

FRANCO RAPETTI (*), SEBASTIANO VITTORINI (†)

GLI ANNI FREDDI E UMIDI TRA IL PRIMO E IL SECONDO DECENNIO DELL'OTTOCENTO A CAMAIORE (STATO DI LUCCA-TOSCANA) E LE CONSEGUENZE SULLE POPOLAZIONI E SULL'AMBIENTE

Abstract - *The cold and wet years between the first and second decade of the XIX century in Camaiore (State of Lucca - Tuscany) and their consequences on populations and environment.* The cold and wet period that took place in Camaiore in the second decade of the XIX century caused serious damages to agriculture productions, followed by famine and a strong increase of populations' death-rates. Most of the Authors find the reason of such a negative meteorological trend in the strong volcanic activity at the beginning of the XIX century, namely in the volcanic explosions of a tropical "Unknown Source" (1809) and of the Tambora volcano (1815). However the climatic trend of the time cannot be isolated from its context and from the reasons of the so-called "little ice age", which took place in the northern hemisphere between the second half of the XVI century and the first decades of the XIX century. Climate conditions contributing to the severe state of malnutrition and health emergency among populations in the State of Lucca can be outlined precisely thanks to the high quality meteorological observations produced by Pietrantonio Butori and his heirs in Camaiore between 1777 and 1831. Butori's records show that the decrease in air temperature as well as the increase in hydro-climatic humidity had already started since the first years of the XIX century, that is to say a few years before the 1809 and 1815 volcanic explosions. Due to the strong increase in soil humidity, important hydrogeological phenomena took place, such as increase in soil erosion and a remarkable progression of river Deltas in Tuscany. We may therefore infer that such meteorological trends and their consequences upon people's life and the environment are to be connected mainly to the interaction between cosmic (sun and galactic cosmic rays) and atmospheric phenomena, whereas volcanic activity played a part which was important but still secondary and restricted in time.

Key words - Second decade of the XIX century, Cold-wet climatic phase, "Summerless year", Sunspots, Cosmic rays, Volcanic eruptions, Malnutrition and mortality, Geomorphologic events, Camaiore, State of Lucca, Italy.

Riassunto - *Gli anni freddi e umidi tra il primo e il secondo decennio dell'Ottocento a Camaiore (Stato di Lucca - Toscana) e le conseguenze sulle popolazioni e sull'ambiente.* La fase climatica fredda e umida verificatasi a Camaiore nel secondo decennio dell'Ottocento determinò gravi danni alle produzioni agricole, cui seguirono carestie e significativi incrementi dei tassi di mortalità nelle popolazioni. Per la maggior parte degli Autori la causa di tale andamento meteorologico avverso sarebbe esplicitamente riconducibile alla intensa attività vulcanica dei primi anni dell'Ottocento, in particolare all'evento vulcanico esplosivo di una sorgente tropicale non identificata "Unknown Source" (1809) e del vulcano Tambora (1815). L'andamento climatico di questo periodo non può tuttavia essere isolato dal contesto della "piccola età glaciale", che ha interessato l'emisfero settentrionale tra la seconda

metà del Cinquecento e i primi decenni dell'Ottocento. Le condizioni climatiche che contribuirono a determinare il grave stato di sofferenza alimentare e sanitaria delle popolazioni dello Stato di Lucca possono essere ricostruite grazie al contributo offerto dalle eccellenti osservazioni meteorologiche raccolte da Pietrantonio Butori e dai suoi eredi a Camaiore tra il 1777 e il 1831. Lo studio del catalogo butoriano indica che la diminuzione della temperatura dell'aria e l'aumento dell'umidità idro-climatica erano iniziate fin dai primi anni dell'Ottocento, dunque alcuni anni prima delle esplosioni vulcaniche del 1809 e del 1815. Per il forte incremento dell'umidità del suolo, accaddero anche importanti fenomeni idrogeologici, quali l'intensificazione dell'erosione del suolo e un sensibile avanzamento dei delta fluviali dei fiumi della Toscana. Si può ritenere che gli andamenti meteorologici descritti, e le loro conseguenze sulle popolazioni e sull'ambiente, possano essere correlati principalmente all'interazione tra fenomeni cosmici (raggi cosmici solari e galattici) e atmosferici, mentre l'attività vulcanica avrebbe svolto un ruolo importante, ma subordinato e limitato nel tempo.

Parole chiave - Secondo decennio dell'Ottocento, Fase climatica freddo-umida, "Anno senza estate", Macchie solari, Raggi cosmici, Eruzioni vulcaniche, Malnutrizione e mortalità, Eventi geomorfologici, Camaiore, Stato di Lucca, Italia.

INTRODUZIONE

Nei primi anni dell'Ottocento, ed in particolare nel suo secondo decennio, nello Stato di Lucca si verificarono condizioni meteorologiche molto severe, che determinarono una condizione di grave sofferenza alimentare e sanitaria delle popolazioni (Del Vita *et al.*, 1998), attestata in numerosi documenti dell'epoca (Targioni Tozzetti, 1817). Gli aspetti strettamente climatici di questi accadimenti possono essere ricostruiti con esattezza sulla base delle osservazioni meteorologiche strumentali condotte da Pietrantonio Butori nel centro urbano di Camaiore (fig. 1) tra il 1 gennaio 1777 e gli ultimi giorni di gennaio 1825. Dopo la sua morte, e fino al 30 aprile del 1832, la lettura degli strumenti fu proseguita dal fratello e dal nipote¹ (Butori, Ms. 2917,

¹ Nella scheda manoscritta delle Osservazioni di Butori (*Camaiore 22 febbraio 1743-†Camaiore 5 febbraio 1826) compare, alla data 5 febbraio 1826: "Il 5. di F.º cessò di vivere il Can.º Pietrantonio e si continuano le osservaz.º dal suo Frate e Nipote" (Biblioteca Statale di Lucca, Ms. 2917).

Biblioteca Statale di Lucca; Bertacchi, 1886; Arrighi, 1964; Rapetti, 1995; Rapetti & Vittorini, 2003).



Fig. 1 - Abitazione di Pietrantonio Butori, ubicata a Camaiore in Via Vittorio Emanuele al numero civico 56 (Lat. 43° 56' 19" N; Long. 10° 18' 09" E), già Via di Mezzo. Il termometro era collocato all'interno di una capannina di legno forato posta al lato di una finestra orientata a nord-est, nella facciata opposta a quella rappresentata (foto F. Rapetti, 14 aprile 2014).

Il centro urbano di Camaiore (42 m l.m.m.), ubicato in una conca di probabile origine lacustre (Raggi D. & Raggi G., 1989), è compreso tra le propaggini meridionali delle Alpi Apuane e quelle settentrionali dei Monti d'Oltre Serchio, ai piedi dei monti Matanna (1.317 m l.m.m.), Prano (1.220 m l.m.m.) e Pedone (1.011 m l.m.m.), e la pianura costiera della Versilia. Il torrente Camaiore, che si forma dalla confluenza dei torrenti Lombricese e Lucese, subito a valle del centro urbano, raggiunge il Mare Ligure in direzione di sud-ovest. Il tratto terminale del torrente è perciò aperto ai venti occidentali e alle brezze di mare, mentre il rilievo apuano offre riparo dai venti settentrionali e orientali (fig. 2).



Fig. 2 - Contesto geografico di Camaiore, tra le propaggini meridionali delle Alpi Apuane, i Monti d'Oltre Serchio e il Mare Ligure.

ANDAMENTI CLIMATICI A CAMAIORE NEL SECONDO DECENNIO DELL'OTTOCENTO E LORO CONSEGUENZE SULLE CONDIZIONI DI VITA DELLE POPOLAZIONI

Nello Stato di Lucca, come si può leggere nelle cronache (Targioni Tozzetti, 1817) e nei registri parrocchiali di quel tempo, tra il 1816 e il 1817, sono documentati una fase di forte riduzione delle produzioni agricole e numerosi decessi per fame e per tifo petecchiale (Butori, 1827; Del Vita *et al.*, 1998). La condizione di sofferenza alimentare è confermata da documenti ufficiali del governatore austriaco dello Stato di Lucca Giuseppe Werklein, nei quali, tra gli altri provvedimenti a sostegno degli strati meno abbienti della popolazione, si dispone di incrementare la produzione di patate, soprattutto nelle aree di montagna e di collina, allo scopo di alleviare il loro stato di privazione alimentare (Bollettino delle Leggi della Provincia Lucchese, 16 gennaio 1817)². Il ruolo svolto dal governatore Werklein nella gestione della crisi alimentare e sociale di quegli anni è peraltro contraddittorio, poiché, insieme a provvedimenti che andavano incontro ai bisogni della popolazione, impose un crudele rigore fiscale, messo in atto con modalità da stato di polizia, senza considerare che i raccolti dal 1814 al 1816 furono molto scarsi e la popolazione era ormai giunta in uno stato di completa indigenza, perciò nella impossibilità di adempiere alle richieste del fisco (Mancini, 1950).

Le variazioni in senso freddo e umido del clima di quegli anni abbassarono il limite altimetrico del bosco e di molte colture, e si determinarono perciò conseguenze più gravi in montagna, ma non furono risparmiate neppure le produzioni di pianura e di collina, poiché tale fase climatica produsse, per molti anni consecutivi, un drastico accorciamento della stagione di crescita delle piante coltivate (Briffa *et al.*, 1998), impedendo o rendendo incompleta la maturazione delle coltivazioni montane, dalle castagne al grano e della vegetazione spontanea, di alimento agli animali domestici³. In particolare, il

² Nel tentativo di porre rimedio allo stato di grave denutrizione degli abitanti della montagna e della collina, il tenente colonnello Giuseppe Werklein, reggente dello Stato di Lucca in nome dell'imperatore d'Austria Francesco I, decreta: "Considerando d'altronde che per quanto riguarda la Provvidenza già da molti anni abbia fatto conoscere anche in queste regioni un mezzo il più idoneo per ripararle dagli infortunj, di cui sopra [la carestia], qual è quello della coltivazione delle patate [...]. Nella prossima stagione opportuna per la semenza delle patate dovranno seminarci nella Montagna cinque sacca di patate almeno per ogni cento abitanti, e due nelle colline [...]."

³ A questi fenomeni è riconosciuta una scala geografica molto vasta, poiché in quei decenni, il popolamento umano della montagna, lungo tutto l'arco alpino, subì una fase di declino e di abbandono, soprattutto nelle alte valli, più direttamente interessate dall'avanzamento delle fronti dei ghiacciai. Questa crisi del popolamento della montagna, iniziata già dal Settecento, diventa generale in tut-

progressivo impoverimento, e spesso la scomparsa dei pascoli, aggravata dall'erosione del suolo, determinarono gravi ripercussioni sull'allevamento ovino, che in quel tempo costituiva la fonte principale di proteine per le popolazioni della montagna, per le quali l'alimentazione, costituita principalmente da farina di castagne, da cereali e dai prodotti della pastorizia, era già scarsa, e quasi al limite della sussistenza, anche in condizioni climatiche favorevoli. Da uno studio sulla mortalità in quegli anni risulta, ad esempio, che a Casoli (403 m l.m.m.), piccolo centro abitato poco distante da Camaione, posto sulle pendici occidentali delle Alpi Apuane, abitato allora da circa 600 persone, per l'alimentazione erano disponibili in media 7,95 MJ e 40 grammi di proteine a persona e per giorno (Antonelli & Santini, 1987), mentre, secondo la FAO/OMS (1972), per mantenere in stato di salute una popolazione di quel tempo erano necessari 9,63 MJ e 45 grammi di proteine. Lunghi anni di scarsi raccolti e di carestie spinsero numerosi abitanti della montagna a scendere a valle, in cerca di lavoro e di sostentamento, dove però le loro condizioni di vita non migliorarono, sia per la mancanza di lavoro, sia per la penuria di cibo, ed infine per essere costretti a vivere in ricoveri precari, in pessime condizioni igieniche. Questi fatti determinarono nello Stato di Lucca un drastico aumento del tasso di mortalità, molto più elevato nelle aree di collina e di montagna rispetto a quello di pianura. I decessi più numerosi avvennero nel 1817, perché le popolazioni, già provate dalla carestia del 1816, dalla quale si erano almeno in parte difesi grazie alle sia pur modeste scorte alimentari disponibili, erano ormai giunte allo stremo dei mezzi di sostentamento (fig. 3).

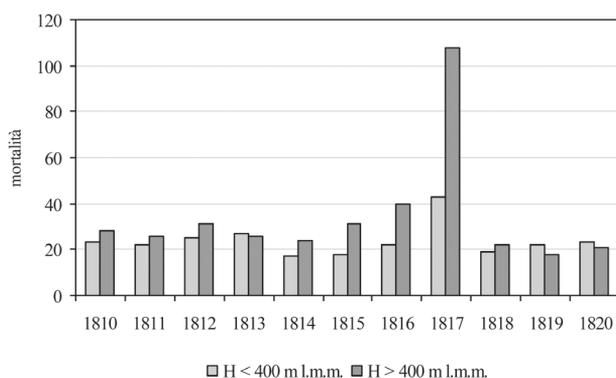


Fig. 3 - Tassi di mortalità (%) nello Stato di Lucca nelle aree di pianura, di collina e montagna tra il 1810 e il 1820 (Del Vita *et al.*, 1998).

to l'Ottocento, anche per motivi diversi da quelli climatici (Pinna, 1996).

LE OSSERVAZIONI METEOROLOGICHE DI PIETRANTONIO BUTORI

Le osservazioni meteorologiche di Butori, la cui qualità era nota ad insigni studiosi dell'Ottocento, quali Schouw (1839) e Köppen (1873), consentono oggi l'esatta ricostruzione del clima di Camaione tra la seconda metà del Settecento e i primi tre decenni dell'Ottocento, con il supporto di precise misure strumentali, eseguite con eccellenti strumenti meteorologici⁴.

Le "Osservazioni meteorologiche" sono contenute in una raccolta di manoscritti, conservati presso la Biblioteca Statale di Lucca (Ms. 2917), nei quali, in ogni pagina, oltre all'indicazione dell'anno, del mese e delle ore di ciascun giorno, sono annotati i valori della pressione atmosferica "al levar del Sole, ed alle ore due pomeridiane", della temperatura dell'aria alle stesse ore⁵, indicata la direzione e l'intensità dei venti dominanti, lo stato del cielo e gli eventi meteorologici meno frequenti, quali la grandine, la neve, il gelo, i "venti furiosi", i terremoti, le aurore boreali. Per i dati pluviometrici Butori ci informa: "sul finire di ciascun mese ho notato la quantità di Pioggia caduta sulla superficie di Mezzo Braccio quadrato Fiorentino a Panno raccolta in un vaso di piombo inaccessibile alla evaporazione, situato in una Corte interna della mia Casa alto due braccia da terra, pesata esattamente in Libbre, ed once peso Lucchese"⁶ (Butori, 1817).

RAPPRESENTATIVITÀ METEOROLOGICA E STATISTICA DELLE OSSERVAZIONI DI BUTORI

Le osservazioni termometriche, compiute "al levar del Sole, ed alle ore due pomeridiane", sono per ciò stesso affette da un errore sistematico, di entità

⁴ "Le osservazioni meteorologiche [...] sono state fatte nella mia casa di Camaione, a norma di quelle che fino dal 1745 furono intraprese, e tuttavia si continuano in Lucca, dal dotto e rispettabilissimo cavaliere Sig. Gio. Stefano Conti (Arrighi, 1962; Arrighi, 1980; Rapetti, 1997; Cortemiglia *et al.*, 2012), il quale, oltre avermene consigliata l'impresa, mi somministrò ancora un perfetto barometro ed esatissimi termometri, da lui medesimo fabbricati, perché potessi effettuarla [...] (Butori, Ms., 2917; Rapetti & Vittorini, 2003).

⁵ Lo strumento usato nelle osservazioni termometriche "è a mercurio e graduato secondo il metodo di Réaumur, ed è collocato entro una cassetta foracchiata di legno fuori di una finestra [della mia Casa alla latitudine settentrionale 43° 56', longitudine 27° 56', altitudine 36.4.8 piedi di Parigi] volta a Tramontana sempre all'ombra" (Butori, 1817).

⁶ Considerato che al Braccio Fiorentino a Panno corrispondono 0,58363 metri e alla Libbra di Lucca 0,3345 chilogrammi (Martini, 1883), dalla trasformazione delle antiche misure di superficie e di peso nel sistema metrico decimale risulta che una Libbra di pioggia intercettata da una superficie di raccolta di Mezzo Braccio quadrato Fiorentino a Panno corrisponde a 3,9281 millimetri (Rapetti, 1995).

variabile nei diversi mesi dell'anno, poiché i valori termici della mattina e del primo pomeriggio non corrispondono rispettivamente alle minime e alle massime giornaliere, con scarti diversi in ragione della geometria dell'arco apparente del Sole sull'orizzonte nei vari giorni dell'anno⁷ (Rapetti & Vittorini, 2003; Cortemiglia *et al.*, 2012). Tale errore sistematico, che riguarda tutte le osservazioni termometriche anteriori all'uso in meteorologia del termometro a massima e a minima⁸, rende incerto il confronto tra i dati di Butori e quelli misurati con il termografo, ma non inficia, ove dimostrata la rappresentatività meteorologica e statistica dei dati di osservazione, la coerenza interna del catalogo e la corretta rappresentazione degli andamenti termici nell'intervallo temporale delle misure. Le temperature medie annue di Camaiore (1777-1831) sono state perciò sottoposte al test della cumulazione dei dati di osservazione e a quello "non parametrico dei massimi e delle fasi": il primo test non ha evidenziato la presenza di eterogeneità non climatiche, pertanto i valori argomentali si configurano come un "campione statistico", in cui gli eventuali errori di misura sono rimasti invariati nel corso del periodo di rilevazione; il secondo test riconosce il carattere indipendente e aleatorio e la scarsa organizzazione interna del catalogo, che costituisce perciò un "campione statistico" di tipo probabilistico, rappresentativo delle caratteristiche del collettivo di provenienza (Kivéliovitch & Vialar, 1953; Cortemiglia, 2002; Rapetti & Vittorini, 2003). I valori pluviometrici mensili e annui, sottoposti alle stesse procedure statistiche di controllo, si dimostrano parimenti idonei a rappresentare correttamente gli andamenti di quel periodo (Rapetti & Vittorini, 2003). A proposito della misura della pioggia, effettuata alla fine di ciascun mese, è ipotizzabile semmai un errore non quantificabile per difetto, a causa di possibili perdite di acqua per evaporazione dal recipiente di raccolta, più significativa durante il semestre caldo.

⁷ Lo studio delle ore in cui è stata registrata la temperatura minima e massima giornaliera a Lido di Camaiore (dati orari del 2001), che è la stazione termografica attuale più vicina al centro urbano di Camaiore, ha consentito di verificare, ammessa la costanza e l'omogeneità di tutti i fattori implicati, che le temperature rilevate da Butori circa mezz'ora prima del sorgere del Sole sono sovrastimate mediamente di 1,26°C rispetto alle minime misurate al termografo, mentre quelle rilevate due ore dopo il mezzogiorno sottostimate di circa 0,90°C. La temperatura media annua, per compensazione, presenta una sovrastima di 0,19°C (Rapetti, Vittorini, 2003).

⁸ La costruzione in meteorologia del termometro a massima e a minima, dopo i tentativi fatti dagli accademici del Cimento di Firenze e da altri studiosi tra la fine del Seicento e nel Settecento, risale al 1782 e si deve a James Six (*1731-†1793), autore dell'opera "The Construction and Use of a Thermometer for Showing the Extremes of Temperature in the Atmosphere, during the Observer's Absence, together with Experiments and Variations of Local Heat; and other Meteorological Observations", edita postuma a Londra, nel 1794.

INQUADRAMENTO DEL CLIMA DI CAMAIORE TRA LA SECONDA METÀ DEL SETTECENTO E I PRIMI TRE DECENNI DELL'OTTOCENTO

TEMPERATURA DELL'ARIA

Gli andamenti interannuali delle temperature stagionali a Camaiore (1777-1831) sono piuttosto difformi tra loro, poiché l'autunno, l'inverno e l'estate mostrano una tendenza generale alla stabilità o alla lieve diminuzione (Fig. A in Appendice) mentre la primavera ha un trend sensibilmente positivo. Si osserva altresì una tendenza all'aumento delle temperature stagionali dal 1777 agli ultimi anni del Settecento, mentre nei quindici anni successivi è avvenuta una inversione di tendenza, più marcata e uniforme in inverno e in estate.

La temperatura media annua è stata di 14,4°C, con valori minimi e massimi di 13,4°C nel 1816 e di 15,5°C nel 1802 (tab. 1).

Tab. 1 - Campo di variazione delle temperature stagionali e annue dell'aria (°C) a Camaiore (1777-1831).

Autunno		Inverno		Primavera		Estate		Anno	
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
12,7	17,2	5,1	9,3	11,1	14,9	20,2	24,5	13,4	15,5
1786	1790/93	1824	1787	1785	1819/30	1813	1822	1816	1802

L'andamento interannuale delle temperature medie annue mostra un significativo incremento dal 1782 al 1802, stimabile in 0,05°C/anno ($R^2 = 0,41$); negli anni successivi, fino al 1816, si osserva una loro rapida diminuzione, stimabile in 0,09°C/anno ($R^2 = 0,48$) (fig. 4).

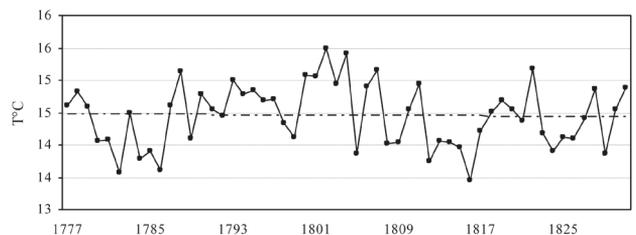


Fig. 4 - Andamento interannuale delle temperature medie annue a Camaiore (°C) (1777-1831).

Le temperature medie estive più basse dei primi anni dell'Ottocento (primo decile), si sono verificate nel 1813, 1815, 1816, mentre gli anni più freddi sono stati il 1812 e il 1816 (tab. 2).

I valori estremi diurni, che non corrispondono alle temperature minima e massima assolute a causa delle ore delle osservazioni (Cortemiglia *et al.*, 2011), sono stati di $-7,5^{\circ}\text{C}$ (31 dicembre 1788 e 1 gennaio 1789), e di $37,0^{\circ}\text{C}$ (2 agosto 1783⁹). I valori minimi mensili sono distribuiti in prevalenza nell'ultimo quarto del Settecento ma, ai fini di questa ricerca, sono particolarmente interessanti le temperature medie di luglio ($11,3^{\circ}\text{C}$) e di agosto ($10,0^{\circ}\text{C}$) del 1813, che è stata l'estate più fresca dal 1777 ($20,2^{\circ}\text{C}$) al 1831 (tab. 2 e 3).

Tab. 2 - Ordinamento cronologico delle stagioni con la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) media dell'aria più bassa (primo decile)¹⁰ a Camaiore (1777-1831).

Autunno	Inverno	Primavera	Estate	Anno
I decile				
$T < 14,0$	$T < 6,0$	$T < 12,4$	$T < 21,0$	$T < 13,9$
13,4 1782	5,8 1782	12,0 1782	20,5 1799	13,6 1782
12,7 1786	5,9 1793	11,1 1785	20,2 1813	13,8 1784
13,5 1805	5,7 1799	12,2 1796	20,5 1815	13,6 1786
13,9 1809	5,4 1824	12,3 1805	20,6 1816	13,7 1812
	5,1 1825	12,1 1808		13,4 1816
	5,5 1830	12,0 1817		

GIORNI CON GELO E CON NEVE

I giorni con gelo ($T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$), tra il 1777 e il 1825, sono stati 1.039, corrispondenti ad una media di 21,2 giorni/anno. Il loro andamento interannuale indica

Tab. 3 - Campo di variazione delle temperature misurate "al levar del Sole e alle ore due pomeridiane" ($^{\circ}\text{C}$) di ciascun giorno e mese a Camaiore (1777-1831).

$T_{^{\circ}\text{C}}$	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
levar del sole	-7,5 1789	-6,5 1782	-2,5 1808	0,0 1790/08	4,0 1817	6,9 1793	11,3 1813	10,0 1813	5,6 1786	-1,3 1786	-2,9 1789	-7,5 1788
	3,8 1804	3,0 1800	5,6 1777	8,8 1778/94	12,5 1778/1813	16,8 1822	19,4 1782	18,8 1807	14,4 1796/1826	11,3 1795/1811	6,3 1807	5,0 1825
ore due pomeridiane	8,8 1795	10,6 1785	11,9 1808	16,3 1817	21,8 1826	24,4 1781	27,5 1795	27,5 1801	23,8 1782	18,8 1808	13,8 1789	11,0 1816
	18,8 1804	16,3 vari	21,5 1829	28,0 1818	30,0 1786	31,9 1790	34,5 1788	37,0 1783	30,6 1785	27,3 1817	21,3 1779	17,5 1825

⁹ "Quest'anno è memorabile per una straordinaria caligine, la quale cominciò a rendersi osservabile nell'Aprile, e divenne sempre più folta in quasi tutto il corso della state non solamente nell'Italia, ma in quasi tutta l'Europa. In alcuni giorni del Luglio la caligine fu sì densa, che si poteva fissare impunemente l'occhio sul disco solare; il quale appariva di colore rosso cupo, come appunto appare se si guarda a traverso un denso fumo" (Butori, 1817). Il fenomeno è da attribuire all'eruzione del vulcano islandese Laki, iniziata l'8 giugno 1783 e protrattasi fino ai primi giorni di febbraio 1784. A Camaiore, mentre furono ben visibili gli effetti ottici dell'eruzione, non si riscontrarono effetti significativi sulla temperatura dell'aria (Tav. A, in appendice),

notevoli fluttuazioni dal 1777 al 1808, quando si raggiunse il valore massimo (48 giorni); dal 1811 al 1823 i valori si mantennero invece pressoché costanti, intorno a 25 giorni/anno. Non risultano giorni di gelo ($T_{\max} \leq 0^{\circ}\text{C}$), assenti in Versilia in quegli anni e molto rari negli anni successivi (Rapetti & Vittorini, 1986). I giorni con precipitazioni nevose sono stati 98, con una media di 2,0 giorni/anno, con il massimo di 7 giorni negli anni 1777, 1780, 1785, 1792 e 1793 (fig. 5).

PRESSIONE ATMOSFERICA E STATO DELL'ATMOSFERA

Il valore medio annuo della pressione atmosferica (1777-1825) è stato di 1012,7 hPa, con minimi e massimi annui rispettivamente di 1010,7 hPa (1782 e 1816) e di 1016,5 hPa (1822). I valori giornalieri estremi sono stati di 973,7 hPa (1778) e 1041,2 hPa (1821). L'andamento interannuale mostra alcune significative fluttuazioni intorno ai minimi del 1782 e del 1816 e valori sensibilmente crescenti da questa ultima data al 1825 (fig. 6). Dal 1816 al 1825, rispetto al decennio precedente, si osserva un deciso incremento della pressione atmosferica in tutti i mesi, con valori talvolta superiori a 2 hPa rispetto alle medie di periodo, come in gennaio (5,7 hPa) e in novembre (5,9 hPa). Tale fenomeno assunse una maggiore intensità nei mesi autunno-invernali, in corrispondenza di altri fenomeni meteorologici, quali il verificarsi del più alto numero di giorni sereni (fig. 7), di giorni con gelo (fig. 5) e del più basso numero di giorni nuvolosi, con pioggia e con la quasi assenza di giorni con neve.

poiché le temperature mensili successive all'evento esplosivo non subirono variazioni sistematiche, come invece segnalato in altre località dell'Europa continentale, dove, nel 1784, le temperature furono di circa due gradi Celsius inferiori alle medie registrate nella seconda metà del Settecento.

¹⁰ Il decile è un parametro statistico che si ottiene suddividendo i valori argomentali del periodo di osservazione (temperature medie stagionali e annue) in dieci gruppi di uguale frequenza. Nel primo decile sono compresi i valori che vengono superati nove anni ogni dieci (classe dei valori più bassi); nel nono decile ricadono i valori superati un anno su dieci (classe dei valori più elevati).

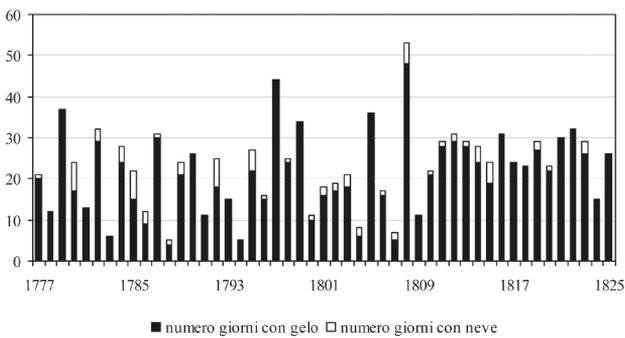


Fig. 5 - Andamento interannuale dei giorni con gelo ($T_{\min} \leq 0^\circ\text{C}$) e dei giorni con neve a Camaiore (1777-1825).

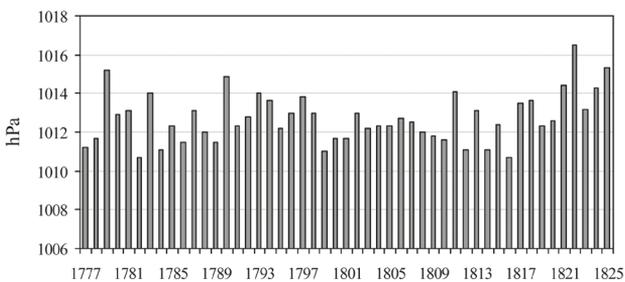


Fig. 6 - Andamento interannuale della pressione media annua (hPa) a Camaiore (1777-1825).

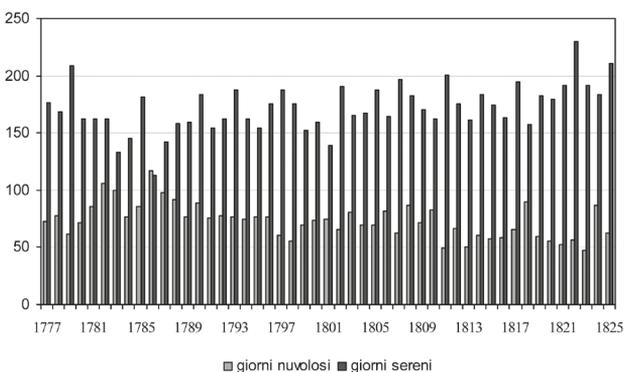


Fig. 7 - Andamento interannuale del numero di giorni prevalentemente nuvolosi e dei giorni prevalentemente sereni a Camaiore (1777-1825).

PRECIPITAZIONI

L'andamento interannuale delle precipitazioni stagionali a Camaiore (1777-1831) mostra la tendenza negativa dei valori primaverili, estivi e autunnali e positiva dei valori invernali (Fig. B in Appendice). Le precipitazioni medie annue (1777-1831) sono state di 1.387 millimetri, con valori minimi e massimi di 931 mm nel 1825 e 2.155 mm nel 1804 (tab. 4). L'andamento interannuale indica un periodo di crescita dal 1777

al 1804 (anno del massimo assoluto con 2.155 mm); nei quattro anni successivi, fino al 1808, si osserva una brusca riduzione degli afflussi, mentre dal 1809 al 1814 si verifica un nuovo netto incremento (fig. 8).

Tab. 4 - Campo di variazione delle precipitazioni stagionali e annue (millimetri) a Camaiore (1777-1831).

Autunno		Inverno		Primavera		Estate		Anno	
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
252	909	189	752	79	502	18	480	931	2.155
1831	1801	1830	1788	1830	1786	1828	1811	1825	1804



Fig. 8 - Andamento interannuale delle precipitazioni annue (millimetri) a Camaiore (1777-1831).

BILANCIO IDRICO-CLIMATICO

La produttività forestale e agricola è controllata da una molteplicità di fattori biologici e abiotici; tra i secondi hanno un ruolo essenziale la radiazione solare, la temperatura dell'aria, le precipitazioni e le caratteristiche fisiche del suolo. Il bilancio idrico-climatico (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite & Mather, 1957) consente la determinazione teorica di alcuni parametri idro-climatici, quali l'evapotraspirazione potenziale (EP), il surplus (S) ed il deficit idrico (D), l'evapotraspirazione reale (AE) e il deflusso idrico totale del suolo (RO). Il regime mensile e stagionale di questi elementi consente la stima della quantità di acqua presente nel suolo a disposizione delle coltivazioni nelle diverse fasi del loro ciclo biologico¹¹.

¹¹ Dalla combinazione dei valori annui del surplus, del deficit e dell'evaporazione potenziale si ricava l'indice di Umidità globale (I_m), che costituisce l'elemento guida nella classificazione dei climi secondo Thornthwaite (Thornthwaite 1948; Thornthwaite & Mather, 1957): $I_m = (S - D)/EP \times 100$.

I valori positivi dell' I_m indicano i climi "umidi" o "subumidi", secondo la scala di umidità decrescente da A ("perumido": $I_m \geq 100$), B_4 ("umido": $100 > I_m \geq 80$), B_3 ("umido": $80 > I_m \geq 60$), B_2 ("umido": $60 > I_m \geq 40$), B_1 ("umido": $40 > I_m \geq 20$), C_2 ("subumido": $20 > I_m \geq 0$); quelli negativi i climi aridi da C_1 ("subarido": $0 > I_m \geq -33,3$), D ("semiarido": $-33,3 > I_m \geq -66,6$), E ("arido": $-66,6 > I_m \leq 100$). La classificazione sintetica dei climi è rappresentata da una formula costituita

Evapotraspirazione potenziale

Il valore medio annuo dell'evapotraspirazione potenziale (EP) a Camaiore (1777-1831) è stato di 780,6 mm, con minimi e massimi di 743,8 mm nel 1816 e 840,5 mm nel 1822. L'andamento interannuale dell'EP, dopo una fase tendenzialmente di crescita dall'inizio delle osservazioni al 1802, mostra, sia pure con notevoli oscillazioni interannuali, una forte diminuzione, fino al valore minimo nel 1816; negli anni successivi è presente una rapida crescita, culminata nel 1822 (fig. 9).

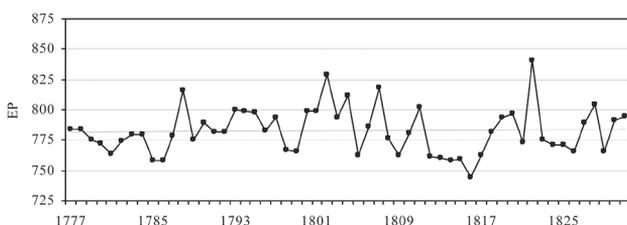


Fig. 9 - Andamento interannuale dell'evapotraspirazione potenziale e della retta di tendenza a Camaiore (1777-1831).

Deficit e surplus idrico

Il deficit idrico annuo (D) ha avuto il valore medio di 93,4 mm, con estremi di 3,1 mm nel 1819 e di 337,1 mm nel 1785. Dal 1809 si è fortemente ridotto e, per quattro anni consecutivi, dal 1813 al 1816, ha assunto valori nettamente inferiori alla media di periodo. Il surplus (S), dopo una fase di crescita culminata nel 1804 (1474,5 mm), ha subito una rapidissima riduzione fino al 1808 (380,7 mm), per mostrare negli anni successivi rapide ed intense oscillazioni fino al 1831 (fig. 10).

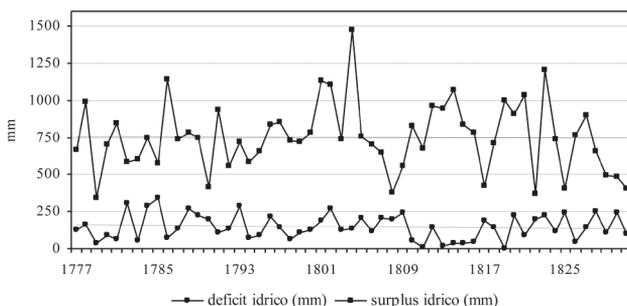


Fig. 10 - Andamento interannuale del deficit e del surplus idrico e della retta di tendenza a Camaiore (1777-1831).

da quattro indici, quali l'indice di umidità globale (I_m), l'evapotraspirazione potenziale annua (EP), l'indice di aridità o di umidità annua ($I_a = D/EP \times 100$; $I_h = S/EP \times 100$), la percentuale dell'evapotraspirazione potenziale dei mesi estivi in rapporto a quella annua ($CEET = SEP_{estiva}/EP_{annua} \times 100$).

Indice di umidità climatica

Il valore medio dell'indice di umidità climatica a Camaiore (1777-1832) è stato di 77,6 (B_3), con minimi e massimi di 20,8 (B_1) nel 1825 e di 165,3 (A) nel 1804. I valori interannuali dell' I_m , sempre maggiori a venti unità (B), mostra notevoli oscillazioni nel campo dei sottotipi B_1, B_2, B_3, B_4 e nel tipo "perumido" A ($I_m \geq 100$). Le escursioni più elevate dell' I_m hanno riguardato il periodo dal 1804 al 1817, quando si sono verificati cinque anni consecutivi, dal 1812 al 1816, di clima "perumido". In quel lungo intervallo di tempo alcune piante agricole, con necessità idriche basse o moderate, come ad esempio l'olivo, che sopporta fasi di siccità di media intensità, ma non di saturazione prolungata del suolo, ebbero una fase di grave sofferenza, e una consistente riduzione dei raccolti (tab. 5; fig. 11).

Tab. 5 - Valori del deficit (D), del surplus (S), dell'indice di umidità globale (I_m) e formula climatica di Thornthwaite a Camaiore negli anni 1812-1817. Valori medi del periodo 1777-1831.

Anni	EP	Deficit	Surplus	I_m	Tipo di clima
1812	761,0	148,0	963,0	107,1	A B' ₂ s b' ₄
1813	760,3	19,9	941,6	121,2	A B' ₂ r b' ₄
1814	758,2	37,2	1068,1	136,0	A B' ₂ r b' ₄
1815	758,9	39,8	834,9	104,8	A B' ₂ r b' ₄
1816	743,8	41,6	784,8	100,0	A B' ₂ r b' ₄
1817	762,9	191,6	420,8	30,0	B ₁ B' ₂ s a'
media	780,6	93,4	698,7	77,6	B ₃ B' ₂ r b' ₄

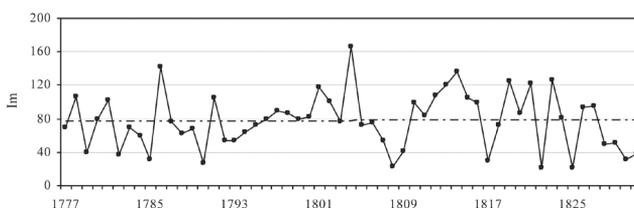


Fig. 11 - Andamento interannuale dell'indice di umidità climatica a Camaiore (1777-1831).

NOTEAGROMETEOROLOGICHEDELSECONDODECENNIO DELL'OTTOCENTO

Nei "Risultati meteorologici di anni quaranta" (1817), sono descritti gli effetti della meteorologia sulla produzione del frumento, delle olive e del gelso nelle terre di Camaiore. Butori asserisce che, dal 1777, anno di inizio delle sue "Osservazioni", l'anno peggiore per i raccolti fu il 1815, definito disastroso per lo scarsis-

simo raccolto dei cereali e delle olive¹². Afferma che la causa principale dello scarso raccolto delle graminacee fu conseguenza dalle basse temperature che si erano verificate dalla seconda metà di aprile del 1815, quando le coltivazioni erano nel periodo germinativo. Lo scarsissimo raccolto delle olive fu invece dovuto ai venti freddi orientali che, a cominciare da ottobre, determinarono un forte abbassamento della temperatura, accompagnato, nell'ultima decade di novembre, da una abbondante nevicata che coprì di neve sia le montagne sia le colline e la pianura, e "la stessa terra di Camaioere", fenomeno osservato in quel mese per la prima volta dal 1777 (Butori, 1817). Dopo un inverno mite, nella primavera del 1816 la temperatura riprese ad abbassarsi, ma con minore intensità dell'anno precedente, per cui la maturazione del grano fu soltanto ritardata ed il raccolto risultò relativamente abbondante; il grande freddo si verificò invece in luglio e in agosto, con anomalie negative di oltre 2°C rispetto alle medie di periodo. Secondo Butori la primavera e l'inizio dell'estate del 1816 non furono particolarmente sfavorevoli per l'agricoltura, tanto che il raccolto del grano fu relativamente abbondante. Sviluppò una analisi statistica dei suoi dati meteorologici, calcolando le temperature medie annue per periodi di otto anni dal 1777: osservò che, dopo un leggero incremento termico verificatosi dall'inizio delle osservazioni ai primi anni Novanta del Settecento, era iniziata una flessione, con un regresso sempre più rapido, tanto che dal 1801 al 1816 le temperature medie annue erano passate da 14,6°C a 13,9°C, con uno scarto di 0,7°C. La temperatura aveva iniziato infatti a diminuire in modo più sensibile dal 1802, con un decremento di 0,1°C/anno, per raggiungere il minimo nel 1816; dal 1817, si verificò un aumento termico, culminato nel 1822. Lo stesso andamento ebbero le temperature medie estive, con una diminuzione tendenziale di circa 0,2°C/anno fino al 1813 (fig. 12, Tavola A), quando si registrò l'estate più fresca dal 1777. Questo fatto è di grande interesse, poiché dimostra che a Camaioere l'estate più fresca non fu causata dagli effetti meteorologici dell'esplosione del vulcano Tambora, che avvenne circa due anni dopo.

¹² "Resterà memorabile lo scarsissimo raccolto de' generi frumentacei del 1815., e ciò contro la generale aspettazione, giacché le semente avevano avuto una stagione favorevole [...]. Ma tutti questi lusinghieri argomenti si trovarono fallaci, e l'enorme scarsità de' raccolti fu generalmente attribuita alla frequenza, ed alla copia delle piogge cadute nel Giugno". "Quest'anno 1815. ci presenta un altro fatto [...] Gli olivi erano arrivati al mese di Novembre carichi generalmente di frutti [...] Ma nel principio di Novembre presero a regnare i venti settentrionali. Le notti de' 6., e de' 7. il Termometro si abbassò al zero [...]. Questo rapido passaggio dall'umido caldo al freddo ventoso ammortò immediatamente in se stesse tutte le olive [...]. Questo danno ridusse a meno della metà lo sperato prodotto dell'olio" (Butori, 1817).

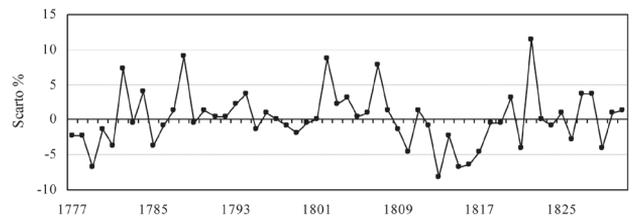


Fig. 12 - Andamento interannuale degli scarti percentuali delle temperature estive rispetto alla media di periodo a Camaioere (1777-1831).

Il valore minimo della temperatura media annua accadde invece l'anno successivo all'eruzione del Tambora¹³, avvenuta l'11 aprile 1815. Con poche eccezioni, le temperature mensili, dal giugno 1815 al dicembre 1816, furono inferiori a quelle dei corrispondenti valori medi del "periodo di calibrazione 1881-1960" dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze¹⁴ (Alfani, 1920; Stothers, 1984; Rapetti & Vittorini, 1988), con scarti negativi fino a 3,7°C nel luglio 1815. Nel 1816 non si raggiunsero questi estremi, ma, a cominciare da febbraio, per otto mesi consecutivi, gli scarti furono tutti negativi e si determinò il record della più bassa temperatura annua (13,3°C) e quella del semestre caldo (aprile-settembre) (18,3°C) dal 1777. La temperatura media annua del 1816 fu inferiore di 1,0°C in confronto alla media di periodo 1777-1831 e di 0,88°C rispetto alla media del "periodo di calibrazione", in sostanziale accordo col valore di 0,7°C stimato per l'Emisfero Settentrionale (Stothers, 1984). L'anomalia termica del semestre caldo del 1816 (aprile-settembre) registrata a Camaioere rispetto alla media del periodo 1777-1831 ($\Delta = -1,33^\circ\text{C}$) è invece circa 2,6 volte maggiore di quella calcolata per l'Emisfero Settentrionale (-0,51°C) (tab. 6) (Briffa *et al.*, 1998).

¹³ Il vulcano Tambora nelle Isole della Sonda, dopo molti secoli di quiescenza, riprese la sua attività nel 1812, con l'emissione di una nube di cenere scura di non grande entità. Tre anni più tardi, il 5 aprile del 1815, si verificò un'eruzione relativamente modesta. Nella mattina del 6 aprile si ebbe l'emissione di ceneri e il fenomeno si protrasse fino al 10 aprile, quando alle ore sette del pomeriggio, l'eruzione aumentò d'intensità fino alla sera dell'11 aprile. Il 15 luglio cessarono le esplosioni e il 23 agosto cessò l'emissione di vapori (Sigurdsson, Carey, 1989). Nell'eruzione dell'aprile 1815, di tipo ultra-pliniano (Volcanic Explosivity Index = 7), secondo le stime i prodotti dell'esplosione furono proiettati nella stratosfera ad una altitudine superiore 25 km e furono emessi più di 100 km³ di prodotti piroclastici e quantità rilevantissime di zolfo, da 10 a 120 milioni di tonnellate (Rittmann, 1963; Oppenheimer, 2003).

¹⁴ Poiché le osservazioni condotte a Firenze presso l'Osservatorio Meteorologico Ximeniano (Cortemiglia *et al.*, 2011) sono contemporanee a quelle di Camaioere dal 1813 al 1831, si è determinata una relazione empirica tra le due serie, che ha consentito, in quell'intervallo temporale, il confronto degli andamenti termici a Camaioere, sia rispetto a quelli dello Ximeniano di Firenze sia rispetto a quelli calcolati per l'Emisfero Settentrionale.

Tab. 6 - Anomalie standardizzate della temperatura annuale e stagionale (°C) di Camaiore rispetto alla temperatura media dello Ximignano di Firenze nel periodo 1881-1960.

Periodi	Firenze		Camaiore				
	1881-1960		1777-1831		1802-1816		1816
	T °C	T °C	ΔT	T °C	ΔT	T °C	ΔT
Primavera	13,3	13,1	-0,14	12,96	-0,29	12,19	-1,06
Estate	22,6	22,1	-0,53	22,02	-0,62	20,69	-1,95
Autunno	14,6	15,1	0,53	15,06	0,47	14,50	-0,09
Inverno	6,0	6,6	0,61	6,94	0,91	5,63	-0,40
Aprile-Settembre	19,7	19,4	-0,29	19,24	-0,43	18,33	-1,33
Anno	14,1	14,2	0,12	14,24	-0,12	13,3	-0,88

Alle basse temperature si accompagnarono l'aumento delle precipitazioni e altri fenomeni meteorologici intensi, quali una maggiore frequenza di temporali, associati a forti venti e spesso a grandine, che contribuirono a rendere più profonda la crisi dell'agricoltura. Le precipitazioni annue, dopo il minimo secondario raggiunto nel 1808 (955 mm), si mantennero nettamente superiori alla media per sette anni consecutivi ($\Delta P = 201$ mm), con scarti percentuali positivi del 17,5% nel 1813 e del 22,5% nel 1814, evento per continuità mai verificatosi dall'inizio delle osservazioni (fig. 13).



Fig. 13 - Andamento interannuale degli scarti percentuali delle precipitazioni annue rispetto alla media di periodo a Camaiore (1777-1831).

Considerando che in quei sette anni non si registrò una significativa variazione del numero dei giorni piovosi, si ebbe un aumento dell'intensità delle piogge, che si concentrarono in estate, determinandosi una variazione del loro regime stagionale. Tra il 1813 e il 1816 la stagione meno piovosa fu la primavera, anziché, come di norma nella Toscana costiera, l'estate. La media delle piogge estive di quei quattro anni fu di 320 mm, quasi il 175% superiore ai valori medi di periodo (181 millimetri) (fig. 14).

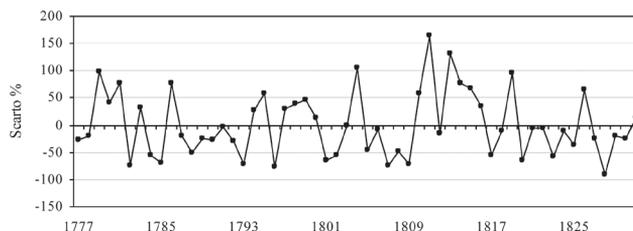


Fig. 14 - Andamento interannuale degli scarti percentuali delle piogge dell'estate rispetto alla media di periodo a Camaiore (1777-1831).

L'evapotraspirazione potenziale annua (fig. 9, tab. 7) negli anni tra il 1802 e il 1816 subì una forte diminuzione, dovuta quasi esclusivamente alle basse temperature dei mesi estivi, fino a raggiungere 744 mm, che rappresenta il valore minimo della serie. Si verificarono inoltre forti variazioni degli indici di aridità (I_a) e di umidità (I_u), che determinarono una significativa variazione in senso umido del tipo di clima. Dal 1810 al 1816 fu costante il tipo "perumido" ($I_m = 107,4$), in confronto al tipo medio di periodo ($I_m = 77,6$). Questi valori assumono maggiore rilievo, se paragonati ai tipi climatici attuali di Lucca ($I_m = 54$) e di Viareggio ($I_m = 25$) (Vittorini, 1972). In conseguenza di tali andamenti, tra il 1810 e il 1816 si ebbe un forte incremento dell'eccedenza idrica (S) e del deflusso totale (RO) (tab. 7).

EVENTI IDROGEOLOGICI E MORFOLOGICI IN TOSCANA

Nei primi due decenni dell'Ottocento, il consistente aumento dell'eccedenza idrica nel granducato di Toscana, come in gran parte dell'Europa occidentale, determinò una intensificazione dei processi di erosione del suolo, l'incremento dei coefficienti di deflusso dei corsi d'acqua e del numero di piene fluviali (Natonì, 1944; Grove, 1988). Significativo fu il maggior potere erosivo delle acque fluviali, cui tuttavia non dovettero essere estranei alcuni lavori di rettifica di meandri e di altre sistemazioni idrauliche, come quelli che riguardarono il Serchio (Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio, 2010) e l'Arno (Materassi, 1849). Per conseguenza, per l'aumentata velocità delle correnti fluviali e per la maggiore disponibilità di sabbie negli alvei, tra la fine del Settecento e la prima metà dell'Ottocento, si determinò un consistente trasporto di sabbia verso le foci, cui seguì l'avanzamento delle coste sabbiose e dei delta fluviali, come quelli dell'Ombrone Grossetano (Ciampi, 2004) e dell'Arno (Toniolo, 1910; Toniolo, 1927; Albani, 1940; Rapetti & Vittorini, 1974). Il delta dell'Arno avanzò rapidamente dal 1787 al 1850 (tab. 8), per subire una fortissima erosione dalla metà

Tab. 7 - Tavola riassuntiva di alcuni elementi del bilancio idrico climatico secondo Thornthwaite. Sono posti a confronto i valori di Camaiore rispetto a quelli di Viareggio e di Lucca (1926-1955).

Stazioni	Anni	P	EP	SPE _c	I _a	I _h	I _m	Tipo di clima	RO
Viareggio	1926-1955	965	771	48,5	15,4	36	20	C ₂ B ₂ r b' ₄	280
Lucca		805	805	51,0	11,4	65	54	B ₂ B ₂ r b' ₄	525
Firenze									
Camaiore	1808	955	774	51,8	18,0	41	23	B ₁ B ₂ s b' ₄	320
	1809	1077	761	50,9	23,0	65	42	B ₂ B ₂ s b' ₃	491
	1810	1557	778	46,7	3,9	104	100	B ₄ B ₂ r b' ₄	809
	1811	1469	800	49,5	0,7	84	84	A B ₂ r b' ₄	674
	1812	1576	759	51,5	13,0	121	108	A B ₂ r b' ₄	916
	1813	1682	758	45,9	1,5	123	122	A B ₂ r a'	935
	1814	1789	756	50,4	2,8	140	137	A B ₂ r b' ₄	1055
	1815	1554	757	47,1	3,0	109	105	A B ₂ r a'	821
	1816	1487	742	49,0	3,3	104	101	A B ₂ r b' ₄	770
	1817	984	761	48,2	17,0	46	29	B ₁ B ₂ s b' ₄	351
	1810-1816	1588	764	48,6	4,0	112	108	A B ₂ r b' ₄	834
1777-1831	1386	778	50,2	7,4	86	78	B ₃ B ₂ r b' ₄	666	

P = precipitazioni (mm); EP = evapotraspirazione potenziale (mm); SPE_c = concentrazione estiva dell'evapotraspirazione potenziale (%); I_a = indice di aridità; I_h = indice di umidità; I_m = indice di umidità globale; RO = deflusso totale (mm).

dell'Ottocento ad oggi, più intensa dagli anni Sessanta del secolo scorso, anche a causa dei massicci prelievi di sabbie dall'alveo del fiume (Rapetti & Vittorini, 1974; Cavazza & Panico, 1977; Vittorini, 1991; Monti & Rapetti, 2012).

Tab. 8 - Avanzamento dei lobi del delta del F. Arno dal 1650 al 1850 (Toniolo, 1910), espresso in valore assoluto (m) e per anno (m/anno) alla foce. La data del 1650 si desume dall'anno di costruzione del "fortino medicco", le cui tracce in riva sinistra sono oggi scomparse per l'erosione del delta.

Periodi	Lobo sinistro		Lobo destro	
	m	m/anno	m	m/anno
1650-1787	180	1,3	568	4,1
1787-1850	407	6,5	364	5,8

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Numerosi Autori (Stommel H. & Stommel, E., 1979; Marinelli & Santacroce, 1987; Del Vita *et al.*, 1998; Cortemiglia, 2013) ritengono che la causa determinante delle avverse condizioni meteorologiche che si verificarono nell'estremo nord-est degli Stati Uniti¹⁵ e

nell'Europa occidentale, dove si ebbero gelate e nevicate tardive e precoci nel semestre caldo del 1816, sia da ricondurre agli effetti dell'eruzione esplosiva del vulcano Tambora.

Le prove naturalistiche, raccolte dallo studio delle più intense esplosioni vulcaniche avvenute negli ultimi secoli, indicano, in effetti, che le più rapide e intense anomalie negative della temperatura dell'aria, stimate sulla base dalla densità e dello spessore degli anelli di accrescimento degli alberi e delle analisi isotopiche delle carote di ghiaccio della Groenlandia e dell'Antartide ($\Delta^{33}\text{S}$) (Johnsen *et al.*, 2001; Cole-Dai *et al.*, 2009), si sono verificate in corrispondenza di grandi esplosioni vulcaniche, anche se l'impatto meteorologico di tali episodi è ritenuto circoscritto nel tempo (Rittmann, 1963). Il meccanismo che determinerebbe la diminuzione delle temperature dell'aria nella bassa troposfera sarebbe innescato dall'immissione

Hampshire, Vermont, Connecticut), da temperature estive eccezionalmente basse, da nevicate e da gelate tardive e precoci. Tali andamenti meteorologici avversi, descritti in vari documenti dell'epoca, determinarono la perdita di gran parte dei raccolti di mais, mentre meno danneggiata risultò la raccolta di frumento. Il prezzo straordinariamente elevato di alcune derrate alimentari fu causa di malnutrizione e del forte aumento del tasso di mortalità nelle popolazioni. Anche in Europa l'estate del 1816 fu particolarmente fredda, come a Parigi, dove le temperature medie di luglio, di agosto e di settembre furono inferiori rispettivamente di 3,5°, 2,6° e 1,6°C in confronto alle medie normali della prima metà del Ventesimo secolo (Lamb, 1977; Le Roy Ladurie, 1967).

¹⁵ Il 1816, noto alle cronache come "l'anno senza estate", fu caratterizzato, in alcuni Stati del nord-est degli Stati Uniti (Maine, New

Tab. 9 - Lunghezza del ciclo solare (in anni), da minimo a minimo, e numero di macchie solari per ciclo e per anno durante il periodo delle osservazioni meteorologiche a Camaiore. Anomalie termiche medie dell'anno e del semestre caldo (aprile-settembre), in confronto ai valori medi del "periodo di calibrazione dello Ximeniano di Firenze (1881-1960).

Cicli	durata dei cicli	n° macchie solari per ciclo	n° macchie solari per anno	media ΔT °C (anno)	media ΔT °C (aprile-settembre)
1785-1798	14	840,2	60,0	0,19	-0,22
1799-1810	12	281,9	23,5	0,37	-0,10
1811-1823	13	236,7	13,0	-0,03	-0,41
1824-1833	10	386,9	38,7	0,02	-0,21
Media	12,3	436,4	33,8	0,14	-0,24

nella stratosfera di ingenti quantità di zolfo di origine vulcanica (^{33}S), che si trasforma in aerosol di acido solforico. Questo può determinare un abbassamento della temperatura dell'aria alla superficie terrestre con due meccanismi: il primo, che avviene con cielo sereno, consiste nella riflessione verso lo spazio di una frazione della radiazione solare in entrata, e il secondo nell'aumento della nuvolosità e della riflettività delle nubi (Schneider & Mass, 1975). L'effetto dell'aerosol sarebbe perciò attivo solo nelle ore diurne e, a causa della maggior durata del dì e del maggior irradamento, durante il semestre caldo, soprattutto alle latitudini più elevate dell'emisfero settentrionale. Per i sostenitori della relazione diretta tra gli eventi vulcanici esplosivi di grande potenza e l'abbassamento della temperatura presso il suolo, i processi sopra descritti potrebbero trovare conferma dalle anomalie termiche dei mesi estivi del 1815 e del 1816 registrate in molte aree dell'emisfero settentrionale, così come a Camaiore (tab. 10). Sono state considerate anche le anomalie del 1809 e del 1810, anni interessati dall'evento esplosivo del 1809 ("Unknown Source") (Cole-Dai *et al.*, 2009; Siebert *et al.*, 2010), una sorgente tropicale per ora sconosciuta che, secondo i dati ricavati dalle carote di ghiaccio della Groenlandia e dell'Antartide, riversò nell'atmosfera una quantità molto rilevante di zolfo, stimata in circa il 60% di quella emessa nel 1815 dal Tambora¹⁶ (Charlson & Wigley, 1994).

Il periodo freddo della seconda decade dell'Ottocento potrebbe dunque correlarsi all'effetto delle maggiori eruzioni verificatesi in quel periodo (Briffa *et al.*, 1998; Valmore *et al.*, 1984) ma, nonostante che negli anni 1812, 1813 e 1814 si siano verificate esplosioni vulcaniche di media potenza (Simkin & Siebert, 1994), come quelle avvenute nell'Isola di San Vincenzo nelle Indie Occidentali, di Awu a Celebes, a la Saufrière nei Carai-

bi (1812), i dati termometrici registrati a Camaiore, sia pure considerando gli opportuni sfasamenti temporali che intercorrono tra i grandi eventi vulcanici esplosivi e le loro ripercussioni sulla temperatura planetaria, non sembrano avallare tale ipotesi, poiché, tra il 1810 e il 1815, le anomalie negative si alternano, in modo almeno in apparenza casuale, a quelle positive, e la concentrazione dei solfati, dopo il 1810, tornò ai valori del flusso di fondo fino all'esplosione del Tambora.

Non si può tuttavia isolare il periodo freddo del secondo decennio dell'Ottocento, di portata generale e da alcuni Autori ritenuto il più freddo degli ultimi cinquecento anni (Cole-Dai *et al.*, 2009), dal contesto degli andamenti climatici che, tra la seconda metà del Cinquecento e la metà dell'Ottocento, hanno caratterizzato la "piccola età glaciale" (Eddy, 1976; Johnsen *et al.*, 2001). Una possibile interpretazione di questa fase fredda, sviluppata secondo la teoria dell'influsso dell'irradamento solare sulla temperatura planetaria, consiste nel riconoscere una relazione empirica tra il numero di macchie solari e l'energia irradiata dal Sole (Schneider & Mass, 1975): ad una diminuzione del numero annuo di macchie, corrisponde una diminuzione dell'energia emessa, che avrebbe una ripercussione sulla temperatura planetaria nella bassa troposfera (Simkin & Siebert, 1994; Friis-Christiansen, 1991; Beer *et al.*, 1994; Lean *et al.*, 1995). Ancora più significativa apparirebbe la relazione tra la lunghezza del ciclo solare e l'andamento della temperatura, che diminuirebbe linearmente con l'aumentare della lunghezza del ciclo solare. Si deve considerare che, durante il periodo delle osservazioni meteorologiche di Butori, il numero delle macchie solari cominciò a diminuire sin dal 1787, raggiungendo il minimo nel secondo decennio dell'Ottocento (Minimo di Dalton) e, nello stesso tempo, tra il 1784 e il 1823, si verificarono tre cicli solari consecutivi di lunghezza superiore alla media (tab. 9).

Le stime della flessione dell'irradamento solare, conseguente ad un basso numero di macchie solari, valutata intorno allo 0,1% del valore di lungo periodo, indicherebbero tuttavia l'insufficienza del fenomeno a

¹⁶ La sorgente esplosiva indicata come "Unknown Source" è ipoteticamente collocata in zona tropicale, poiché in quell'anno e negli anni successivi sono riscontrabili forti concentrazioni di ^{33}S sia nelle carote di ghiaccio della Groenlandia sia in quelle dell'Antartico. L'evento esplosivo si sarebbe verificato agli inizi del 1809 (febbraio?) (Cole-Day *et al.*, 2009).

Tab. 10 - Anomalie termiche (°C) delle temperature minime, massime e medie di gennaio, giugno, luglio e agosto in alcuni anni a Camaiore, rispetto ai valori rilevati presso l'Osservatorio Ximeniano di Firenze tra il 1881 e il 1960 (periodo di calibrazione).

Anni	gennaio			giugno			luglio			agosto		
	min	max	media	min	max	media	min	max	media	min	max	media
1809	3,68	1,19	2,43	1,85	-2,55	-0,36	1,16	-3,85	-1,35	1,12	-2,84	-0,86
1810	-0,22	-0,53	-0,38	0,81	-4,36	-1,78	1,25	-3,92	-1,34	1,11	-4,43	-1,66
1815	-0,80	-1,10	-0,60	2,00	-5,00	-1,50	0,10	-4,70	-2,30	0,00	-4,90	-2,50
1816	0,40	-0,30	0,40	1,20	-2,60	-0,70	-0,70	-5,20	-2,90	-0,10	-4,40	-2,30

provocare una significativa diminuzione della temperatura della troposfera terrestre. L'abbassamento termico, secondo studi recenti, dipenderebbe piuttosto da una interazione complessa tra l'atmosfera e i raggi cosmici galattici (GCR) e solari (SCR). Durante le fasi di bassa attività del Sole, si determinerebbe un aumento della copertura nuvolosa a scala planetaria, in conseguenza della maggiore attività dei raggi GCR sui gas dell'alta atmosfera, meno contrastati dal vento solare, che provocherebbe la moltiplicazione dei nuclei di condensazione del vapore acqueo ed un conseguente aumento della nuvolosità a scala planetaria, con il significativo aumento dell'albedo terrestre (Svensmark & Friis-Christensen, 1997). Le "piccola età glaciale" potrebbe dunque essere interpretata principalmente come conseguenza delle variazioni dell'attività solare¹⁷ e dei raggi cosmici galattici, anche se gli episodi vulcanici più intensi possono aver svolto un ruolo significativo sugli andamenti meteorologici di quella fase climatica, sia pure per un tempo limitato e con una distribuzione geografica non omogenea¹⁸

¹⁷ Fino ad oggi non vi è prova della relazione causale tra numero annuo di macchie solari, cicli solari e andamenti climatici, tuttavia secondo John Allen Eddy (1983) "la corrispondenza tra due segnali non periodici, cioè i documenti della storia del clima e il profilo della variabilità solare nel lungo periodo, ben si adattano l'uno all'altro, quasi come una chiave e la sua serratura". Tra gli studiosi non vi è tuttavia accordo circa le cause fisiche che influenzano la temperatura planetaria, soprattutto nell'Antropocene. È parere di chi scrive che la complessità del problema sia tale da rendere difficile per ora la formulazione di un modello in grado di descrivere in termini quantitativi la relazione tra l'attività solare e la sua ripercussione sul sistema climatico terrestre. Nuove ipotesi mettono in rilievo la possibile interazione tra il vento solare e la radiazione cosmica galattica, che avrebbe un ruolo nella produzione di nuclei di condensazione nell'atmosfera, che costituiscono il supporto nella formazione delle gocce, a loro volta costitutive delle nuvole.

¹⁸ La distribuzione dell'aerosol di origine vulcanica nell'alta troposfera e nella stratosfera non è omogenea a causa dell'effetto delle correnti aeree. Questo fenomeno potrebbe avere effetto sulla durata e l'intensità del raffreddamento, diverso da regione a regione, anche in funzione della latitudine (Briffa *et al.*, 1944; Man *et al.*, 1999). Nel Quebec e nel Labrador, ad esempio, l'anomalia negativa della temperatura dell'estate del 1816 fu molto più intensa rispetto a quella registrata in alcune stazioni meteorologiche italiane (Camaiore), così come in Europa, dove le anomalie più rilevanti interessarono l'Europa Occidentale e l'Inghilterra Orientale.

(Lean *et al.*, 1995; Lassen & Friis-Christensen, 1995). Le prove naturalistiche confermano che durante i periodi di forte riduzione del numero delle macchie solari si è verificato un periodo di avanzata dei ghiacciai alpini mentre il loro aumento ha segnato una fase di regresso¹⁹. I dati strumentali raccolti presso altre stazioni meteorologiche settecentesche italiane, come quella di Padova, indicano che per alcuni decenni del Settecento la temperatura subì una sensibile riduzione, segnalata dalle misure di Giuseppe Toaldo²⁰ (Butori, 1817). A Camaiore, dopo una fase di crescita delle temperature annue, protrattasi dal 1782 al 1802, nei sette anni successivi (Tavola A in Appendice), prima dell'evento del 1809, si era verificata una forte flessione, in parte contemporanea al "Minimo di Dalton" (circa 1798-1823).

Il periodo più critico per le produzioni agricole e per lo stato di salute delle popolazioni dello Stato di Lucca durante il biennio 1816 e 1817, è stato preceduto dunque da numerosi anni con un basso numero di macchie e da cicli solari di lunghezza superiore alla

¹⁹ Tra la fine del Settecento e i primi decenni dell'Ottocento, il massimo avanzamento delle fronti dei ghiacciai del Lys (Valle di Gressoney) e di Macugnaga (Valle Anzasca) nel Gruppo del M. Rosa, si verificò intorno al 1820 (Welden, 1824; Motta L. & Motta M., 1993). Umberto Monterin (1918) afferma [...] "Esse [le morene frontali] vanno ricollegate a quel massimo sviluppo glaciale che si ebbe a verificare verso il 1820 su tutte le nostre Alpi. A questo maximum iniziatosi verso il 1806 ha certamente preceduto un periodo di ritiro. Infatti Brückner (1890) c'informa che a dette espansioni corrispose, con un ritardo di qualche anno vario da ghiacciaio a ghiacciaio a seconda della loro forma e struttura, un periodo freddo-umido (1806-1825), a cui precedette un periodo caldo-asciutto (1791-1805) che certamente sarà stato di regresso per i nostri ghiacciai". Si osserva come tale cronologia degli eventi trovi sostanziale conferma dalle osservazioni meteorologiche di Butori, che perciò allargano l'orizzonte degli andamenti meteorologici successi a Camaiore a un più vasto scenario geografico.

²⁰ "Si promuove il dubbio tra i Fisici se il caldo sopra il nostro globo coll'anzar degli anni cresca, diminuisca, o si mantenga sempre sullo stesso tenore. Il già lodato Signor Toaldo (Giuseppe Toaldo, *Pianezze 1719-†Padova 1797) afferma risultare ad evidenza delle osservazioni, che il freddo di anno in anno era andato crescendo, e pubblica una Tavoletta, la quale manifesta il calor medio di Padova di cinque anni in cinque anni dal 1725, fino al 1795. dalla quale apparisce che ne primi 35. anni dal 1725. fino al 1760. il calor medio di Padova risultò in gr. 11., 57. [14,46°C] e ne' secondi dal 1761. al 1795. in gr. 9.98 [12,48°C] (Butori, 1817).

media. Allo stato attuale delle conoscenze è ragionevole sostenere che i fenomeni meteorologici descritti trovino spiegazione in primo luogo nelle cause cosmiche, senza trascurare l'influenza delle grandi eruzioni dell' "Unknown Source" (1809) e del Tambora (1815), che tuttavia avrebbero avuto un ruolo importante ma subordinato e limitato nel tempo.

BIBLIOGRAFIA

- ALBANI D., 1940. Le spiagge della Toscana Settentrionale dalla foce del fiume Magra ai Monti Livornesi. *Ricerche sulle variazioni delle spiagge*. Vol. II, CNR, Tip. del Senato, Roma: 78 pp.
- ALFANI G., 1920. Un secolo di osservazioni meteorologiche. *Pub. Oss. Xim.*, Barbera, Firenze: 1-126.
- ANTONELLI R., SANTINI L., 1987. Casoli - mille anni di storia e più. Edizioni T.M., Massarosa: 1-188.
- ARRIGHI G., 1962. Scienziati lucchesi del Settecento: Giovan Stefano Conti. *Giornale Lucchese. Provincia di Lucca*, 436 (3): 31-44.
- ARRIGHI G., 1964. Il canonico Pietro Antonio Butori da Camaioere (1743-1826). *La Provincia di Lucca*, IV, N. 1: 28-42.
- ARRIGHI G., 1980. Lettere a Giovan Stefano Conti di Ruggiero Giuseppe Boscovich. *Acc. Toscana Sci. Lett. La Colombaria*, Firenze, 55: 5-17.
- AUTORITÀ DI BACINO PILOTA DEL FIUME SERCHIO, 2010. Report n. 1: Eventi alluvionali di impatto significativo avvenuti nel passato. A cura di Colman M., Di Grazia A., Quilici F., Sadun S.: 1-62.
- BEER J., JOOS F., LUKASCZYK CH., MENDE W., RODRIGUEZ J., SIEGENTHALER U., STELLMACHER R., 1994. $^{10}\text{B}_\alpha$ as indicator of solar variability and climate. Nesmé-Ribes É. (ed.) *The Solar Engine and its Influence on Terrestrial Atmosphere and Climate*. Berlin: 221-233.
- BEER J., BAUMGARTNER ST., HANNEN-DITTRICH B., HAUENSTEIN J., KUBIK P., LUKASCZYK CH., MENDE W., STELLMACHER R., SUTER M., 1994. Solar Variability Traced by Cosmogenic Isotopes. *The Sun as a Variable Star*, Camb. Univ. Press: 291-300.
- BERTACCHI A., 1886. Lettera sui manoscritti meteorologici di Gio. Stefano Conti e Pietro Antonio Butori. *Atti Acc. Lucchese Sci. Lett. Arti. Ragguagli delle adunanze accademiche 1884-1886*. Lucca, Giusti, 24: 44-78.
- BOLLETTINO DELLE LEGGI DELLA PROVINCIA LUCCHESA, 1817. Tomo XXVI. Dato a Lucca li 16 Gennajo 1817. Presso Francesco Bertini Stampatore del Governo: 83-88.
- BRIFFA K.R., JONES P.D., SCHWEINGRUBER F.H., 1944. Summer temperatures across northern North America: regional reconstructions from 1760 using tree-ring densities. *J. Geophys. Res.* 99: 25835-25844.
- BRIFFA K.R., SCHWEINGRUBER F.H., JONES P.D., OSBORN T.J., SHIYATOV S. G., VAGANOV E.A., 1998. Reduced sensitivity of recent tree growth to temperature at high northern latitudes. *Nature*, 391: 678-682.
- BRÜCKNER E., 1890. Klimaschwankungen seit 1700. Wien.
- BUTORI P., (XVIII-XIX secolo). Tavole delle giornaliere osservazioni meteorologiche fatte dal canonico Pietrantonio Butori il di primo gennaio 1777 da continuarsi fino a che non gli mancherà il potere o la voglia. *Biblioteca Statale di Lucca*. Ms. 2917.
- BUTORI P., 1817. Risultati meteorologici di anni quaranta offerti e dedicati all'Accademia Lucchese delle Scienze e delle Belle Lettere ed Arti dal collega Pietrantonio Butori. *Atti Acc. Lucchese Sci. Lett. Arti*. Lucca. Ed. Bertini: 1-52.
- BUTORI P., 1827. Memoria meteorologica degli anni 1817, 1818, 1819, 1820 del Signor Canonico Pietrantonio Butori. *Atti R. Acc. Lucchese Sci. Lett. Arti*. Tomo III. Lucca, dalla Tipografia di Francesco Bertini.
- CAVAZZA S., PANICO A., 1977. Note preliminari sulle variazioni morfologiche del tronco terminale del fiume Arno. *CNR. Prog. Fin. "Conservazione del Suolo": Sotto. Prog. "Dinamica dei Litorali"*. Pubbl. N° 20: 157-162.
- CHARLSON R.J., WIGLEY T.M.L., 1994. Sulfate Aerosol and Climatic Change. *Scientific American*, 270 (2): 48-57.
- CIAMPI G., 2004. Il delta dell'Ombrone. Indizi sui fattori della sua dinamica desunti dalla cartografia. *Boll. Soc. Geogr. Ital.*, Serie XII, IX: 991-996.
- COLE-DAI J., FERRIS D., LANCIKI A., SAVARINO J., BARONI M., 2009. Cold decade (AD 1810-1819) caused by Tambora (1815) and another (1809) stratospheric volcanic eruption. *Geogr. Res. Lett.*, 36, L22703, doi:10.1029/2009GL040882, 2.
- 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. Studio del Territorio e delle sue Risorse Univ. Genova*. Litocoop Tortona (AL): 1-162.
- CORTEMIGLIA G.C., RAPETTI F., VITI F., 2011. Analisi climatica della serie termopluviometrica storica (1813-2008) rilevata nell'Osservatorio meteorologico Ximeniano di Firenze. *Riv. Geogr. Ital.*, 118: 83-114.
- CORTEMIGLIA G.C., RAPETTI C., RAPETTI F., 2012. La serie termometrica di Giovan Stefano Conti rilevata nel suo palazzo di Lucca dal 23 settembre 1744 al 2 agosto 1794. *Boll. Soc. Geogr. Ital.*, Serie XIII, V: 513-539.
- CORTEMIGLIA G.C., 2013. Ricostruzione della serie termometrica storica (1816-2012) di Alessandria. *Iulia Dertona*, 65, II ser., 107, 2: 143-175.
- DEL VITA A., LOMBARDI E.C., MAGGINO F., PARDINI E., ROCCHETTI A., STEFANIA G., TESI G., 1998. L'alta mortalità nel 1816-1817 e gli "inverni del vulcano". *Boll. Demogr. Storica*, 29: 71-89.
- EDDY J.A., 1976. The Maunder Minimum. *Science*, 192, 4254: 1189-1202.
- EDDY J.A., 1983. The Maunder Minimum - A reappraisal. *Sol. Phys.* 89: 195-207.
- FAO/OMS, 1972. Besoins énergetique et besoins en proteines. *Rapport FAO/OMS - FAO Rome, 1972; OMS Genève, 1972*.
- FRIIS-CHRISTIANSEN E., LASSEN K., 1991. Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate. *Science*, 254, 5032: 698-700.
- GROVE J.M., 1988. The Little Ice Age. London, Methuen.
- KIVÉLIOVITCH M., VIALAR J., 1953. Étude statistique des series chronologiques. *Journ. Scient. Météor.*, 5°, 17: 21-46.
- KÖPPEN W. Z., 1873. Osterreich. *Gesell. Meteorol.* 8: 241-257.
- LAMB H.H., 1977. Climate, Present, Past and Future. Vol. 2. Methuen, London.

- LASSEN K., FRIIS-CHRISTENSEN, 1995. Variability of solar cycle length during the past five centuries and the apparent association with terrestrial climate. *Jo. Atmosph. Terr. Phys.* Vol. 57, N° 8: 835-845.
- LEAN J., BEER J., BRADLEY R., 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geoph. Res. Lett.*, 22: 3195-3198.
- LE ROY LADURIE E., 1967. Histoire du Climat Depuis l'an mil. *Flammarion*, Paris.
- MANCINI A., 1950. La storia di Lucca. *Sansoni*, Firenze: 1-375.
- MARINELLI G., SANTACROCE R., 1987. Quell'anno senza estate. *Geodes*: 34-43.
- MARTINI A., 1883. Manuale di Metrologia. Loescher, Torino: 1-904.
- MATERASSI L., 1849. Memoria intorno ai lavori eseguiti al fiume Arno, nel compartimento pisano, dal 1840 al 1847. Tipografia Nistri. Pisa.
- MONTI S., RAPETTI F., 2012. Stima del trasporto potenziale sul fondo del fiume Arno (Toscana) tra il 1951 e il 2010. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A*, Vol. 116: 115-126.
- MOTTA L., MOTTA M., 1993. Morfologia e dinamica del Ghiacciaio del Lys. *Rév. Vald. Hist. Nat.*, 47: 5-22.
- NATONI E., 1944. Le piene dell'Arno e i provvedimenti di difesa. *Commissione italiana di studio per problemi del soccorso alle popolazioni*. Vol. XII. Felice Le Monnier, Firenze: 1-397.
- OPPENHEIMER C., 2003. Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815. *Progr. Phis. Geogr.*: 27: 230-259.
- PINNA M., 1996. Le variazioni del clima. Dall'ultima grande glaciazione alle prospettive per il XXI secolo. Franco Angeli. Milano: 1-214.
- RAGGI D., RAGGI G., 1989. Il bacino del fiume Camaiole (Alpi Apuane, Versilia): caratteri idrogeologici e disponibilità idriche. *Mem. Acc. Lunig. Sci.* LVII-LVIII: 77-100.
- RAPETTI F., 1995. Le osservazioni meteorologiche e la cultura scientifica di Pietrantonio Butori (1743-1826), canonico della collegiata di Camaiole (Lucca). *Convegno Nazionale Strumenti e Cultura Scientifica nell'Ottocento in Italia*. Firenze 3-5 maggio 1995: 76-83.
- RAPETTI F., 1997. Le osservazioni e gli studi meteorologici di Giovan Stefano Conti studioso lucchese del XVIII secolo. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., Serie A*, 104: 59-66.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 1974. Osservazioni sulle variazioni dell'ala destra del delta dell'Arno. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A*, 81: 25-88.
- RAPETTI F., VITTORINI S. 1986. L'episodio di gelo del gennaio 1985 in Toscana, con particolare riguardo alla bassa valle dell'Arno. *Riv. Geogr. Ital.*, 93: 437-447.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 1988. Le variazioni del clima di Firenze dal 1822 al 1986. *Boll. Soc. Geogr. Ital., Ser. XI*, V: 73-92.
- RAPETTI F., VITTORINI S., 2003. Le osservazioni meteorologiche condotte a Camaiole (Lucca) dal canonico Pietrantonio Butori tra la secondo metà del XVIII secolo e la prima metà del XIX secolo. *Mem. Soc. Geogr. Ital.*, 70:149-188.
- RITTMANN A., 1963. Les volcans et leur activité. Masson et Cie, Paris.
- SCHNEIDER S.H., MASS C., 1975. Volcanic Dust, Sunspots, and Temperature Trend. *Science*, 190: 741-746.
- SCHOUW J.F., 1839. Tableau de la température e des pluies de l'Italie - avec un atlas de 5 cartes. Tableau du climat et de la végétation de l'Italie: résultat de deux voyages en ce pays dans les années 1817-1819 et 1829-1830, Copenhague, Librairie Gyldendal: 1-227.
- SIEBERT L., SIMKIN T., KIMBERLY P., 2010. Volcanoes of the World. Third Edition. Smithsonian Institution; University of California Press
- SIGURDSSON H., CAREY S. (1989). Plinian and co-ignimbrite tephra fall from the 1815 eruption of Tambora volcano. *Bull Volcanol*, 51: 243-270.
- SIMKIN, T., SIEBERT L. 1994. Volcanoes of the World. 2nd edition: Geoscience Press in association with the Smithsonian Institution Global Volcanism Program, Tucson, AZ: 1-386.
- STOMMEL H., STOMMEL E., 1979. L'anno senza estate. *Le Scienze*, 132: 94-100.
- STOTHERS R.B., 1984. The Great Tambora Eruption in 1815 and Its Aftermath. *Science*, 224: 1191-1198.
- SVENSMARK H., FRIIS-CHRISTENSEN E., 1997. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage: a missing link in solar-climate relationships. *J. Atmosph. Sol. Terrest. Phys.*, 59, 11: 1225-1232.
- TARGIONI TOZZETTI O., 1817. Rapporto del dottore Ottaviano Targioni Tozzetti. *Atti dell'Imperiale e Reale Accademia Economico Agraria dei Georgofili*. Vol. VIII, Firenze: 435-442.
- TONIOLO A., 1910. Sulle variazioni di spiaggia a foce d'Arno. Editore Giardini, Pisa.
- TONIOLO A., 1927. Variazioni storiche del litorale toscano tra l'Arno e la Magra. *Atti X Congr. Geogr. Ital.*, 1, 6-15 settembre 1927. Milano: 314-330.
- THORNTHWAITE C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, 38, 55-94.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publ. Climatol.*, 10 (3): 186-311.
- VALMORE C., LAMARCHE JR, HIRSCHBOECK K., 1984. Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions. *Nature*, 307: 121-126.
- VITTORINI S. 1972. Ricerche sul clima della Toscana in base all'evapotraspirazione potenziale e al bilancio idrico. *Riv. Geogr. Ital.*, 89: 1-30.
- VITTORINI S., 1991. La diminuzione del trasporto torbido nei fiumi italiani tra il periodo prebellico e quello attuale. *Geog. Fis. Dinam. Quat.*, 14, 251-258.
- WELDEN L., 1824. Der Monte Rosa. Eine topographische und naturhistorische Skizze. Wien: 50-51.

APPENDICE

Tabella A - Temperature medie mensili, stagionali e annue (°C) a Camaiore (1777-1831)^(*)

Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	T _A	T _I	T _P	T _E	T _{anno}
1777	4,9	8,8	12,2	12,9	16,3	19,7	22,5	22,4	19,2	18,9	11,3	6,1	16,5	-	13,8	21,5	14,6
1778	9,1	6,9	10,1	14,7	17,3	19,4	22,8	22,2	17,9	16,8	11,5	9,2	15,4	7,4	14,0	21,5	14,8
1779	4,0	7,9	9,5	14,2	18,0	18,6	21,4	21,6	19,9	16,7	12,5	10,7	16,4	7,0	13,9	20,5	14,6
1780	5,5	6,1	11,4	12,0	17,3	20,3	22,3	22,4	17,9	17,4	10,7	5,3	15,3	7,4	13,6	21,7	14,1
1781	6,0	7,9	10,2	14,0	16,7	19,3	22,5	21,8	18,9	12,5	10,5	8,6	14,0	6,4	13,6	21,2	14,1
1782	5,4	3,5	8,5	11,9	15,7	21,8	25,3	23,6	18,3	13,4	8,4	7,0	13,4	5,8	12,0	23,6	13,6
1783	7,6	7,7	9,1	12,8	16,7	19,1	23,9	22,8	19,4	15,9	10,0	9,0	15,1	7,4	12,9	21,9	14,5
1784	5,0	5,1	10,4	10,8	17,4	21,7	24,4	22,5	20,6	12,8	8,6	6,2	14,0	6,4	12,9	22,9	13,8
1785	7,4	5,5	6,5	11,1	15,7	19,6	21,6	22,3	22,5	15,3	10,2	9,1	16,0	6,4	11,1	21,2	13,9
1786	6,4	7,0	8,8	12,7	17,7	21,1	22,7	21,6	17,3	10,7	10,2	7,1	12,7	7,5	13,1	21,8	13,6
1787	4,6	8,6	10,8	13,9	14,5	18,9	23,0	25,0	18,6	15,3	11,3	10,9	15,1	6,8	13,1	22,3	14,6
1788	7,6	9,4	12,3	13,8	13,4	22,8	25,6	23,7	21,4	15,2	10,5	5,9	15,7	9,3	13,2	24,0	15,1
1789	7,4	7,3	7,9	13,7	18,1	19,4	22,8	23,4	19,9	14,3	8,5	6,4	14,2	6,9	13,2	21,9	14,1
1790	4,9	7,4	9,6	12,2	16,9	20,7	22,3	24,0	20,3	18,3	13,0	7,7	17,2	6,2	12,9	22,3	14,8
1791	7,6	6,3	9,8	15,3	15,8	19,6	22,2	24,6	19,4	14,6	11,0	8,4	15,0	7,2	13,6	22,1	14,6
1792	8,5	6,7	10,3	13,6	16,8	20,6	22,8	22,8	18,5	16,7	10,1	6,1	15,1	7,9	13,6	22,1	14,5
1793	4,9	6,8	10,5	12,1	16,4	19,6	24,0	24,0	21,9	16,4	13,3	10,1	17,2	5,9	13,0	22,5	15,0
1794	7,8	8,1	10,3	15,3	17,2	20,9	24,8	22,6	18,4	14,9	11,1	6,0	14,8	8,7	14,3	22,8	14,8
1795	3,5	8,6	10,5	13,5	19,0	20,4	21,7	23,0	19,9	19,0	9,5	9,6	16,1	6,0	14,3	21,7	14,9
1796	10,3	7,8	8,2	12,5	15,8	20,2	22,8	23,6	20,5	16,6	11,2	6,7	16,1	9,2	12,2	22,2	14,7
1797	5,9	6,9	8,8	14,1	18,6	18,9	22,8	24,4	20,7	15,7	11,5	8,1	16,0	6,5	13,8	22,0	14,7
1798	6,7	8,1	9,4	12,3	17,7	20,5	22,2	22,8	19,9	13,4	12,0	6,9	15,1	7,6	13,1	21,8	14,3
1799	0,9	9,4	11,5	13,1	16,8	19,7	22,7	22,4	20,3	15,4	9,3	7,8	15,0	5,7	13,8	21,6	14,1
1800	9,1	9,4	9,0	15,4	18,6	20,0	23,8	21,9	19,8	14,9	11,3	7,8	15,3	8,8	14,3	21,9	15,1
1801	6,6	8,1	11,6	14,3	18,0	21,9	22,6	21,6	19,3	15,7	12,7	8,3	15,9	7,5	14,6	22,0	15,1
1802	5,1	8,0	10,7	12,8	18,3	23,0	24,4	24,4	19,6	17,6	12,6	9,4	16,6	7,1	13,9	23,9	15,5
1803	9,9	5,3	10,4	15,4	16,1	20,8	22,9	23,7	18,8	14,6	12,4	9,0	15,3	8,2	14,0	22,5	14,9
1804	11,8	6,7	10,3	12,9	19,3	22,8	22,4	22,8	19,5	15,4	12,0	9,0	15,6	9,2	14,2	22,7	15,4
1805	7,8	8,6	8,8	12,0	16,1	21,2	22,8	22,3	19,2	13,5	7,7	6,4	13,5	8,5	12,3	22,1	13,9
1806	7,5	9,5	9,8	11,5	17,4	21,4	23,1	22,2	19,0	15,2	11,8	10,4	15,3	7,8	12,9	22,2	14,9
1807	5,2	9,8	8,6	11,0	18,2	21,4	24,6	25,1	20,7	16,4	13,0	8,0	16,7	8,5	12,6	23,7	15,2
1808	6,0	5,5	6,5	11,5	18,4	19,7	24,3	22,8	21,4	12,5	11,1	8,5	15,0	6,5	12,1	22,3	14,0
1809	8,5	8,7	9,6	10,7	17,4	20,6	22,4	22,2	18,5	13,5	9,6	6,8	13,9	8,6	12,6	21,7	14,0
1810	5,7	6,7	12,7	13,1	17,9	19,1	22,4	21,4	20,0	16,7	11,4	7,6	16,0	6,4	14,6	21,0	14,6
1811	5,5	9,2	9,7	13,8	18,3	21,9	23,2	21,9	19,3	18,0	11,7	6,8	16,3	7,4	13,9	22,3	14,9
1812	4,9	7,8	9,3	11,3	17,7	21,0	22,0	22,5	17,6	15,1	9,5	6,2	14,1	6,5	12,8	21,8	13,7

* Valori originali in gradi Reaumur (°R)

segue Tabella A

Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	T _A	T _I	T _P	T _E	T _{anno}
1813	4,7	8,4	8,7	13,6	19,2	19,7	20,0	20,9	18,4	16,5	10,6	8,0	15,2	6,4	13,8	20,2	14,1
1814	7,6	6,3	9,0	14,2	16,0	20,1	22,2	22,1	16,4	14,3	11,3	8,9	14,0	7,3	13,1	21,5	14,0
1815	5,0	8,9	10,5	13,3	18,2	19,4	21,4	20,6	18,5	15,2	9,7	6,8	14,5	7,6	14,0	20,5	14,0
1816	6,0	6,8	8,6	12,5	16,4	20,2	20,8	20,8	19,0	15,1	9,5	5,6	14,5	6,5	12,5	20,6	13,4
1817	7,4	8,3	9,2	10,1	16,6	20,1	21,9	20,9	20,5	17,6	11,4	6,7	16,5	7,1	12,0	21,0	14,2
1818	6,7	9,1	10,8	13,7	16,9	20,1	23,7	22,0	19,7	13,5	11,7	6,2	15,0	7,5	13,8	21,9	14,5
1819	5,8	7,2	10,9	14,3	19,5	20,3	22,7	22,6	19,3	15,1	11,2	7,3	15,2	6,4	14,9	21,9	14,7
1820	5,6	8,2	8,4	14,6	18,7	19,8	23,4	24,9	18,7	15,8	9,2	7,4	14,6	7,0	13,9	22,7	14,6
1821	6,9	5,2	10,1	15,1	17,7	18,6	21,8	23,0	19,4	14,3	11,0	9,4	14,9	6,5	14,3	21,1	14,4
1822	4,8	7,2	10,8	14,6	18,4	25,3	24,3	24,0	21,4	13,0	12,5	5,9	15,6	7,1	14,6	24,5	15,2
1823	5,2	9,4	8,9	12,0	17,5	20,7	22,1	23,2	20,3	15,0	8,6	7,2	14,6	6,8	12,8	22,0	14,2
1824	4,2	4,9	9,2	11,8	16,8	18,8	23,3	23,2	21,5	15,7	12,2	5,3	16,5	5,4	12,6	21,8	13,9
1825	5,4	4,6	8,6	13,3	16,1	20,2	23,5	22,8	19,6	13,2	11,0	11,2	14,6	5,1	12,7	22,2	14,1
1826	5,7	8,3	10,0	13,3	14,9	17,0	23,6	23,7	20,5	16,3	8,2	7,6	15,0	8,4	12,7	21,4	14,1
1827	6,5	6,9	11,0	13,2	16,9	20,6	24,5	23,2	18,2	16,5	8,5	6,9	14,4	7,0	13,7	22,8	14,4
1828	7,3	7,0	10,0	13,0	18,0	22,0	25,0	22,0	20,0	15,0	11,0	7,5	15,4	7,2	13,9	22,8	14,9
1829	6,1	5,6	11,1	14,6	17,5	19,8	22,3	21,3	19,0	14,5	9,2	5,3	14,2	6,4	14,4	21,1	13,9
1830	4,4	6,7	10,7	15,8	18,3	19,4	24,0	23,2	18,9	13,0	11,5	8,6	14,5	5,5	14,9	22,2	14,5
1831	6,7	7,7	11,0	14,2	17,5	21,0	23,0	22,9	18,2	16,5	11,7	8,2	15,5	7,7	14,2	22,3	14,9
Media	6,3	7,4	9,8	13,2	17,2	20,4	23,0	22,8	19,5	15,3	10,8	7,7	15,2	7,1	13,4	22,0	14,4

Tabella B - Precipitazioni medie mensili, stagionali e annue (mm) a Camaiore (1777-1831) (**)

Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	P _A	P _I	P _P	P _E	P _{anno}
1777	45	140	71	66	103	107	13	13	107	389	115	157	611	406	240	133	1326
1778	186	134	174	150	45	92	7	44	159	252	198	183	609	477	369	143	1624
1779	7	5	4	26	82	181	52	126	107	87	208	193	402	195	112	359	1078
1780	174	159	67	135	29	86	36	134	212	143	163	55	518	526	231	256	1393
1781	111	132	47	173	155	220	55	47	134	161	195	118	490	298	375	322	1548
1782	112	84	59	244	90	1	1	43	23	267	118	13	408	314	393	45	1055
1783	157	151	189	24	122	73	88	77	124	102	60	157	286	321	335	238	1324
1784	108	157	159	90	4	14	1	65	100	199	130	212	429	422	253	80	1239
1785	94	79	88	77	24	19	20	18	1	155	250	169	406	385	189	57	994
1786	305	29	269	200	33	98	65	159	86	67	342	181	495	503	502	322	1834
1787	20	55	118	141	102	71	61	14	69	138	263	324	470	256	361	146	1376
1788	208	220	216	20	28	22	24	43	161	88	102	189	351	752	264	89	1321
1789	65	83	236	52	27	45	3	88	57	307	169	165	533	337	315	136	1297
1790	75	47	4	118	57	88	8	35	47	216	196	114	459	287	179	131	1005
1791	208	71	16	47	204	104	27	43	83	252	381	169	716	393	267	174	1605
1792	305	26	33	55	100	39	55	35	159	187	139	67	485	500	188	129	1200
1793	92	59	187	195	50	4	26	21	56	161	145	240	362	218	432	51	1236
1794	138	11	55	33	155	116	43	71	140	295	151	96	586	389	243	230	1304
1795	122	140	37	81	13	109	102	77	71	297	226	96	594	358	131	288	1371
1796	153	145	84	14	149	23	12	8	170	153	149	346	472	394	247	43	1406
1797	136	17	155	167	82	220	14	1	163	299	125	124	587	499	404	235	1503
1798	95	126	226	71	55	130	71	53	122	170	243	63	535	345	352	254	1425
1799	61	138	82	157	120	216	31	16	86	242	75	149	403	262	359	263	1373
1800	301	81	49	67	34	79	4	122	92	120	358	153	570	531	150	205	1460
1801	49	189	128	52	118	22	14	27	280	236	393	236	909	391	298	63	1744
1802	147	134	116	12	152	3	69	8	29	257	558	178	844	517	280	80	1663
1803	218	39	108	35	79	57	39	83	159	173	257	157	589	435	222	179	1404
1804	263	171	141	219	79	0	329	41	1	307	327	277	635	591	439	370	2155
1805	301	77	14	181	157	79	10	10	45	238	30	169	313	655	352	99	1311
1806	108	104	153	181	86	39	53	73	126	62	275	112	463	381	420	165	1372
1807	63	87	68	41	35	47	92	9	200	185	377	61	762	262	144	148	1265
1808	113	36	64	69	77	75	2	18	92	179	128	102	399	210	210	95	955
1809	91	69	60	320	49	4	40	6	205	25	67	141	297	262	429	50	1077
1810	90	116	149	96	159	146	73	67	64	147	229	221	440	347	404	286	1557
1811	124	69	31	250	42	191	122	167	110	197	43	123	350	414	323	480	1469
1812	79	134	177	115	72	2	106	45	63	334	334	115	731	336	364	153	1576
1813	145	90	10	102	36	222	118	77	130	373	143	236	646	350	148	417	1682
1814	310	4	190	20	92	97	71	151	89	349	220	196	658	550	302	319	1789
1815	143	92	75	143	56	174	63	65	108	284	237	114	629	431	274	302	1554

(**) Valori originali in Libbre di Lucca intercettate da una superficie di Mezzo Braccio quadrato Fiorentino a Panno.

segue

segue Tabella B

Anni	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	P _A	P _I	P _P	P _E	P _{anno}
1816	159	233	76	85	101	59	58	126	106	138	205	141	449	506	262	243	1487
1817	94	28	50	28	142	39	17	26	53	261	73	181	387	263	220	82	992
1818	194	162	179	62	130	23	92	46	45	206	69	139	320	537	371	161	1347
1819	81	271	66	63	149	106	152	97	100	289	311	100	700	491	278	355	1785
1820	147	128	31	128	79	22	8	35	236	291	189	189	716	375	238	65	1483
1821	259	4	246	66	84	92	54	24	216	214	34	424	464	452	396	170	1717
1822	51	12	63	54	54	0	94	76	132	162	181	138	475	487	171	170	1017
1823	208	287	130	151	41	71	4	0	122	428	73	236	623	633	322	75	1751
1824	24	141	79	94	106	104	22	35	94	369	155	174	618	401	279	161	1397
1825	54	12	45	7	71	98	10	9	42	65	179	339	286	240	123	117	931
1826	43	140	41	40	169	151	90	60	228	39	387	90	654	522	250	301	1478
1827	230	263	94	63	259	26	30	80	100	260	60	79	420	583	416	136	1544
1828	148	122	77	122	141	0	0	18	94	90	295	101	479	349	340	18	1208
1829	138	46	165	90	114	90	24	31	149	98	157	53	404	285	369	145	1155
1830	42	94	36	19	24	102	18	18	211	26	157	287	394	189	79	138	1034
1831	178	24	36	155	177	41	24	141	130	39	83	71	252	489	368	206	1099
Media	138	103	100	99	91	79	49	55	114	201	195	162	511	405	291	183	1387

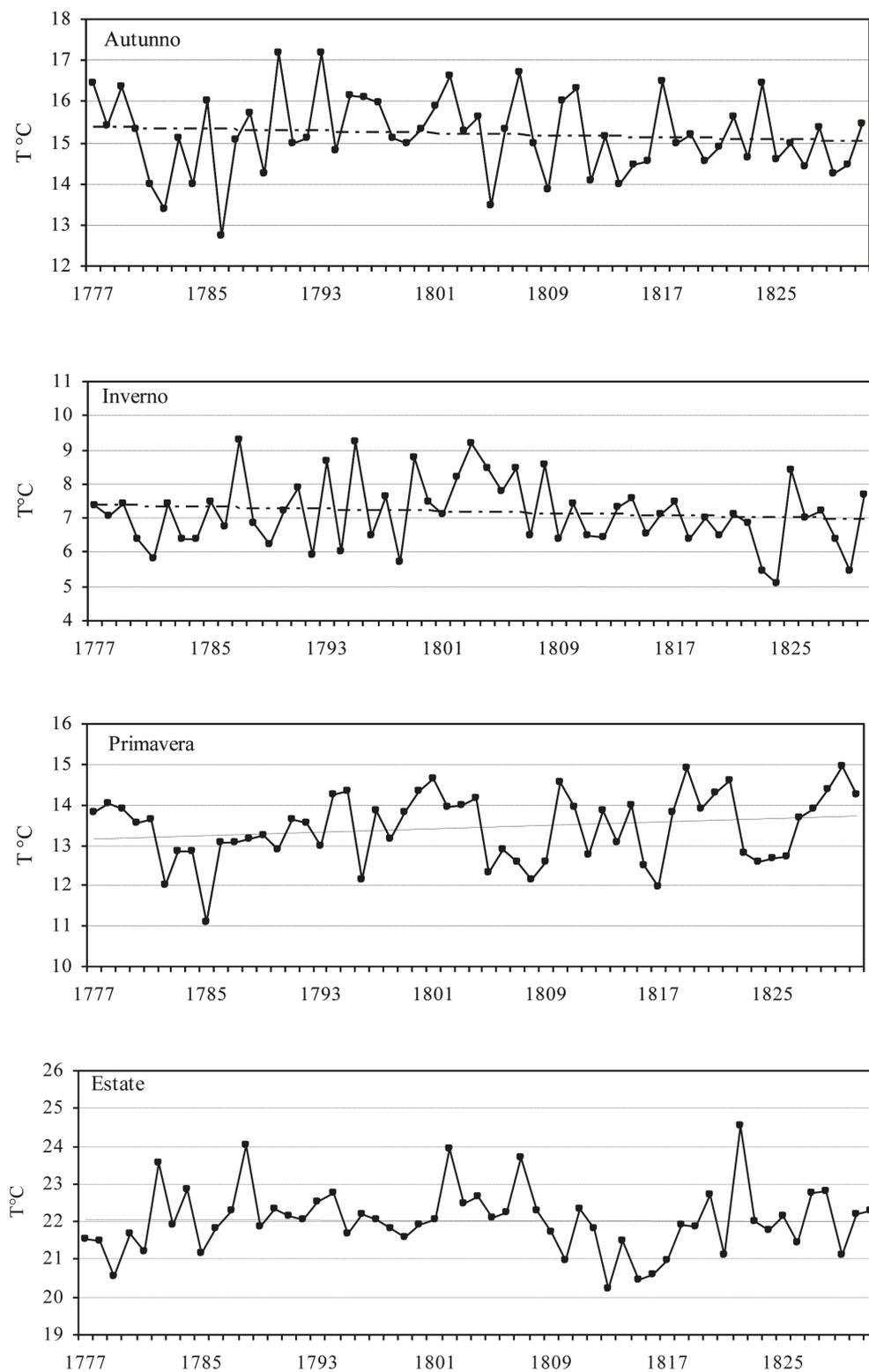


Figura A - Andamento interannuale delle temperature medie dell'autunno, dell'inverno, della primavera e dell'estate (°C) a Camaiore (1777-1831).

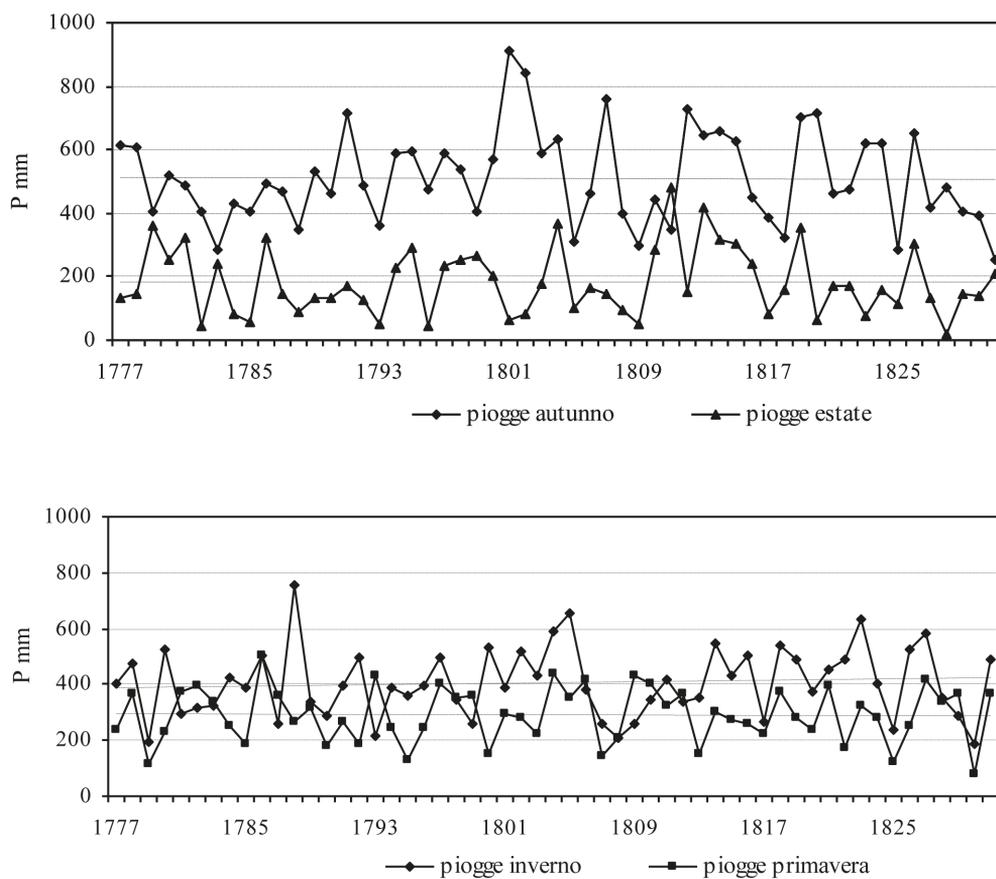


Figura B - Andamento interannuale delle precipitazioni dell'autunno, dell'inverno, della primavera e dell'estate (millimetri) a Camaiore (1777-1831).

(*ms. pres. il 20 giugno 2014, ult. bozze il 20 dicembre 2014*)