

Cambiamenti climatici e modificazioni fenologiche e della pollinazione

Climatic, phenological and pollination changes

M. MANFREDI, E. TEDESCHINI*, S. ORLANDINI**

UO Laboratorio Immunologia Allergologia Dipartimento di Patologia Clinica, Ospedale "San Giovanni di Dio", Azienda Sanitaria di Firenze; *Dipartimento di Biologia Applicata, Università di Perugia; ** Centro Interdipartimentale di Bioclimatologia, Università di Firenze

Parole chiave

Variazioni climatiche • Fenologia • Pollinazione

Key words

Climate change • Phenology • Pollination

Riassunto

Negli ultimi anni, i cambiamenti climatici e il loro rilevante impatto sulla salute umana hanno ricevuto una crescente attenzione. Un gran numero di lavori, prodotti a livello internazionale, hanno evidenziato le conseguenze dei cambiamenti climatici soprattutto sulla prevalenza e sulla gravità delle malattie respiratorie e allergiche in quanto responsabili di variazioni spaziali e temporali nella distribuzione e concentrazione degli aeroallergeni. Numerose sono anche le evidenze oltre che sulle relazioni tra cambiamenti climatici e aeroallergeni, sull'interazione tra aeroallergeni e air pollution per quanto riguarda le malattie allergiche.

Lo scopo di questo lavoro è di evidenziare i reports pubblicati a livello internazionale e ricondurre la complessità di queste relazioni ad alcuni principali aspetti quali la produzione di aeroallergeni, le variazioni temporali della stagione pollinica, la distribuzione e dispersione degli aeroallergeni ed il contenuto di proteine allergeniche nei granuli pollinici.

Devono essere potenziate le strategie di prevenzione delle conseguenze dei cambiamenti climatici con particolare riferimento alle malattie allergiche e respiratorie con una crescente sorveglianza di tali patologie. Devono essere implementate le ricerche indirizzate allo sviluppo di modelli di studio della dinamica degli aeroallergeni ed il monitoraggio aerobiologico, meteorologico e fenologico a lungo termine per la comprensione dei fattori che influenzano gli aeroallergeni e per una precoce individuazione delle criticità della stagione pollinica.

Summary

Climatic changes and their relevant impact on human health have received increasing attention in recent years. A lot of studies all over the world have revealed important effects of climatic changes on the prevalence and the severity of respiratory and allergic diseases because they are responsible of spatial and temporal variations of distribution and dispersion of aeroallergens. There are many evidences about climatic changes and aeroallergens and about the complex interactions of aeroallergens and air pollution as regards allergic diseases.

The purpose of this paper is to outline a number of researches reported all over the world in this area and to synthesize the principal aspects concerning the complex interactions among climatic changes, phenological and pollination changes, such as production of aeroallergens, temporal variations of pollen season, distribution and dispersion of aeroallergens and the content of allergenic proteins in pollen grains.

Prevention strategies to minimize the effects of climatic changes on the allergic and respiratory diseases must implemented and should include an increasing surveillance of these diseases. Researches investigating study models of dynamic of aeroallergens and a long term aerobiological, meteorological and phenological monitoring should be implemented to better understand the interactions in the driving forces on aeroallergens and for an early recognition of the criticisms of the pollen season.

Come pubblicato dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), organismo scientifico dell'*United Nations Environment Programme* e della *World Meteorological Organization*, che con la partecipazione di 194 paesi fornisce un continuo update sullo stato delle conoscenze relative ai cambiamenti climatici e alla loro influenza in campo ambientale e socio-economico (IPCC 2001 2007) e come documentato dall'abbondante letteratura prodotta sull'argomento negli ultimi anni, ci sono inequivocabili evi-

denze che i cambiamenti climatici hanno un rilevante impatto sulla salute umana.

In particolare possono esserci importanti ricadute sulla prevalenza e sulla gravità delle malattie respiratorie e allergiche in quanto responsabili di variazioni spaziali e temporali della distribuzione e della concentrazione degli aeroallergeni¹. L'impatto della variazione nella concentrazione e distribuzione degli aeroallergeni sulle malattie allergiche e respiratorie è stato oggetto tra l'altro di un recente review report

della *US Environmental Protection Agency* (2008) che passa in rassegna i trend storici e fornisce una stima delle conseguenze attese dal punto di vista della qualità della vita e dal punto di vista economico negli Stati Uniti.

Numerosi articoli sono stati pubblicati recentemente sul tema delle relazioni tra cambiamenti climatici e aeroallergeni ma anche sull'interazione tra aeroallergeni e air pollution per quanto riguarda le malattie allergiche^{2,4}. L'effetto sinergico dei cambiamenti climatici e inquinamento crea infatti un impatto addizionale non trascurabile sulla salute umana.

Cercando di fare il punto della situazione, alla luce dei reports pubblicati sull'argomento, possiamo ricondurre le complesse relazioni tra cambiamenti climatici e aeroallergeni ad alcuni principali aspetti: produzione di aeroallergeni, variazioni temporali della stagione pollinica (inizio, durata e fine), distribuzione e dispersione degli aeroallergeni, contenuto in proteine allergeniche dei pollini.

Produzione di aeroallergeni

Studi recenti mostrano significativi incrementi delle temperature a livello globale e, in generale, si registrano frequenti e persistenti periodi con temperature al di sopra delle medie di riferimento⁵⁻⁸.

Anche in Europa il panorama climatico mostra analoghe variazioni^{9,10}.

Ad oggi la comunità scientifica concorda nel ritenere che le cause principali dei cambiamenti climatici in atto siano da attribuire all'uso dei combustibili fossili e alla deforestazione; queste hanno portato ad un incremento della concentrazione di anidride carbonica (CO₂) e gas serra in atmosfera con conseguente aumento della temperatura e umidità, variazioni della comparsa, distribuzione e intensità delle precipitazioni e aumento nella frequenza e intensità di eventi meteorologici estremi¹¹.

Le variazioni di concentrazione atmosferica di CO₂ e della temperatura influenzano la crescita delle piante che producono ad esempio pollini allergenici, determinando un aumento della loro biomassa, della produzione florale e della produzione di pollini oltre che una variazione della loro distribuzione. Chiaramente una produzione maggiore di polline aumenta la possibilità di sensibilizzazione e la successiva esacerbazione della patologia allergica. L'esposizione a più alte concentrazioni di aeroallergeni può portare infatti a reazioni allergiche più severe. Diversi sono gli esempi riportati in letteratura sulla relazione tra aumento delle precipitazioni e temperatura da un lato e aumento della produzione dei pollini dall'altro per quanto riguarda diversi taxa quali ad esempio *Quercus*, *Cupressaceae*, *Ambrosia*; inoltre risultati sperimentali hanno dimostrato che raddoppiando i livelli di CO₂

si arriva ad un 30-90% di aumento nella produzione pollinica di *Ambrosia*. Si sono inoltre evidenziati pattern diversi tra ambiente rurale e urbano con un aumento della produzione pollinica in quest'ultimo dove la concentrazione di CO₂ e la temperatura sono più elevate rispetto all'ambiente rurale¹². Similari correlazioni tra aumento della temperatura e umidità sono state documentate anche per quanto riguarda le spore fungine aerodisperse, tuttavia il meccanismo appare complesso e multifattoriale.

Variazioni temporali nella produzione degli aeroallergeni

Le variazioni nell'inizio, durata e fine della stagione pollinica possono portare cambiamenti nell'esposizione ai pollini responsabili della sintomatologia nei soggetti allergici, influenzando la sensibilizzazione e l'esacerbazione dei sintomi. È ormai ampiamente consolidato il fatto che più alte temperature, come anche maggiori concentrazioni di CO₂, possono modificare la fenologia delle specie vegetali, comprese quelle di interesse allergologico. Analizzando l'ampia letteratura e le esperienze sperimentali sull'argomento, si può affermare che quasi tutte le specie hanno manifestato cambiamenti dello sviluppo fenologico come risposta al cambiamento climatico; il collegamento tra clima e fenologia è così stretto che molti ricercatori in diverse parti del mondo hanno dimostrato la concreta possibilità di impiegare una fase fenologica come bio-indicatore del cambiamento climatico¹³⁻¹⁵. La fase fenologica più immediata da osservare e più utile per le informazioni che offre come marcatore del cambiamento climatico è la fioritura i cui principali regolatori esogeni sono, ad esclusione del fotoperiodo, gli elementi imputati nel cambiamento del clima, la temperatura, le precipitazioni e il carbonio disponibile. Modalità diverse possono essere utilizzate per reperire i dati fenologici: direttamente, attraverso osservazioni su piante indicatrici all'interno di strutture deputate (Giardini Fenologici) o indirettamente, verificando l'avvenuta fioritura delle piante monitorando la presenza del loro polline in atmosfera. Entrambi i metodi sono universalmente accreditati e regolati da procedure standard, ciascuno presenta dei limiti di impiego, ma i metodi sono complementari e le informazioni che ne derivano sono integrabili.

In linea generale molti risultati concordano sul fatto che si è osservato un anticipo di inizio della fioritura e un ritardo nella fine del periodo di emissione pollinica con il conseguente allungamento della stagione pollinica¹⁶⁻²⁰. Numerosi esempi sono riportati per piante diverse: per esempio la betulla l'olivo o il platano studiati in diversi paesi europei^{17,18,20-22}, e per la cryptomeria in Giappone. Importanti modifiche riguardano anche la modalità di rilascio pollinico durante la sta-

gione; a tal proposito, si riporta uno studio condotto sul genere *Platanus* inserito in un ambito scientifico di bio-monitoraggio del cambiamento climatico, studio condotto a Perugia negli ultimi 30 anni. Lo scopo principale di questa ricerca, era l'utilizzo di "indicatori biologici" come strumento per monitorare lo stato e il cambiamento del clima, sostenendone la validità e sottolineandone il vantaggio rispetto alle rilevazioni strumentali. Il "biosensore" impiegato nello studio era la fase fenologica della fioritura; il fenoloide scelto, una essenza arborea, anemofila e comunemente diffusa su tutto il territorio. I rilevamenti fenologici sono stati condotti attraverso il metodo indiretto.

La fioritura del platano, più correttamente definita pollinazione, è stata seguita per circa 30 anni monitorando il polline liberato in atmosfera dalle infiorescenze delle diverse specie presenti nell'ambiente territoriale urbano e peri-urbano della città di Perugia dove è posizionata la trappola pollinica. Il monitoraggio pollinico eseguito con la tecnica volumetrica, consente di stabilire la presenza in atmosfera e la concentrazione giornaliera del polline indagato, pertanto, permette di conoscere esattamente l'evoluzione della pollinazione nel tempo.

Sono stati studiati i principali parametri che descrivono la pollinazione ovvero: inizio, fine, durata, data del picco, concentrazione pollinica al picco, e numero totale di pollini emesso nell'intera stagione (Indice Pollinico, I.P.). A questi parametri è stato aggiunto il calcolo della Curtosi (*Kurtosis*) e Asimmetria (*Skewness*) che permettono di valutare la forma del grafico di pollinazione^{22,23}. Parallelamente è stato considerato il trend della temperatura media dello stesso periodo riscontrando come previsto, un incremento termico significativo. Il riscaldamento non è stato costante in tutto l'arco dell'anno e corrisponde principalmente ai primi sei mesi, con febbraio, marzo e giugno dove gli incrementi sono

più significativi². Questo ha determinato ripercussioni importanti sulla fenologia di molte piante e sono stati verificati spostamenti temporali nella comparsa della fenofase antesica di *Pinus*²⁴, *Cupressus*¹⁵ studiati nello stesso contesto territoriale, come per altre specie in zone diverse²⁰: *Juniperus*, *Ulmus*, *Morus*²⁵.

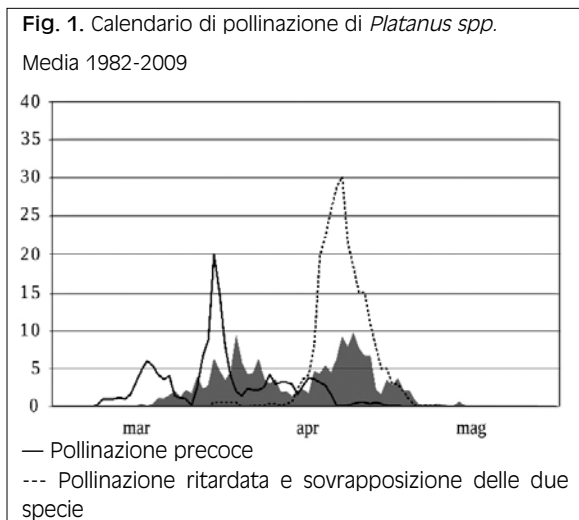
Le conseguenze di questo riscaldamento globale sono ricadute sulla maggior parte delle fioriture della prima metà dell'anno che complessivamente tendono ad anticipare l'inizio e la fine accorciando la stagione di fioritura, mentre a volte, anticipano solo l'inizio, prolungando il periodo di fioritura²⁶.

Anche il platano libera il polline nel periodo primaverile, polline segnalato come allergenico e che si ritrova abbondante nell'aerospora urbana data la diffusione e l'impiego frequente di questa pianta come arredo di parchi e viali. I dati analizzati dimostrano un ritmo fenologico alterato dall'incremento termico, la stagione di pollinazione è totalmente in anticipo, con inizio, fine e picco anticipati, mentre rimane inalterata la durata. Il cambiamento nell'assetto climatico sembra non influenzarne la produttività; infatti, la quantità di polline emesso per stagione rimane pressoché inalterata negli anni così come l'entità del picco massimo.

Altre considerazioni rilevanti riguardano l'andamento della pollinazione, studiato, come premesso, tramite il calcolo degli indici *Kurtosis* e *Skewness*²⁷.

Il calendario del platano per la città di Perugia presenta, solitamente, due picchi di entità paragonabile (Fig. 1) che indicano la presenza sul territorio di più specie con pollinazione cronologicamente separata: il *P. orientalis* L. e *P. hybrida* Brot. [= *P. acerifolia* (Aiton) Willd]. Partendo da questo presupposto, è stato molto interessante analizzare le diverse "forme" assunte dalle curve di pollinazione nei diversi anni. In alcuni, la liberazione dei pollini durante la stagione è concentrata in un periodo breve, il grafico è compatto e ha un unico picco di concentrazione (--).

Questo andamento è tipico degli anni in cui la fioritura delle due specie di *Platanus* è più o meno contemporanea e concentrata nel mese di aprile e ritardata rispetto alla media. Al contrario, in alcuni anni il grafico della pollinazione è caratterizzato da un minore addensamento di valori, la curva è ampia, a volte schiacciata o con più picchi (—). Sono questi gli anni in cui la fioritura delle specie si mantiene scalare, ma è più precoce rispetto alla media e distribuita nei mesi di marzo e aprile. È stato visto che questo diverso comportamento nell'andamento della pollinazione è condizionato dalla temperatura nei mesi precedenti la fioritura che nel platano, ma si può ragionevolmente supporre anche in altre specie, condiziona, non solo la manifestazione temporale della fioritura, ma anche la sua evoluzione imponendo ai soggetti sensibili, più momenti, durante la stagione di valori oltre la soglia. Per quanto riguarda le specie erbacee le ricerche condotte nelle diverse parti d'Europa riportano spesso



risultati differenti; questa apparente incongruenza si spiega con il ciclo di vita delle specie erbacee che spesso si conclude in una stagione. Pertanto per loro è amplificata l'influenza meteo-climatica locale e quindi le risposte ottenute sono difficilmente esportabili come modello generale: ecco perché anticipi della fioritura sono stati segnalati per *Artemisia* e per le *Urticaceae*²⁴ mentre, per queste ultime, viene segnalato, nel sud Europa ma anche nel sud Italia, un progressivo allungamento della stagione di emissione pollinica dovuto a inverni sempre più miti che permetterebbero il protrarsi del periodo di emissione fino ai mesi di dicembre e gennaio²⁸⁻³⁰. Anche per le *Graminaceae* le evidenze sono contrastanti con differenze sostanziali anche a livello regionale; in Inghilterra si segnala un precoce inizio della stagione pollinica^{16 17}, nessuna variazione apparente in New England, mentre in Galicia (Spagna) si riporta, un inizio ritardato, con una stagione pollinica più breve associata a una diminuzione nella produzione pollinica³¹.

L'alterazione della fenologia delle piante in generale, rappresenta un ulteriore supporto sperimentale a considerazioni abbastanza intuitive sulle conseguenze del riscaldamento globale, ovvero la modifica di ritmi fenologici conosciuti. Anticipi, ritardi o rifioriture hanno conseguenze notevoli sulla biologia riproduttiva delle piante e sulla abbondanza dei frutti, ed hanno conseguenze significative sulle malattie allergiche e sulla loro terapia sconvolta dallo sfasamento delle fioriture, dal protrarsi della stagione e/o dalla sovrapposizione di altre specie allergeniche. Più in generale, è il funzionamento dell'ecosistema nel suo totale ad essere compromesso: equilibri consolidati che, una volta alterati, necessitano di tempo per rimettersi in fase, trovando forse un nuovo assetto, sconosciuto con ripercussioni impreviste anche sull'uomo. Ipotizzare le reali ricadute future, quando l'atteso ulteriore riscaldamento globale avrà modificato in maniera ancora più marcata la fenologia delle specie allergeniche, non risulta allo stato attuale possibile. È tuttavia ragionevole ipotizzare che in paesi a clima mediterraneo, come l'Italia, nel corso del corrente secolo, si avranno presenze di pollini allergenici durante il corso di tutto l'anno.

Distribuzione e dispersione degli aeroallergeni

I cambiamenti climatici possono influenzare da soli, o con effetto sinergico con altri fattori, la dispersione e/o la distribuzione degli aeroallergeni che può avere ricadute significative sulle malattie respiratorie allergiche attraverso l'esposizione a nuovi aeroallergeni o a loro inusuali livelli di concentrazione. La distribuzione delle specie può variare e talora un'altra può prenderne il posto senza apprezzabili differenze dal

punto di vista della patologia allergica nel caso che le due specie siano ad esempio cross-reattive. L'introduzione di una nuova specie pollinica come ad esempio *Betula* negli anni '70 e *Ambrosia* negli anni '80 nel Nord Italia ha portato ad un aumento di pollinosi. Dobbiamo inoltre considerare che la distribuzione dei pollini è influenzata dalle condizioni atmosferiche quali la velocità del vento e sua direzione, precipitazioni, umidità², che mostrano pattern di cambiamento rilevanti, come ad esempio quelli di riduzione delle precipitazioni totali con aumento di quelle intense³².

Contenuto in proteine allergeniche

Recenti ricerche hanno mostrato l'influenza di variabili meteorologiche quali temperatura e precipitazioni, oltre che di inquinanti come CO₂, sulla concentrazione delle proteine allergeniche e sull'allergenicità dei pollini. Singer et al.³³ ha valutato la risposta di Amb a 1, il principale allergene dell'*Ambrosia*, ad un aumento dei livelli di CO₂ dimostrando che sebbene non vari il contenuto totale di proteine del polline, la concentrazione di tale allergene aumenta in funzione dell'aumento della concentrazione di CO₂. Si ipotizza che verosimilmente la sintesi dell'allergene possa essere influenzata dal diverso uptake di nutrienti e dalla temperatura del suolo. Quindi, anche con una produzione pollinica quantitativamente inalterata, la sintomatologia allergica potrà essere più grave per l'aumento dei livelli di proteine allergeniche nel polline aerodiffuso.

Trends di ricerca

Gli studi finora condotti suggeriscono che in futuro, a causa dei cambiamenti climatici, gli aeroallergeni potranno variare considerevolmente e potenzialmente sarà prodotto un quantitativo maggiore di pollini ed in particolare di pollini allergenici e si potrà, al tempo stesso, riscontrare un inizio anticipato di stagione pollinica e così pure una variazione nella distribuzione dei pollini. I cambiamenti climatici hanno già inciso notevolmente sulla comparsa in atmosfera, sulla quantità rilasciata e sulla distribuzione degli aeroallergeni, ma ancora molte ricerche devono essere portate avanti. Le ricerche sulla relazione tra concentrazione di CO₂ e quantità dei pollini prodotta devono essere estese e devono considerare anche altre variabili quali disponibilità di acqua, l'abbondanza di nutrienti, la tipologia di utilizzo del suolo. Allo stesso tempo, numerosi studi hanno evidenziato notevoli differenze tra la fenologia di piante che vivono in ambienti urbani rispetto a quelle che vivono in ambienti rurali e che le maggiori temperature che si registrano nelle città determinano in genere un anticipo della fioritura.

È di importanza fondamentale che gli organi sanitari e governativi prendano coscienza di questi problemi e che i ricercatori esperti del settore raccolgano la sfida di pianificare ulteriori approfonditi studi in quest'area.

Alcuni autori hanno cercato di focalizzare il ruolo delle possibili azioni allo scopo di prevenire o mitigare le conseguenze dei cambiamenti climatici con particolare riferimento alle malattie respiratorie e allergiche proponendo una serie di interventi tesi alla sorveglianza di tali patologie, allo studio della dinamica degli aeroallergeni e al loro monitoraggio, all'implementazione di studi epidemiologici promuovendo l'integrazione delle conoscenze per la prevenzione ed il contenimento, ove possibile, delle conseguenze dei cambiamenti climatici sulla salute umana^{4,34}.

Tra le varie misure suggerite figura in particolare il monitoraggio pollinico in rete, continuo e protratto negli anni, in quanto essenziale per documentare le variazioni dei trends pollinici legati alle variazioni climatiche nel corso degli anni ed al tempo stesso

la promozione di nuovi metodi per lo studio degli aeroallergeni nell'ambiente. In questo senso l'Associazione Italiana di Aerobiologia (AIA) si è impegnata da un lato, fin dal 1985, con la creazione e l'implementazione nel corso degli anni della Rete di Monitoraggio aeroallergeni (RIMA) a livello del territorio Italiano, rete che afferisce alla rete Europea (EAN) contribuendo così a realizzare un network efficiente di monitoraggio e, dall'altro, partecipando a progetti europei impegnandosi attivamente nello studio e nella validazione di nuovi metodi di rilevazione degli aeroallergeni. Allo stesso tempo lo sviluppo di modelli di simulazione e previsione può fornire un supporto essenziale nelle politiche di gestione e pianificazione del territorio e di supporto socio-sanitario alla popolazione allergica. Una modellistica specifica, associata con dati meteorologici e climatologici di qualità con una risoluzione spazio-temporale di dettaglio, può fornire informazioni essenziali circa le dinamiche della stagione pollinica, permettendo una precoce individuazione delle condizioni critiche.

Bibliografia

- ¹ Schmier JK., Ebi KL. *The impact of climate change and aeroallergens on children's health*. Allergy Asthma Proc 2009;30:229-37.
- ² Beggs PJ. *Impacts of climate change on aeroallergens: past and future*. Clin Exp Allergy 2004;34:1507-13.
- ³ D'Amato G, Cecchi L. *Effects of climate change on environmental factors in respiratory allergic diseases*. Clin Exp Allergy 2008;38:1264-74.
- ⁴ Shea KM, Truckner R, Weber R, et al. *Climate change and allergic disease*. J Allergy Clin Immunol 2008;122:443-53.
- ⁵ Horton EB, Folland CK, Parker DE. *The changing incidence of extremes in worldwide and central England temperatures to the end of the twentieth century*. Clim Change 2001;50:267-95.
- ⁶ Manton MJ, Della-Marta PM, Haylock MR, et al. *Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the south Pacific: 1961-1998*. Int J Climatol 2001;21:269-84.
- ⁷ Yan Z, Jones PD, Davies TD, et al. *Trends of extreme temperature in Europe and China based on daily observation*. Clim Change 2002;53:355-92.
- ⁸ Beniston M, Stephenson DB. *Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions*. Glob Planet Change 2004;44:1-9.
- ⁹ Klein Tank AMG, Können GP. *Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe 1946-99*. J Clim 2003;16:3665-80.
- ¹⁰ Bartolini B, Morabito M, Crisci A, et al. *Recent trends in Tuscany (Italy) summer temperature and indices of extremes*. Int J Clim 2008;28:1751-60.
- ¹¹ Solomon S, Qin D, Manning M, et al. *Technical Summary*. In: Solomon S, Qin D, Manning M, et al., eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press 2007.
- ¹² Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, et al. *Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health*. J Allergy Clin Immunol 2003;111:290-5.
- ¹³ Rodriguez-Rajo FJ, Frenguelli G, Jato MV. *Effect of air temperature on forecasting the start of Betula pollen season at two contrasting sites in the South of Europe (1995-2001)*. Int J Biomet 2003;47:117-25.
- ¹⁴ Laadi M. *Forecasting the start of pollen season of Poaceae evaluation of some methods based on meteorological factors*. Int J Biomet 2001;45:1-7.
- ¹⁵ Tedeschini E, Dioguardi D, Frenguelli G. *L'andamento del polline di Cupressaceae nell'aerospora di Perugia nel periodo 1984-2003: conseguenza dell'innalzamento termico e delle scelte urbanistiche*. Informatore Botanico Italiano 2004;296.
- ¹⁶ Clot B. *Trends in airborne pollen: An overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland)*. Aerobiologia 2003;19:227-34.
- ¹⁷ Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, et al. *Responses in the start of Betula (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe*. Int J Biometeorol 2002;46:15932-70.
- ¹⁸ Galan C, Garcia-Mozo H, Vazquez L, et al. *Heat requirement for the onset of the Olea europaea L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change*. Int J Biometeorol 2005;49:184-8.
- ¹⁹ Rasmussen A. *The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark*. Aerobiologia 2002;18:253-65.
- ²⁰ Van Vliet AJH, Overeem A, DeGroot RS, et al. *The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands*. Int J Climatology 2002;22:1757-67.
- ²¹ Frei T, Gassner E. *Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an*

- example from Switzerland for the period 1969-2006. *Int J Biometeorol* 2008;52:667-74.
- ²² Tedeschini E, Rodriguez-Rajo FJ, Caramiello R, et al. *The influence of climatic changes in Platanus spp. Pollination in Spain and Italy*. Grana 2006;45:222-9.
- ²³ Tedeschini E, Dioguardi D, Frenguelli G. Pollen monitoring of some anemophylous taxa to monitor climatic change in Central Italy. In: Org. Comm, ed. *3rd Eur. Symp. Aerobiology*. Worcester: Br. Aerobiol. Fed./Worcester Univ. Org. Comm 2003, abs 33.
- ²⁴ Frenguelli G. *Interactions between climatic changes and allergenic plants*. Monaldi Arch Chest Dis 2002;57:141-3.
- ²⁵ Levetin E. *Effects of climate change on airborne pollen*. J Allergy Clin Immunol 2001;107:S172.
- ²⁶ Frenguelli G, Dioguardi D, Tedeschini E. *Climatic changes: which effects on pollination*. Polen 2004;14:93.
- ²⁷ Spiegel MR. *Statistics*. New York: McGraw-Hill Book Company 1976.
- ²⁸ Galán C, Alcázar P, Cariñanos P, et al. *Meteorological factors affecting daily urticaceae pollen counts in southwest* *Int J Biometeorol* 2000;43:191-5.
- ²⁹ Cariñanos P, Galán C, Alcázar P, et al. *Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of the Iberian Peninsula*. *Environmental and Experimental Botany* 2004;52:11-22.
- ³⁰ Damialis A, M. Halleya J, Gioulekasb D, et al. *Long-term trends in atmospheric pollen levels in the city of Thessaloniki, Greece*. *Atmospheric Environment* 2007;41:7011-21.
- ³¹ Jato V, Rodriguez-Rajo J, Seijo MC, et al. *Poaceae pollen in Galicia (NW Spain): characterization and recent trends in atmospheric pollen season*. *Int J Biometeorol* 2009;53:333-44.
- ³² Brunetti M, Colacino M, Maugeri M, et al. *Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996*. *Int J Climatol* 2001;21:299-316.
- ³³ Singer BD, Ziska LH, Frenz DA, et al. *Increasing Amb a1 content in common ragweed (ambrosia artemisifolia) pollen as a function of rising CO₂ concentration*. *Functional Plant Biology* 2005;32:667-70.
- ³⁴ Reid CE, Gamble JL. *Aeroallergens, allergic disease, and climate change: impacts and adaptation*. *Ecohealth* 2009;6:458-70.