dell'Arno. *Riv. Geogr. It.* 93: 437-447.
- Rapetti F., Vittorini S., 1992. Gli estremi termici in Toscana dal 1929 al 1987. *Riv. Geogr. It.* 99: 415-441.

- Rapetti F., 1996. Le temperature invernali e gli episodi di freddo intenso di Lucca dal 1928 al 1996. *Atti Soc. tosc. Sc. nat., Mem., Serie A* 103: 41-50.
- Rapetti F., 1998. Le temperature estive e gli episodi di caldo intenso di Lucca dal 1929 al 1996. *Mem. Riv. Geogr. Ital.* 55. In: Studi in onore di Mario Pinna, P. Ghelardoni (a cura di), Roma: 55-66.
- Rosini E., 1988. Introduzione all'agrometeorologia. Parte Prima: Le basi della climatologia. E.R.S.A. Servizio Meteorologico Regionale, Bologna, 1-158.
- Kivéliovitch M., Vialar J., 1953. Étude statistique des séries chronologiques. *Journ. Scient. Météor.* a. 5^e, 17: 21-46.
- Thom H.C.S., 1972. Quelques methods de l'analyse climatologique. OMM, 199, Secrétariat OMM. Note Technique 81, Genève, 60.

(ms. pres. il 31 luglio 2004; ult. bozze il 28 settembre 2004)

