

## Cambiamenti climatici negli ultimi 2000 anni

D. Camuffo - S. Enzi

CNR-ICTIMA, Padova

**RIASSUNTO** - *Cambiamenti climatici negli ultimi 2000 anni* - Il Quaternario, 7(1), 1994, 257-266 - Il primo scopo che si prefigge questo lavoro è di migliorare le conoscenze sul clima recuperando e analizzando il patrimonio informativo delle fonti scritte per una lunga serie temporale. Il secondo fine è di porre i cambiamenti climatici in relazione alle variazioni dell'attività solare per verificare se esista realmente un rapporto di causa ed effetto come proposto da Eddy (1977). Dall'analisi di alcune lunghe serie di eventi climatici significativi (alluvioni del Po e dei suoi affluenti, del Tevere e dell'Adige, acqua alta e congelamenti della laguna a Venezia, venti intensi, tempeste, grandine, piogge intense, invasioni di cavallette) sono state tratte alcune conclusioni di cui si riportano di seguito le principali: i) Il periodo 500-1000, ritenuto di peggioramento del clima, va considerato con cautela in quanto lacunoso dal punto di vista documentario. ii) Ancora maggiore cautela occorre per quanto riguarda i secc. X e XI. iii) Il raffreddamento della Piccola Età Glaciale ha mostrato che la risposta del livello degli oceani al cambio di temperatura atmosferica non è stata immediata, semplice e univoca come i modelli farebbero pensare. iv) Le relazioni terra-sole sono interpretabili solo inserendo le varie fasi nel contesto climatico che precede e segue. La teoria di Eddy va provata sulla base del comportamento climatico della terra in tutti i periodi di anomalia solare; dai dati raccolti ed esaminati pare che tale teoria non sia attendibile: il periodo del Minimo di Spörer fu molto tormentato, ma non lo furono quelli di Wolf e di Maunder. Il Minimo di Spörer avvenne abbastanza casualmente in un periodo di anomalie climatiche; tale osservazione è ulteriormente avvalorata dal fatto che in alcuni casi esse precedettero quelle solari. I fenomeni veramente eccezionali, come i grandi inverni, possono capitare in qualunque momento, anche in epoche in cui il riscaldamento atmosferico raggiunge i livelli più elevati.

**ABSTRACT** - *Climatic changes in the last 2000 years* - Il Quaternario, 7(1), 1994, 257-266 - Primary aim of the paper is to improve climatic information by recovering and analysing a long time series of written sources. Moreover, climatic changes are related to solar activity in order to verify whether there is an actual relationship of cause-effect as suggested by Eddy (1977). Conclusions are drawn from the analysis of a long series of important climatic changes (i.e., floods of the Po river and its tributaries; floods of the Tiber and Adige rivers; sea flood and freezing of the Venice lagoon; strong winds; storms; hail; heavy rainfall; grasshopper invasions) as follows: i) a worsening of climate during the time period 500-1000 AD is not proved because documents are few and incomplete; ii) information on the 10th and 11th centuries are incomplete as well; iii) cooling during the Little Ice Age indicates that the ocean level response to atmospheric temperature variations is not immediate, simple and univocal as models suggest; iv) Earth-Sun relationships can be interpreted only if the various phases are put into the preceding and following whole climatic context. Eddy's theory has to be proved on the basis of the Earth's climatic behaviour in the periods of solar anomaly; collected data suggest that this theory is unreliable: the Spörer Minimum is rather perturbed, while the Wolf and Maunder ones are not as much. The Spörer Minimum occurred casually in a period of climatic anomalies; this conclusion is supported also by the observation that such climatic anomalies occurred - in some cases - before the solar ones. Really exceptional phenomena, such as very cold winters, may occur at any time even in periods of very intense atmospheric warming.

### 1. Introduzione

Il clima per sua natura è soggetto a continue variazioni, alcune lente altre veloci. Si conoscono molti scenari che si sono susseguiti nel passato e modelli basati su ragionevoli ipotesi ci prospettano proiezioni per il futuro. Ciò che sfugge maggiormente a questi modelli è la comprensione globale di tutti i complessi meccanismi che partecipano ai processi climatici, e l'esatto tempo di risposta del sistema terra ai fattori esterni e interni, naturali ed antropici. E' quindi importante verificare quale tra i possibili scenari che vengono proposti per il futuro è il più affidabile.

Il problema da teorico diviene pratico, addirittura vitale, per città come Venezia direttamente affacciate al mare ed esposte a rischi di vario tipo innescati da forzanti atmosferiche, ivi compresa la sommersione stessa nel caso dell'atteso riscaldamento conseguente all'aumento dell'effetto serra.

Il primo scopo che ci si prefigge in questo articolo è di migliorare le nostre conoscenze del clima recuperando, vagliando e analizzando il patrimonio informativo italiano esistente su fonti scritte di quanto è realmente accaduto in una vasta scala temporale, analogamente a quanto già fatto da Lamb (1972, 1977), e Alexandre (1987) per l'Europa Occidentale e Pfister (1984) per la Svizzera. Vi sono già stati passaggi da periodi freddi a periodi caldi e viceversa ed è possibile ricostruire come si sia comportato il mare durante tali situazioni.

Negli ultimi 2000 anni infatti si sono alternate alcune epoche climatiche diverse, con i relativi periodi di transizione; le più note sono il Periodo Caldo Medievale (culminato tra il 1000 e il 1200 ca), la Piccola Età Glaciale (1430-1850 ca) e il Riscaldamento Attuale (1850-oggi). Conoscere esattamente cosa è capitato nel passato permette di conoscere la risposta del sistema terrestre alle forzanti climatiche e prevedere cosa può capitare ancora in futuro sulla base dell'evidenza sperimentale e non solamente sulla base di ipotesi.

Il secondo scopo del lavoro è di porre i cambiamenti climatici in relazione alle variazioni dell'attività solare per verificare se esista realmente un rapporto di causa ed effetto. Infatti, con un'ipotesi suggestiva Eddy (1977) mise in relazione i periodi di minima attività solare con i peggioramenti climatici degli ultimi secoli, derivandoli quindi da una variazione negativa della costante solare. L'influenza solare emerge solamente se il periodo interessato è stato realmente anomalo rispetto al periodo precedente e il susseguente, e questo per ogni volta che l'attività solare è stata anomala. Il fatto di disporre di serie lunghissime di dati ambientali permette di osservare il fenomeno nel suo insieme, anziché doverlo studiare a spezzoni, separatamente, in alcuni dei momenti più critici, potendo così distinguere una regola generale da una mera coincidenza. Fortunatamente, nell'intervallo di tempo considerato si attraversano più periodi di minima attività delle macchie solari: il Minimo dell'Antico Medioevo, 660-740; il minimo di Oort, 1010-1090; il minimo di Wolf, 1282-1342; il minimo di Spörer, 1416-1534; il minimo di Maunder, 1645-1714.

## 2. Il clima dei primi secoli dell'era cristiana.

La letteratura latina e la greca forniscono alcune indicazioni di indubbio interesse (Camuffo, 1990), come ad esempio quelle sul famigerato anno 44 a.C. Il periodo dal 45 d.C. al 50 fu caratterizzato da siccità; gli inverni del 58, 69, 74 e del 174 furono particolarmente freddi (ma non raggiunsero il livello dei terribili inverni del 399 a.C., del 275 a.C. e del 177 a.C. in cui gelò il Tevere), mentre quello del 164 ebbe abbondanti nevicate, che causarono anche molti straripamenti. Nel I secolo d.C.

i venti settentrionali a Roma erano piuttosto rari e la brezza marina iniziava circa un mese in anticipo rispetto a ora. Il primi secoli passarono relativamente tranquilli, fino alla vera calamità che nel 589 sconvolse tutto il territorio dell'Italia settentrionale, specie la Valpadana: il "diluvio di Paolo Diacono", così chiamato dal nome del più famoso dei cronisti che lo descrissero. Le alluvioni causate dal Po e dai suoi affluenti e dal Tevere sin da prima dell'era Cristiana, verranno descritte più in dettaglio nel seguito.

## 3. Alluvioni del Po e dei suoi affluenti

Con il Tevere, il Po e i suoi affluenti forniscono dati per oltre due millenni: la prima alluvione del Po che viene menzionata è del 204 a.C. Come in tutte le lunghe serie vi è un vuoto di informazioni attorno al X e XI secolo; la frequenza, apparentemente molto maggiore, di tali eventi nel secondo millennio non indica un netto peggioramento del clima rispetto al precedente ma va spiegata con la maggior presenza di informazioni. La serie va quindi logicamente spezzata in due parti: una prima dell'anno 1000, quando venivano registrati soltanto gli eventi ritenuti eccezionali, e una dopo il 1000, quando vengono registrati sia gli eventi più drammatici, sia quelli di semplice cronaca.

Nella prima parte della serie [Fig.1; si è applicato il filtro di Tukey-Hanning (Wei, 1990) con periodo 50 anni e avanzamento di passo 5 anni, come per tutti i casi successivi] vi è un periodo tranquillo dal II secolo d.C. sino quasi il V secolo. Le elevate condizioni culturali che dominarono fino alla caduta dell'Impero e l'importanza sempre maggiore che ebbero Milano e la Valpadana in generale (l'Imperatore Massimiano pose la sua residenza ufficiale in Milano nel 286 e ivi risiedette anche Costantino) portano ad interpretare tale periodo come privo di catastrofi idrologiche, e non come privo di informazioni. Un'inondazione precede immediatamente il culmine del Minimo di attività solare dell'Alto Medioevo, ma quel periodo non emerge rispetto ai precedenti

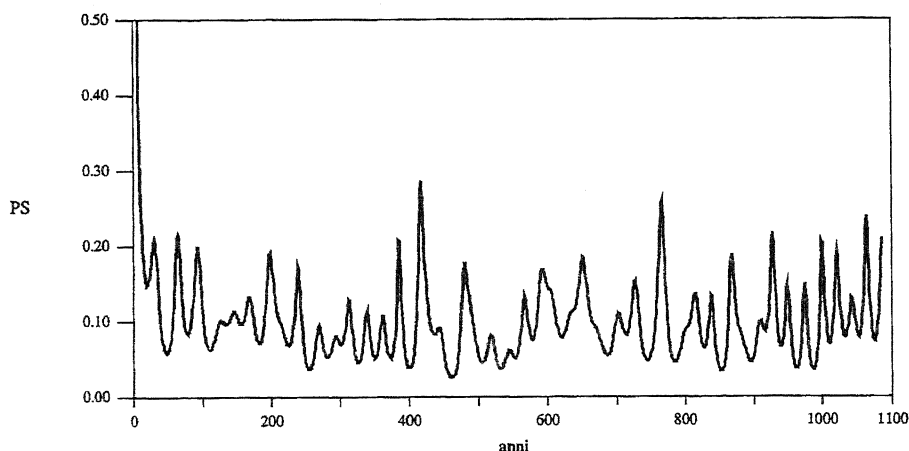


Fig. 2 - Intervallo di ricorrenza delle inondazioni del Po e dei suoi affluenti (MEMSA).  
Return time of floods of the Po River and its tributaries (MEMSA).

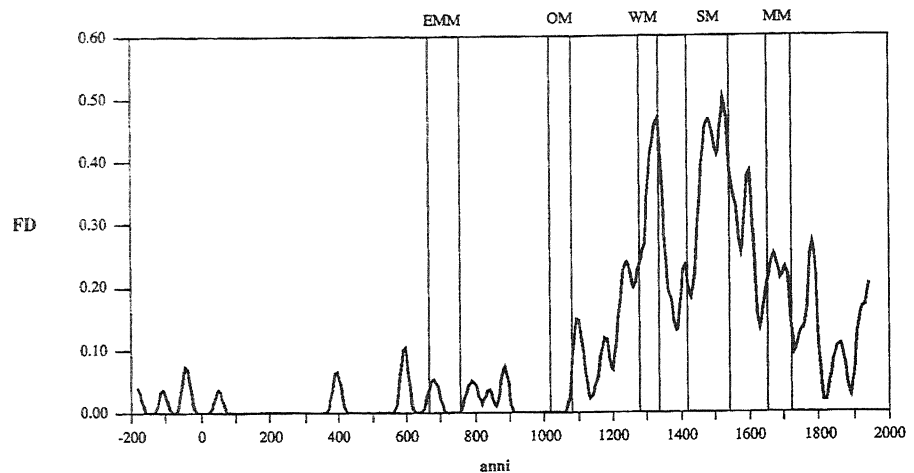


Fig. 1 - Distribuzione della frequenza delle inondazioni del Po e dei suoi affluenti. Filtro di Tukey-Hanning, T = 50 a; AP = 5 a.

Frequency distribution of floods of the Po River and its tributaries. Tukey-Hanning Filter, T = 50 a; AP = 5 a.

Nel secondo millennio la serie delle inondazioni inizia subito dopo il Minimo di Oort, ma questa non appare come caratterizzante di un periodo idrologicamente anomalo. Appare più semplicemente come l'inizio di un'epoca in cui le informazioni si fanno più precise e dettagliate, dopo l'intervallo oscuro del X e XI secolo. Nel secondo millennio dominano nettamente due picchi: uno all'inizio del 1300 e uno a cavallo del 1500, nel pieno dello Minimo di Spörer. Durante il Minimo di Maunder

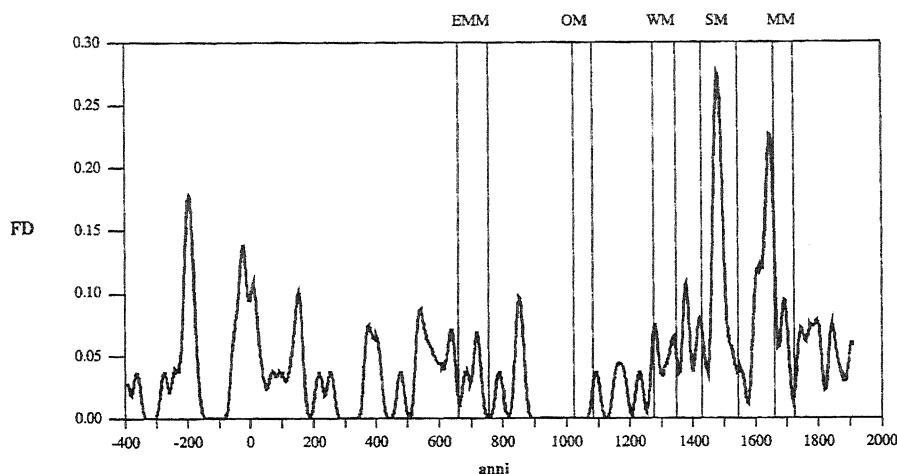


Fig. 3 - Distribuzione della frequenza delle inondazioni del Tevere. Filtro di Tukey-Hanning,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.  
Frequency distribution of floods of the Tiber River. Tukey-Hanning Filter,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.

ecc) coprono un periodo ininterrotto di ventiquattro secoli. La serie di cui disponiamo può ritenersi sostanzialmente completa, ma non omogenea. I problemi che riguardano l'omogeneità sono comuni a tutte le serie molto lunghe e derivano dai cambiamenti subiti dal territorio, dal letto del fiume e dagli argini, dallo sviluppo urbanistico di Roma e dall'attività antropica in generale. Infatti, quando all'inizio la città era poco popolata, con le case arroccate solo sulla parte più alta dei colli, le inondazioni che raggiungevano l'abitato corrispondevano ad un livello di piena di molto superiore a quello necessario a raggiungere le case costruite sulle parti più basse dei pendii o sulle zone vallive. Anche i restringimenti dell'alveo per lo spazio rubato al fiume a favore dei parchi delle ville patrizie del 1500 contribuì ad alterare il regime idrologico del Tevere al suo passaggio per Roma. Un analogo problema, ma per strozzature dovute all'accumulo di detriti, lo si ebbe nel Medioevo, quando il fiume venne trascurato e sui ponti diroccati andarono ad incastrarsi resti di alberi sradicati e detriti vari. Le discariche dirette in fiume furono comuni per molti secoli, così come l'uso di gettarvi ogni sorta di immondizie. Fino al secolo scorso, con alterne vicende, un ulteriore intralcio al corso dell'acqua era dato dai mulini fissati in diversi punti del fiume. Anche gli argini mutarono col tempo, ma furono sostanzialmente migliorati solo dopo l'alluvione del 1870. Infine, le singole storie degli affluenti e del territorio hanno concorso a dividere l'omogeneità della serie in sottoinsiemi minori, variabili da uno a più secoli. Tuttavia, la serie rimane un insieme di estremo interesse che evidenzia l'alternarsi di periodi idrologicamente diversi per un arco di tempo molto lungo.

La prime informazioni che abbiamo delle inondazioni del Tevere iniziano dal 414 a.C., proprio durante il cosiddetto Minimo Greco dell'attività solare (attorno il 400 a.C.), ma questo non fu per il Tevere un periodo idrologicamente singolare anche se vi furono siccità, inverni molto rigidi e violente tempeste. I periodi più tormentati da alluvioni (Fig.3) si verificarono all'inizio del II sec. a.C., nel periodo compreso tra il I sec. a.C. e il II d.C., ma con una maggior frequenza agli estremi, soprattutto nella prima metà del I sec. a.C., poi l'intervallo tra il 500 e il 700; vi furono poi alcune alluvioni più o meno sporadiche con un intervallo tra il X e XI sec. (non è chiaro quanto il generale silenzio in questo periodo sia dovuto all'assenza di calamità naturali e quanto alla mancanza di cronisti attenti) sino a raggiungere due massimi veramente marcati: alla fine del 1400 (all'inizio del Minimo di Spörer) e alla metà del 1600, esattamente quando il Minimo di Maunder stava per cominciare. Durante il Minimo di Wolf la situazione si è mantenuta entro i limiti della normalità e il momento di minima attività solare coincide con un minimo delle fluttuazioni della curva delle alluvioni. Il Minimo di Oort all'inizio del millennio appare senza alcun alluvionamento; la parte della serie del secondo millennio inizia subito dopo questo, ma ciò è poco significativo in quanto coincide con un'epoca scarsamente documentata. Il minimo dell'Antico Medioevo capita in una fluttuazione positiva della

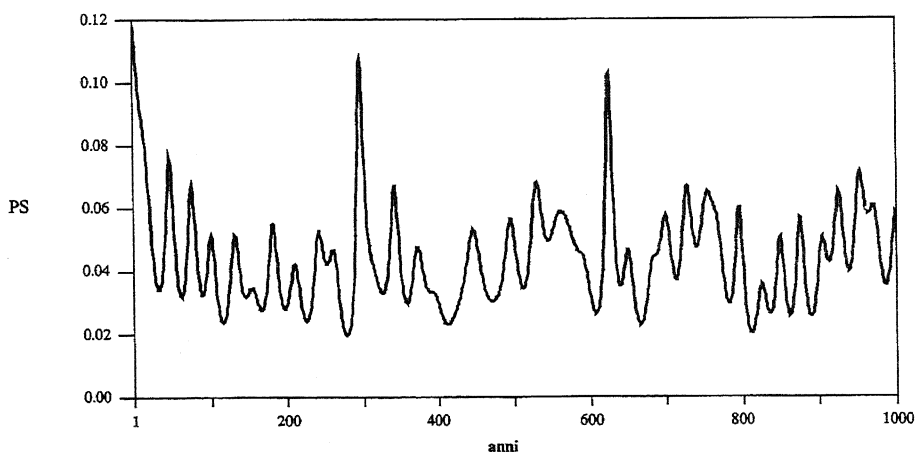


Fig. 4 - Intervallo di ricorrenza delle inondazioni del Tevere (MEMSA).  
Return time of floods of the Tiber River (MEMSA).

vi fu invece un massimo secondario, ma non emergente rispetto al livello delle fluttuazioni.

L'analisi armonica MEMSA (Fig.2) presenta un grafico molto fluttuante senza picchi nettamente dominanti. Il maggiore mostra un tempo di ritorno di poco superiore ai 400 anni, e i vari picchi sono intervallati di circa 30 anni e a tale valore corrisponde anche il primo picco.

#### 4. Alluvioni del Tevere

Le varie fonti documentarie del Tevere (letterarie, storiche, epigrafiche, archivistiche

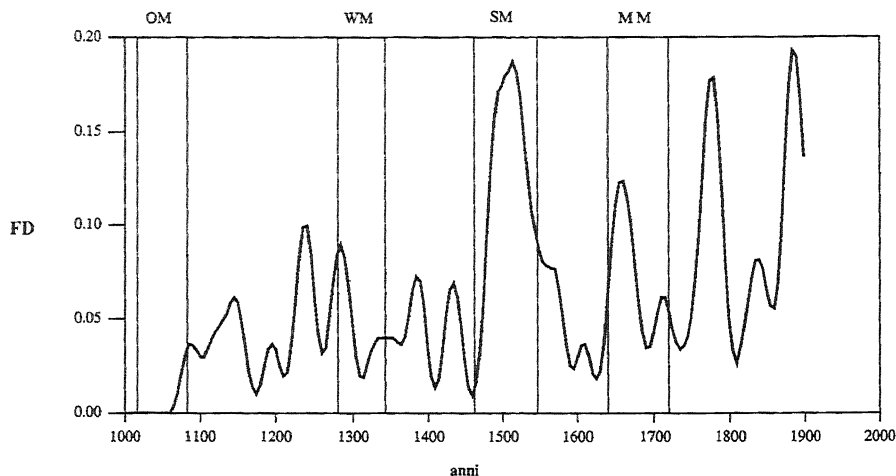


Fig. 5 - Distribuzione della frequenza delle inondazioni dell'Adige.  
Frequency distribution of the Adige River floods

serie, ma non in periodo che possa considerarsi singolare

Se ne deve concludere che, anche nel caso del Tevere, le anomalie climatiche non sono da attribuirsi al diverso comportamento dell'attività solare anche perché, se si volesse forzatamente vedere tale legame nel caso di Spörer e di Maunder, si dovrebbero trarre conclusioni non logiche dovendo invertire i rapporti di causa ed effetto, avendo il fattore idrologico preceduto l'evento astrofisico.

L'analisi spettrale MEMSA (Fig.4) mostra un picco di ricorrenza molto marcato di 100 anni (cui seguono i multipli relativi) e una ulteriore molteplicità data dai multipli dei 30 anni, pur non essendo evidente il primo picco dei 30 anni, riassorbito dall'accumulazione iniziale.

## 5. Alluvioni dell'Adige

Le alluvioni dell'Adige ebbero sempre un *trend* tormentato (Fig. 5), ma divennero particolarmente frequenti all'inizio del 1500, in pieno Minimo di Spörer, e si ripeterono con un intervallo di ricorrenza abbastanza prossimo ai 120 anni già commentato. Figura infatti un secondo picco principale all'inizio del Minimo di Maunder, un terzo picco nella seconda metà del 1700 e un quarto alla fine del 1800.

Si nota che il periodo di Spörer fu effettivamente travagliato da ogni sorta di calamità naturali, mentre quello di Maunder lo fu solo saltuariamente, e il più delle volte passò del tutto indenne da calamità. Ciò porta a ridurre l'importanza che va attribuita ad eventuali rapporti di causa ed effetto con l'attività solare secondo la teoria di Eddy, in quanto appare assai improbabile che le relazioni terra-sole fossero molto efficaci a cavallo tra il 1400 e il 1500 e non più tra il 1600 e il 1700.

## 6. Acqua alta a Venezia

Strettamente collegato al problema del livello marino, è quello dell'acqua alta. Il fenomeno è innescato dal concorso di alcuni fattori meteorologici, quali:

- la presenza di una depressione sul Mediterraneo centro-occidentale che genera un vento di Scirocco (SE) lungo il bacino dell'Adriatico e un vento di Bora (NE) nell'Alto Adriatico, con l'effetto di trasportare masse d'acqua verso Venezia;
- l'effetto barometrico rovesciato che porta a ridistribuire il livello delle acque del Mediterraneo facendole crescere dove la pressione atmosferica diminuisce;
- la formazione di oscillazioni libere dell'acqua (*sesse*) nel bacino dell'Adriatico, con periodo di risonanza prossimo a quello di marea, a seguito di impulsi originati da cambiamenti rapidi del campo di pressione.

Queste forzanti meteorologiche vanno a sommarsi a quella astronomica determinata dalla combinazione delle forze lunisolari, con periodicità principali legate alla rotazione della terra, al mese sinodico lunare e alla declinazione lunare (18.6 a). La terra fu in perielio nel 1250, ma la massima combinazione delle forze attrattive (luna in perigeo e terra in perielio) si ebbe nel 1424, nel 1433 e nel 1442; la prossima combinazione simile avverrà tra 1300 anni e il primo minimo si ebbe 1450 anni fa. Ciò significa che la forzante lunisolare, a parte una modulazione di 18.6 anni, non comportò nessun periodo anomalo se non quello compreso tra il primo quarto e la metà del 1400. Infine, la subsidenza del suolo ha portato ad un apparente continuo innalzamento del livello del mare, con un aumento repentino nell'ultimo secolo a seguito dell'emungimento delle acque freatiche e dei lavori effettuati nel comprensorio (Carbognin & Taroni, 1984; Rusconi, 1992; Pirazzoli, 1982). Di seguito verranno riportati i risultati più salienti di uno studio recente a questo proposito (Camuffo, 1993).

Ad eccezione del relativamente breve periodo di anomalia astronomica, il fenomeno dell'acqua alta fu caratterizzato quindi da

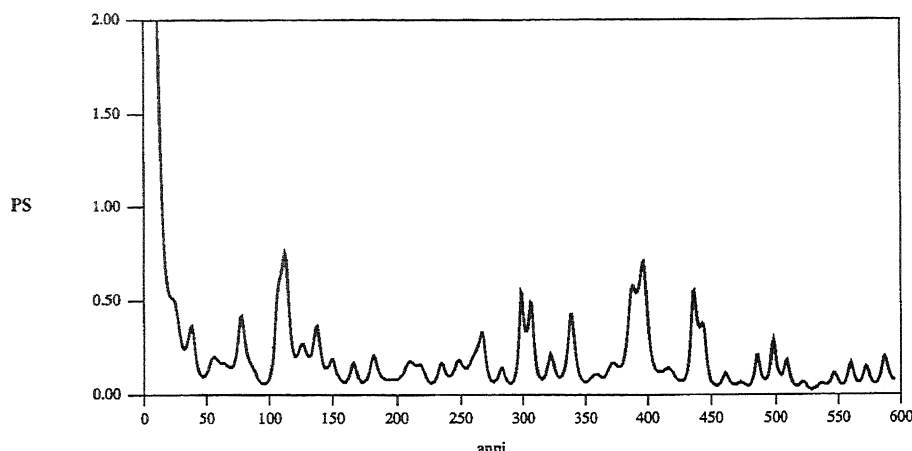


Fig. 6 - Intervallo di ricorrenza delle acque alte a Venezia (MEMSA) (Camuffo, 1993).  
Return time of sea floods in Venice (MEMSA) (Camuffo, 1993).

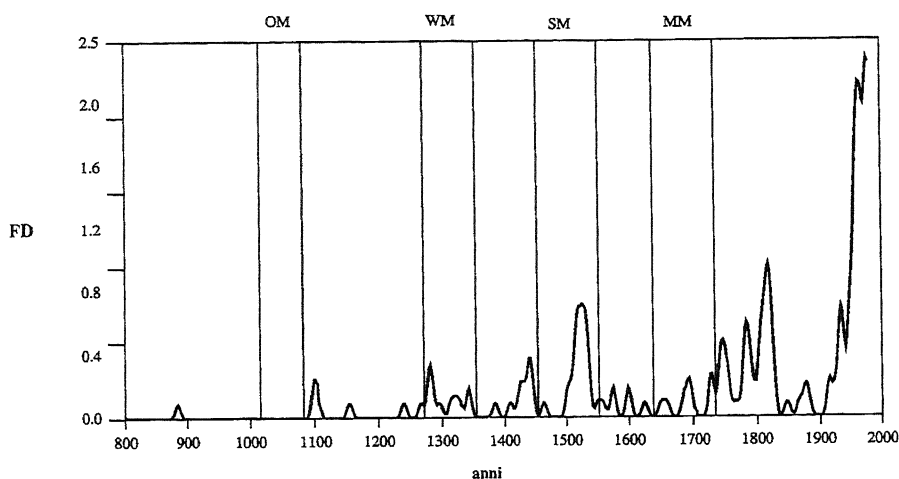


Fig. 7 - Distribuzione della frequenza delle acque alte a Venezia. Filtro di Tukey-Hanning,  $T = 18.6$  a;  $AP = 1$  a.  
Frequency distribution of sea floods in Venice. Tukey-Hanning Filter,  $T = 18.6$  a;  $AP = 1$  a.

due fattori principali: la circolazione atmosferica (arrivo di depressioni sciroccali) e il livello medio del mare (eustatismo). Il primo determinava le fluttuazioni di livello sulla scala giornaliera, il secondo il valore medio del mare a cui si sovrapponevano le fluttuazioni, potendo trasformare una fluttuazione modesta in acqua alta o meno a seconda del livello medio di partenza.

Confrontando la distribuzione stagionale dell'occorrenza delle acque alte nel periodo 1200-1800 e in questo secolo, si nota che essa è rimasta sostanzialmente invariata. Appare assai strano che la frequenza stagionale dei venti di Scirocco non sia cambiata nei diversi periodi climatici in quanto il vento di Scirocco è apportatore di masse d'aria con temperatura ed umidità elevate e di piogge intense, ed è quindi tra i più sospetti responsabili dei cambiamenti climatici.

La periodicità 18.6 anni della declinazione lunare è ben attestata, come emerge usando filtri diversi. L'analisi spettrale MEMSA (Fig. 6) ha mostrato che gli intervalli di ricorrenza più frequenti sono 110, 300, 400 e 450 anni, con un picco secondario a 25 anni. È interessante notare che il picco a 110 anni è molto prossimo alla periodicità di 125 anni trovato per le lunghe serie delle precipitazioni a Padova (1725+oggi; Camuffo, 1984) e a Roma (1787+oggi; Colacino & Purini, 1986) o nello spettro del 14C (Cini Castagnoli *et al.*, 1992).

I periodi in cui la frequenza delle acque alte è cresciuta in modo anomalo (Fig. 7) sono:

- 1914-oggi, in cui la frequenza è cresciuta a dismisura per l'effetto combinato dei lavori idraulici effettuati nella laguna (specialmente escavo di canali) e alle bocche di porto, e per la subsidenza. È la situazione più allarmante che sia stata raggiunta in questo millennio.

- 1720-1830, dopo il periodo di minima attività solare (*Maunder Minimum*) il che dimostrerebbe la non connessione con la costante solare.

- 1500-1550, incluso nel secondo periodo di minima attività solare (*Spörer Minimum*), nella fase iniziale della Piccola Età Glaciale, da alcuni attribuita all'anomalia nella costante solare.

- 1424-1442, di massima attrazione lunisolare, che mostra una certa influenza, ma non così elevata come quella di natura

meteorologica.

- 1250-1350 (in cui è incluso il Minimo di Wolf) fa parte di un periodo tempestoso, iniziato da quando la terra uscì dal perielio e che caratterizzò il periodo di transizione dopo la fine del Caldo Medievale. Contemporaneamente si ebbero violente tempeste anche nel Mare del Nord e nella Manica, che stravolsero la configurazione della costa.

Molti documenti del tempo e la distribuzione cumulativa della frequenza delle acque alte portano a concludere che durante il lungo raffreddamento della Piccola Età Glaciale il mare a Venezia non ebbe mai ad abbassarsi, come invece ci si sarebbe atteso sulla base degli stessi modelli che dipingono un forte innalzamento del livello marino per il riscaldamento previsto nei prossimi anni a seguito dell'aumento dell'effetto serra. Probabilmente ciò che separa i modelli dalla realtà non è il tipo di risposta previsto, ma il tempo di risposta del sistema. Infatti, il sistema terra è composto di varie parti eterogenee, dove ad esempio il tempo di risposta dell'Antartide è di qualche migliaio d'anni. L'azione che questo continente esercita nell'immagazzinare o nel rilasciare acqua e la sua influenza sulle circolazioni oceaniche avviene quindi con uno sfasamento imprecisato rispetto all'azione delle forzanti climatiche, con l'effetto di portare ad una risposta complessa e non sempre facilmente prevedibile sulla base soltanto del trend immediato delle forzanti agenti.

## 7. Congelamenti della laguna

Nel passato, l'estremo rigore di alcuni inverni ha fatto sì che la laguna più volte nel corso dei secoli si gelasse. Congelamenti limitati ai bordi, dove l'acqua era bassa e il ricambio con le acque marine scarso, erano molto frequenti, così come anche il trasporto di lastroni di ghiaccio da parte dei fiumi che sfociavano direttamente in laguna. Quando invece il freddo si faceva più intenso e duraturo, allora una morsa di ghiaccio iniziava a stringere la laguna, impedendo alle barche di raggiungere la terraferma e di trasportare gli approvvigionamenti. Il problema si faceva drammatico e restava tale sinché il ghiaccio diveniva così spesso da reggere il passaggio di persone e mezzi.

I congelamenti della laguna avvengono quando vi è un periodo sufficientemente lungo (almeno 2 o 3 settimane) di freddo intenso. La presenza di neve sul territorio facilita il fenomeno, in quanto la temperatura della superficie del "suolo" non supera mai lo 0°C, nemmeno in presenza di radiazione solare che viene riflessa: in tal caso le masse d'aria che poi fluiscono sulla superficie della laguna rimangono sempre fredde; il vento freddo di Bora, quando soffia, rimuove inoltre calore sensibile e latente dalle acque lagunari.

I lavori idraulici eseguiti in laguna, soprattutto la diversione dei canali in mare e il loro escavo, la cinta dei murazzi e le bocche di porto hanno alterato gli scambi delle acque lagunari con quelle marine, rendendo meno facile oggi il congelamento della laguna. Ciononostante, vi sono stati congelamenti anche in tempi recenti, in un ambiente idraulicamente sfavorevole e in un periodo climatico che è stato mediamente il più caldo degli ultimi 500 anni e probabilmente anche dell'ultimo millennio.

Una revisione critica dei dati d'archivio esistenti e la loro successiva analisi (Figg. 8 e 9; Camuffo, 1987; 1990) hanno portato alle seguenti conclusioni.

- La massima frequenza dei congelamenti avvenne proprio alla fine della Piccola Età Glaciale, tra il 1700 e il 1850.
- Molti congelamenti avvennero nei secoli XV e XVI con una piccola attenuazione all'inizio del 1500.
- La Piccola Età Glaciale ebbe una sostanziale attenuazione del rigore degli inverni per quasi un secolo nel 1600, e questa attenuazione fu abbastanza globale, trovandosene traccia anche in altre parti d'Europa e in Giappone.
- Quanto a possibili relazioni con l'attività solare (Eddy, 1977) si nota che il massimo assoluto di frequenza dei congelamenti avvenne in un periodo del tutto estraneo alla presenza di anomalie solari. Il Minimo di Mander fu un periodo di minima frequenza dei congelamenti, mentre il Minimo di Spörer ne fu decisamente interessato, ma non in maniera maggiore del cinquantennio successi-

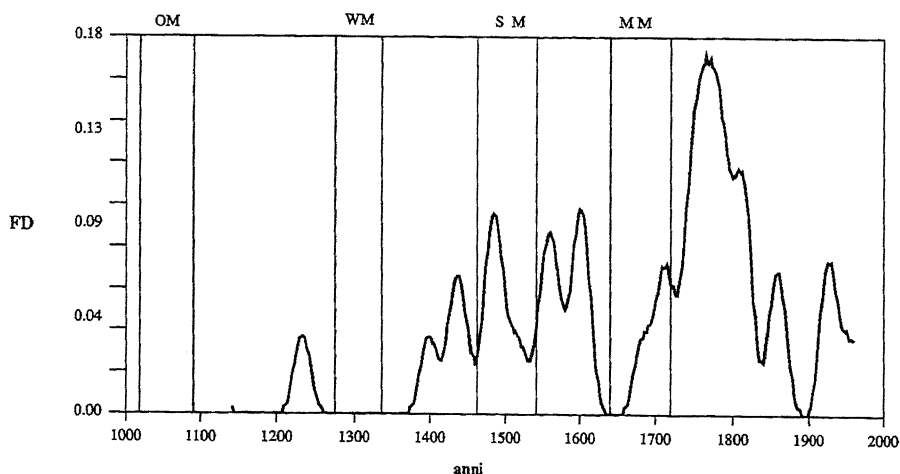


Fig. 8 - Distribuzione della frequenza dei congelamenti della laguna di Venezia. Filtro di Tukey-Hanning,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.  
Frequency distribution of the Venice Lagoon freezing episodes. Tukey-Hanning Filter,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.

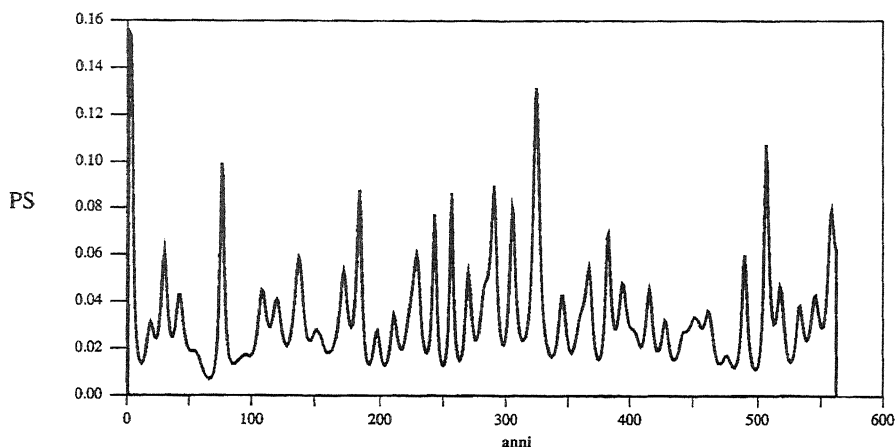


Fig. 9 - Intervallo di ricorrenza dei congelamenti della laguna di Venezia (MEMSA).  
Return time of freezing episodes in the Venice Lagoon (MEMSA).

vo. Durante il Minimo di Wolf non vi fu nessun congelamento. Ciò porta a concludere che questi non furono in alcuna correlazione con l'attività solare.

- La distribuzione degli inverni severi (Camuffo & Enzi, 1992) mostra una maggiore frequenza nella Piccola Età Glaciale come è logico attendersi, mentre quella dei grandi inverni (cioè gli inverni in cui si sono raggiunti i massimi rigori valutabili sulla base degli effetti) ne è sostanzialmente indipendente: se ne verificò in particolare uno nel 1929, durante la fase terminale del periodo di rapido riscaldamento globale, e se ne sfiorò un secondo nel 1985, quando fu la durata, non l'intensità, il fattore limitante che impedì la trasformazione di un inverno severo in un grande inverno. Quest'ultimo è sempre in condizioni latenti, equiprobabili. L'unico periodo in cui vi furono alcuni grandi inverni distanziati di non molto fu alla fine del 1400, cioè all'inizio della Piccola Età Glaciale.

## 8. Venti intensi e tempeste

Venti intensi (Fig. 10), tempeste (Fig. 11) e grandine (Fig. 12) presentano andamenti simili, anche perchè talvolta sono fenomeni associati a condizioni generali di instabilità. Il loro tempo di ritorno è molto vicino al secolo, e il massimo di frequenza cade all'inizio del 1500. Durante il Minimo di Spörer vi fu il massimo assoluto della frequenza di questi eventi, mentre il Minimo di Maunder si presentò come un periodo relativamente felice, come si era già notato nel caso dell'Adige.

Molto simile fu anche la distribuzione temporale delle piogge intense (Fig. 13). Per un maggior dettaglio sull'andamento delle precipitazioni nei secoli più recenti si rimanda ad altri lavori (Camuffo, 1984; Camuffo *et al.*, 1990).

## 9. Invasioni di cavallette

Per quanto riguarda l'Italia centro-settentrionale, dal confronto delle diverse cronache è possibile ricostruire il cammino locale delle bande di cavallette, la loro estensione spaziale, i periodi in cui appaiono più frequentemente, l'impatto sugli insediamenti umani e talvolta i fattori climatici (soprattutto forti cali di temperatura) responsabili della morte dello sciame (Camuffo & Enzi, 1991). Le invasioni avvennero secondo due vie: (1) nella larga maggioranza dei casi le cavallette partendo dal Vicino Oriente risalirono il bacino del Danubio, incanalate tra le Alpi Dinariche e i Carpazi e, giunte nella pianura pannonica, vennero trasportate dai venti orientali (Borino) in Italia; (2) molto sporadiche furono invece le invasioni locali da nord, attraverso l'arco alpino, quando le cavallette discesero dal Brennero, dopo essere procedute lungo il bacino del Danubio ed esser state poi incanalate lungo le valli dell'Inn e dell'Adige. Tali invasioni avvennero in concomitanza con quelle per la via diretta da est. In pratica la dorsale appenninica costituisce una barriera insuperabile per le cavallette; per l'Italia settentrionale non si è poi trovata menzione di invasioni dirette dall'Africa (v. Plinio, Nat. Hist. VI, 195; VII, 28-29) nè dalla penisola Iberica.

Si ritiene che la migrazione avvenga in tempi successivi, prima dalla fascia subtropicale d'origine a zone di ricezione intermedie (favorevoli ad un soggiorno temporaneo più o meno lungo e possibilmente anche alla riproduzione, come in particolare la pianura pannonica) e poi da queste si siano diramate successive migrazioni in Italia o nell'Europa centrale a seconda del regime anemologico. Le condizioni climatiche generali sembrano aver avuto una notevole importanza nel conferire a queste regioni ricettive intermedie un idoneo alla permanenza e al ripopolamento.

Molto spesso all'invasione di cavallette segue un'epidemia. Questa è associata quasi regolarmente alla morte dello sciame e alla putrefazione degli insetti; talvolta alcuni decessi potevano essere dovuti all'infezione di escoriazioni di persone trovate avvolte dallo sciame. Rimane non chiaro se le epidemie siano state scatenate esclusivamente dagli insetti o dalla debilitazione fisica degli uomini, dovuta alla carestia che le cavallette avevano prodotto su scala locale, date le difficoltà (specie di natura politica e sociale) del commercio e del trasporto di derrate alimentari anche tra regioni limitrofe. Epidemie e carestie cessarono rispettivamente nel 1573 e nel

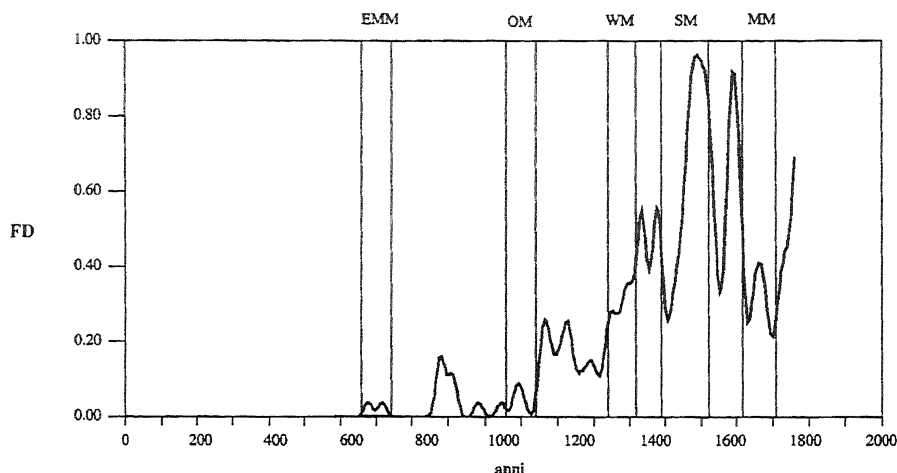


Fig. 10 - Distribuzione della frequenza dei venti intensi. Filtro di Tukey-Hanning,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.  
Frequency distribution of strong winds. Tukey-Hanning Filter,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.

ste, la sifilide, lo scorbuto, la tosse ferina, il sudore inglese, la dissenteria e forme influenzali, molto attive nel 1348, 1360, 1371, 1477, 1497, 1502, 1527, 1539, 1550, 1556, 1575, 1630) e le continue guerre portarono ad un regresso delle coltivazioni e delle capacità di difesa, contribuendo ad una maggiore frequenza delle invasioni. Durante il XIV secolo infatti, la peste fece diminuire la popolazione italiana del 27%.

I secoli più colpiti da questa calamità furono il XIV (includendo il Minimo di Wolf), il XVI (durante il Minimo di Spörer) e, secondariamente, il XVII (Fig. 14). Viene da chiedersi se il gran numero di invasioni avvenute nel XIV secolo fu dovuto soprattutto a condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli, o all'abbandono del territorio; il fatto che la gran parte di queste invasioni avvenne prima della grande peste del 1348 significa che il fattore più importante, in questo secolo, non fu l'epidemia con le sue conseguenze sul territorio, ma la frequenza delle condizioni meteorologiche sfavorevoli.

I fattori antropici hanno ri-dotto nei secoli il danno prodotto e la frequenza delle invasioni. La diminuzione della frequenza ri-sente della maggiore capacità di combattere le cavallette e del maggior uso dell'aratura, specie nella pianura ungherese, che porta alla distruzione delle uova. Ciò sottolinea l'importanza dell'uso agricolo del territorio perché zone abbandonate possono costituire un habitat idoneo al riformarsi di questa o simili piaghe. Alcune zone scarsamente coltivate dell'Appennino, come anche della Sicilia e della Sardegna, sono ancora esposte a questo rischio.

## 10. Conclusioni

Fra tutti i commenti sin qui riportati, ne vogliamo sottolineare alcuni fondamentali:

- Il periodo 500-1000 AD, tradizionalmente ritenuto di peggioramento del clima, va considerato con cautela in quanto piuttosto lacunoso dal punto di vista della documentazione storica. Ciò vale in particolare per quanto riguarda i secoli X e XI.

- Il raffreddamento della Piccola Età Glaciale ha mostrato che la risposta del livello degli oceani al cambio di temperatura atmosferica non è stata immediata, semplice e univoca come i modelli farebbero pensare.

- Le relazioni terra-sole non sono facilmente riconoscibili e interpretabili se ci si limita a studiare isolatamente i singoli periodi in cui l'attività solare raggiunge i minimi o i massimi livelli. Questo complesso insieme di eventi può esser affrontato solo inserendo le varie fasi nel contesto climatico che precede e segue.

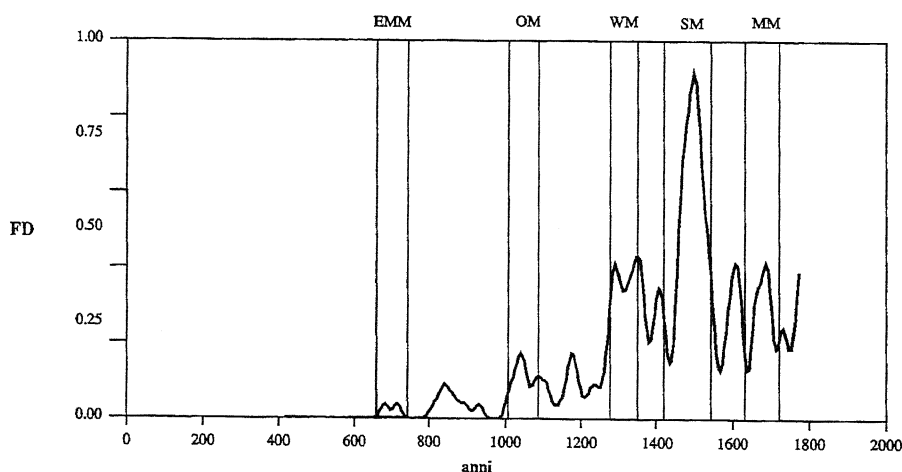


Fig. 11 - Distribuzione della frequenza delle tempeste. Filtro di Tukey-Hanning,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.  
Frequency distribution of storms. Tukey-Hanning Filter,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.

1542, a seguito dell'evoluzione nei campi igienico e tecnologico ed alla più avanzata situazione politica che permetteva scambi su territori maggiori. Probabilmente, le carestie in particolare vennero limitate anche dalla maggior differenziazione delle colture dovuta all'importazione di nuovi generi alimentari in seguito alla scoperta dell'America.

Le epidemie sono state anche, a volte, causa indirettamente attiva — anziché conseguenza — nel determinare le invasioni; in particolare le grandi epidemie che hanno tormentato l'Italia e l'Europa (come la pe-



- La teoria di Eddy che basa le variazioni climatiche su una diversa intensità dell'emissione solare va provata sulla base del comportamento climatico della terra in tutti i periodi di anomalia solare. Dai dati che sono stati raccolti e qui esaminati pare che tale teoria non sia attendibile: il periodo del Minimo di Spörer fu in realtà molto tormentato, ma non lo furono quelli di Wolf e di Maunder. Per i minimi di Oort e dell' Alto Medioevo le informazioni disponibili sono troppo scarse per trarre una sicura conclusione, ma in ogni caso i dati conosciuti non indicano tali periodi come particolarmente travagliati e non giustificano in alcun modo una tale asserzione.

- Se ne deduce che il Minimo di Spörer avvenne abbastanza casualmente in un periodo di anomalie climatiche, e tale tesi è ulteriormente avvalorata dal fatto che in alcuni casi le anomalie climatiche addirittura precedettero quelle solari. Il periodo di Spörer ebbe luogo dopo una fase di singolarità astronomiche (per es., terra in perielio, luna in perigeo) in cui il trasporto delle acque oceaniche fu amplificato dalle forze lunisolari e travagliato da un aumento dell'attività vulcanica. I possibili fattori forzanti il clima furono molti, e non solo l'anomalia dell'emissività solare.

- Molti fenomeni di indubbio interesse climatico avvennero nel V sec. a.C., nel cosiddetto minimo del periodo Greco, e se ne trova abbondante documentazione nella letteratura greca; meno frequente, ma importante la documentazione nella letteratura latina. A questo punto nasce il problema sulla rappresentatività reale delle informazioni greche, che ci sono note per le dettagliate descrizioni riportate da Erodoto e Tuciddide: se cioè la ricorrenza riscontrata di e-venti climatici significativi sia dovuta a una reale anomalia del periodo o alla ricchezza letteraria e documentaria legata alla statura dei due storiografi. E' un problema che merita un ulteriore approfondimento e su cui stiamo lavorando.

- I fenomeni veramente eccezionali, come i grandi inverni, possono capitare in qualunque momento, anche in epoche in cui il riscaldamento atmosferico raggiunge i livelli più elevati. Ciò significa che gli eventi naturali continueranno a trovare impreparata una società che basi le proprie scelte sui trend climatici più recenti. Ci trovano, al momento attuale, in un periodo particolarmente fortunato che probabilmente non potrà durare ancora per molto.

- L'effetto antropico sul territorio può avere un peso enorme, nel bene e nel male. Per esempio, le invasioni di cavallette terminarono quando iniziò l'uso della doppia aratura che ne seppelliva profondamente le uova distruggendole; l'emungimento delle acque di falda a Venezia e i lavori idraulici hanno aumentato spaventosamente la subsidenza del suolo e lo scambio d'acqua col mare, aumentando a dismisura la frequenza delle acque alte.

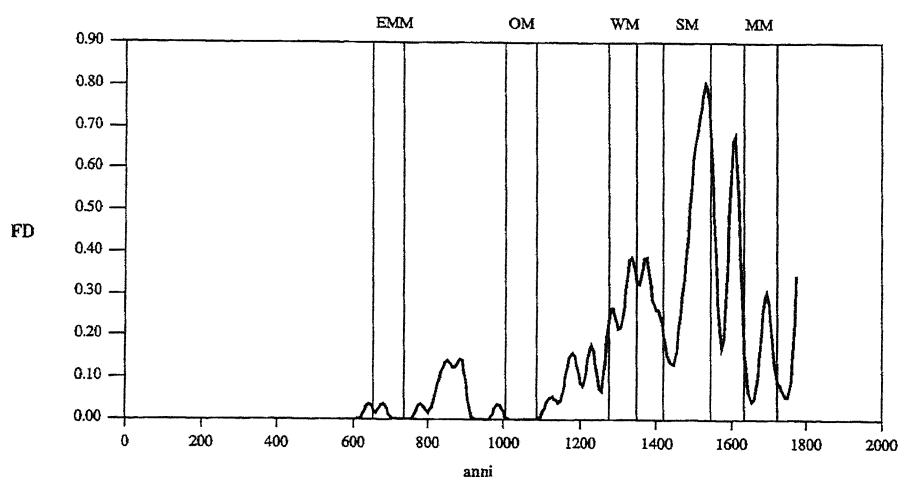


Fig. 13 - Distribuzione della frequenza delle piogge intense. Filtro di Tukey-Hanning,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.  
*Frequency distribution of heavy rains. Tukey-Hanning Filter,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.*

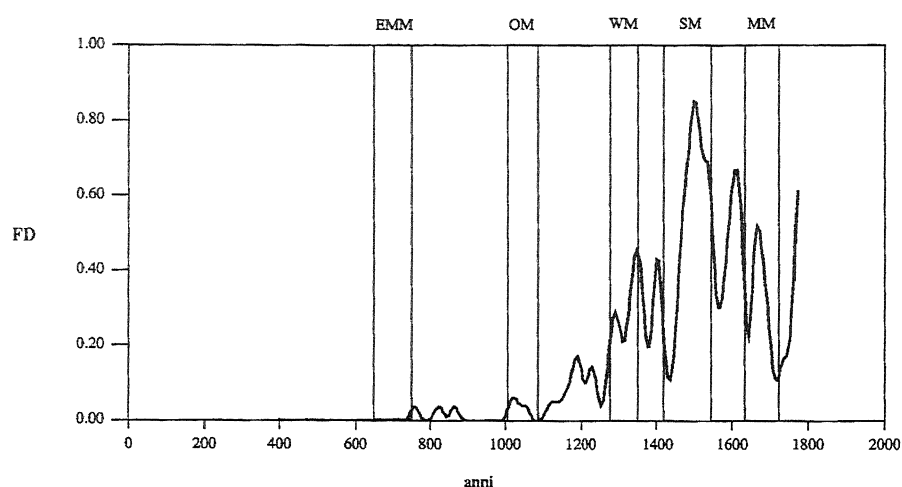


Fig. 12 - Distribuzione della frequenza delle tempeste di grandine. Filtro di Tukey-Hanning,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.  
*Frequency distribution of hail storms. Tukey-Hanning Filter,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.*

## Ringraziamenti

Questo articolo riporta i risultati di vari studi finanziati in tempi diversi dalla Commissione delle Comunità Europee e dal Progetto Strategico Clima Ambiente e Territorio del Mezzogiorno, sotto il coordinamento dell'European Science Foundation. La Dr. Silvia Enzi ha curato la parte storica; la Dr. Caterina Secco le notizie di fonte greca.

## Bibliografia

Alexandre P., 1987 - *Le climat en Europe au Moyen Âge.*

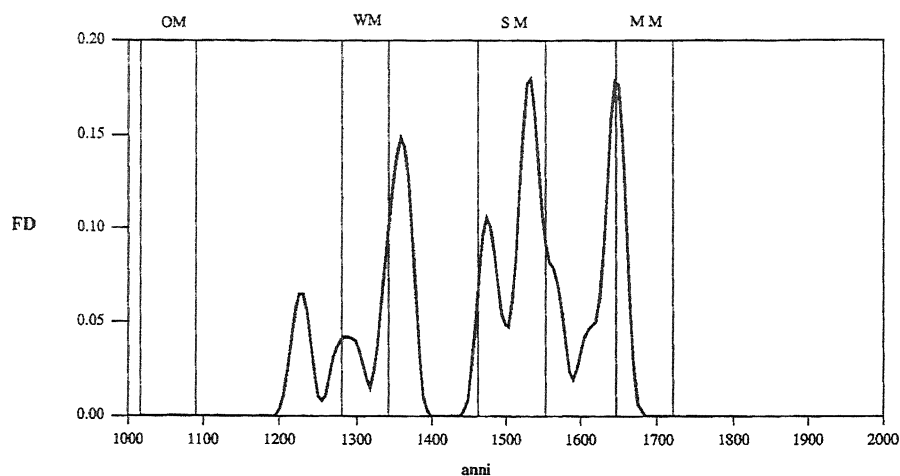


Fig. 14 - Distribuzione della frequenza delle invasioni di cavallette. Filtro di Tukey-Hanning,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.  
Frequency distribution of grasshopper invasions. Tukey-Hanning Filter,  $T = 50$  a;  $AP = 5$  a.

École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, 827 pp.

Camuffo D., 1984 - *Analysis of the series of precipitation at Padova, Italy*. Climatic Change, **6**, 57-77.

Camuffo D., 1987 - *Freezing of the Venetian Lagoon since the 9th century A.D. in comparison to the climate of Western Europe and England*. Climatic Change, **10**, 43-66.

Camuffo D., 1990 - *Clima e Uomo*. Garzanti, Milano, 207 pp.

Camuffo D., 1993 - *Analysis of the sea surges at Venice from A.D. 782 to 1990*. Theor. Appl. Climatol., **47**, 1-14.

Camuffo D. & Enzi S., 1991 - *Invasioni di cavallette e fattori climatici dal Medioevo al 1800*. Bollettino Geofisico, **14**(2), 1-89.

Camuffo D. & Enzi S., 1992 - *Reconstructing the climate of northern Italy from archive sources*. In: R.S. Bradley & P.D. Jones (ed.), 'Climate since A.D. 1500', Routledge, London, pp. 143-154.

Camuffo D., Bernardi A. & Ongaro A., 1991 - *Variazioni secolari delle piogge nell'Italia Settentrionale*. Mem. Soc. Geogr. It., **46**, 363-384.

Carbognin L. & Taroni G., 1984 - *Acque alte a Venezia: un'analisi statistica dei massimi annuali*. Rapporti e Studi Ist. Veneto Lettere Scienze e Arti, **9**, 63-71.

Cini Castagnoli G., Bonino G. & Serio M., 1992 - *Common spectral features in the 5500yr record of total carbonate in sediments and radiocarbon-in tree rings*. Radiocarbon, **34**, 798-805.

Colacino M. & Purini R., 1986 - *A study of the precipitation in Rome from 1782 to 1978*. Theor. Appl. Climatol., **37**, 90-96.

Eddy J.A., 1977 - *Climate and the changing Sun*. Climatic Change, **1**, 173-190.

Lamb H.H., 1972 & 1977 - *Climate present, past and future*. Voll. I e II, Methuen, London.

Pfister C., 1984 - *Klimageschichte der Schweiz 1525-1860*. Haupt, Bern.

Pirazzoli, P.A., 1982 - *Maree estreme a Venezia (periodo 1872-1891)*. Acqua Aria, **10**, 1023-1039.

Rusconi A., 1992 - *Le osservazioni mareografiche in Laguna di Venezia: le variazioni di livello marino osservate negli ultimi 120 anni*. Bollettino Geofisico, **15**(5), 91-110.

Wey W.S., 1990 - *Time series analysis*. Addison-Wesley, Redwood City, Ca, 478 pp.