

Le violente tempeste di polvere nell'Asia sud-orientale

Claudio Cassardo - Dipart. di Fisica Generale - Università di Torino. E-mail: cassardo@ph.unito.it

Una veduta satellitare dell'ingente trasporto di sabbia proveniente dalla Mongolia sui cieli della Corea, il 20.04.2005, h 02.20 UTC (satellite NASA TERRA - sensore MODIS).

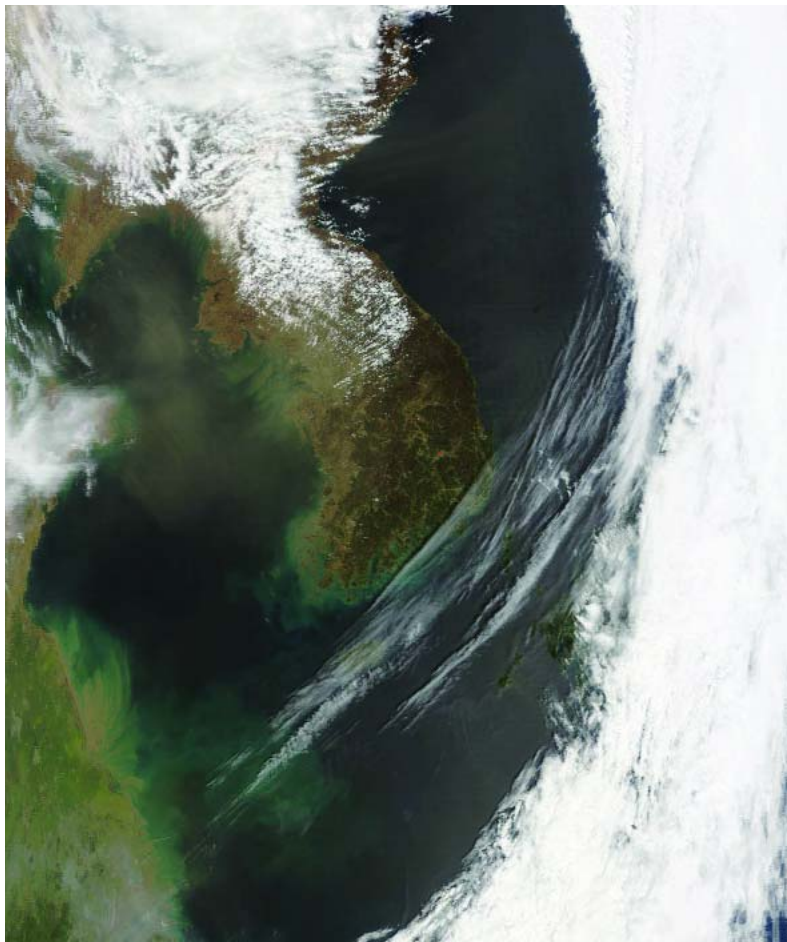
Introduzione

Il giorno 20 aprile 2005, un'enorme nube di polvere ha ricoperto gran parte dell'Asia orientale, estendendosi dalle coste orientali cinesi fin sull'Oceano Pacifico. L'immagine satellitare a lato mostra che il diametro della regione interessata da questa tempesta di polvere è dell'ordine di un migliaio di chilometri, cioè 1/6 del raggio terrestre. Come si intuisce dall'immagine, la tempesta di polvere si è mossa con traiettoria da NNW verso SSE, interessando dapprima la Mongolia e la Mongolia interna cinese, e poi dirigendosi verso Pechino, le coste cinesi, la Corea e il Giappone. Nei giorni successivi, la tempesta ha continuato il suo moto verso oriente, diluendosi via via durante il percorso per l'azione della diffusione atmosferica (nell'alta troposfera) e della turbolenza (nella bassa troposfera). Durante il passaggio di questa tempesta sulle zone sopra menzionate, gli effetti al suolo sono stati molto consistenti ed hanno causato parecchi disagi. I forti venti sono stati originati dalla contemporanea presenza di un anticiclone sulla Cina orientale e di una depressione a N della Corea (carta qui sotto), che insieme hanno convogliato correnti d'aria molto intense (a causa del robusto gradiente barico) in direzione da NW verso SE.

Ma che cos'è esattamente una tempesta di polvere, e come si origina?

Le tempeste di polvere in Asia

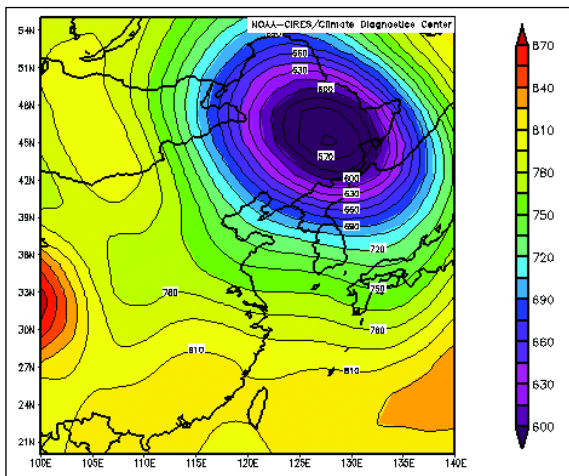
Le tempeste di polvere, o di sabbia, sono in realtà fenomeni meteorologici comuni in molte regioni del globo. Infatti, tali fenomeni si osservano in corrispon-

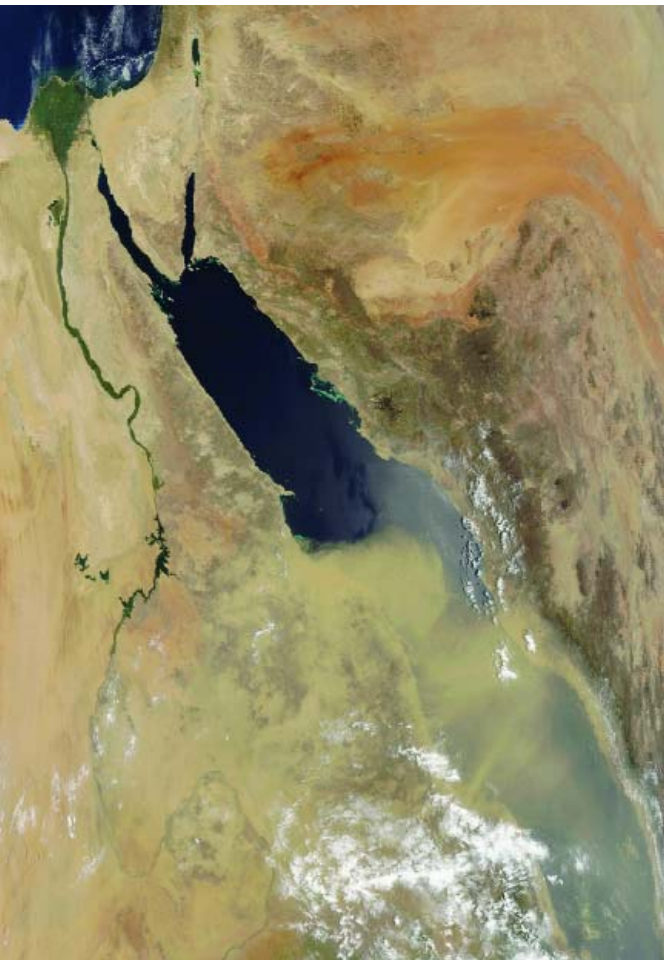


denza di tutte le principali aree desertiche del mondo: sulle grandi pianure dell'America del Nord, sui deserti dell'Australia, dell'Arabia, del Gobi in Mongolia, del Sahara, sul Mar Rosso, sull'Asia orientale, sul Mediterraneo orientale e su altre regioni aride e semiaride. In gran parte delle zone suddette, questi fenomeni fanno sentire i loro effetti per lo più su territori poco abitati o sugli oceani, e di rado interessano aree densamente abitate, se non con fenomeni di poco conto. In Italia, ad esempio, nel caso di forti correnti sciroccali, possiamo osservare leggeri depositi di sabbia sahariana. Nel caso delle tempeste asiatiche, tuttavia, le regioni direttamente interessate, che si trovano spesso nella direzione del moto della tempesta, sono zone densamente popolate, che vanno dalle città costiere cinesi alle metropoli coreane e giapponesi, dove vivono decine di milioni di persone. La siccità e, naturalmente, il vento, contribuiscono alla genesi

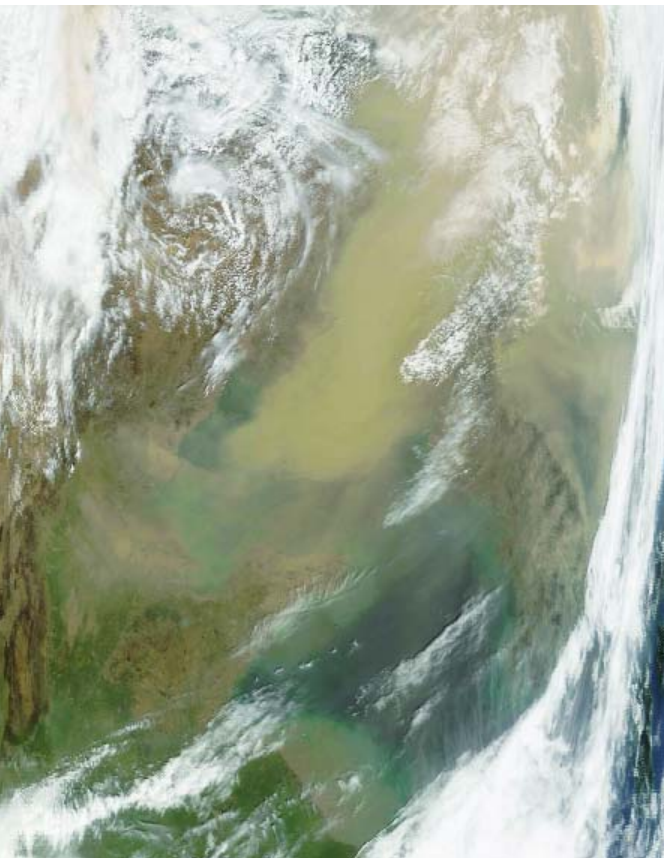
delle tempeste di polvere, soprattutto nelle aree siccitose poco coltivate e utilizzate per la pastorizia. Il trasporto può inoltre rimuovere rilevanti quantità di terreno - indispensabile all'ecosistema - dai luoghi di origine della tempesta, per trasportarlo e depositarlo in altre zone, spesso distanti anche migliaia di chilometri. Studi recenti condotti, tra gli altri, dal prof. Prospero, direttore dell'Istituto per gli studi atmosferici e marini dell'Università di Miami (www.nap.edu/books/0309064260/html/3396.html), ipotizzano che le tempeste di polvere provenienti dal deserto del Sahara influenzerebbero lo sviluppo del plancton nell'Oceano Atlantico occidentale, e potrebbero essere una fonte importante di minerali per le piante della foresta pluviale amazzonica. Inoltre, un fungo isolato nella polvere delle tempeste provenienti dal deserto del Sahara, l'*aspergillus sydowii* sarebbe stato il responsabile della diffusione di malattie e della

Come mostra la carta riportata qui sotto, che rappresenta l'altezza del geopotenziale alla superficie isobarica di 925 hPa il 20.04.2005, l'evento ha preso origine per via di forti venti nord-occidentali attivatisi tra un anticiclone collocato sulla Cina orientale e una depressione a N della Corea.





Le tempeste di sabbia sono diffuse in tutte le regioni aride del mondo. Qui sopra, nubi di polvere strappate al deserto attraversano il Mar Rosso il 20.08.2003, h 08.15 UTC (sat. NASA TERRA-sensore MODIS). Qui sotto, tra Cina orientale e Corea, il 08.03.2002, h 02.45 UTC (sat. NASA MODIS-sensore TERRA).



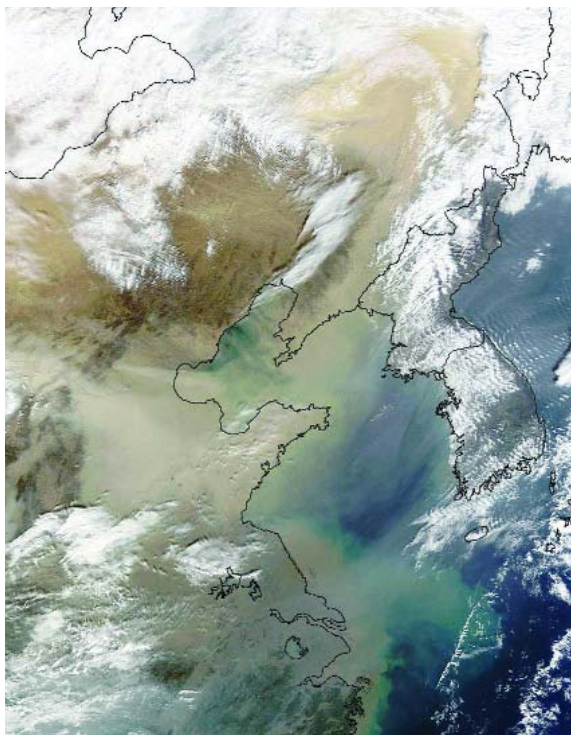
distruzione di parte della barriera corallina caraibica.

Occasionalmente perfino gli Stati Uniti occidentali sono influenzati dalle tempeste di polvere asiatiche. Ad esempio, nel mese di aprile 2001, una gigantesca tempesta di polvere, estesa per 1800 km in direzione E-W e per 1200 km in direzione N-S, attraversò l'Oceano Pacifico pressoché intatta nelle sue dimensioni, interessando gli Stati Uniti e il Canada occidentali fino all'Arizona, anche se gli effetti in tali zone furono limitati a qualche velo di sabbia e a una lieve caligine, con risvolti talora pittoreschi come spettacolari tramonti rossi. In tale occasione, gli scienziati del NCAR (National Center for Atmospheric Research) di Boulder (Colorado) rilevarono la presenza di polvere fino a circa 13000 metri di altezza, ossia lungo l'intero profilo verticale della troposfera. Un fenomeno analogo accadde anche nell'aprile del 2002.

Quando le tempeste di polvere coinvolgono aree densamente popolate, si ripercuotono sulle attività umane con effetti ben più negativi. Il problema in realtà non è affatto nuovo: in Corea sono state ritrovate annotazioni di tempeste di polvere risalenti addirittura al gennaio 174 d.C., e fenomeni di questo tipo sono menzionati altre 7 volte nella letteratura del paese asiatico durante il cosiddetto periodo dei «tre regni» (57-938 d.C.). Successivamente, nel II millennio, il numero di citazioni di tempeste di polvere che hanno interessato la Corea ogni secolo oscilla da 5 (nel XIV secolo) a 50 (nel XVI). Notevole il ricordo di un mercante proveniente dalla capitale coreana, Seul, che nel 1550 riferì di aver trovato la città immersa in «una nebbia simile al fumo che striscia in ogni angolo in tutte le direzioni». Tuttavia, se è vero che esistono testimonianze molto antiche, che fanno presumere che il fenomeno abbia una connotazione prevalentemente naturale, attualmente la polvere e le tempeste di sabbia che per secoli hanno ricoperto l'Asia nord-orientale stanno diventando via via più pericolose per la salute della gente. Recenti studi condotti in Asia da un team congiunto di ricercatori di Cina, Corea del Sud e Giappone, le nazioni più interessate dal fenomeno, hanno dimostrato che le tempeste di polvere provenienti dai deserti dell'Asia centrale (Mongolia e Cina settentrionale) stanno diventando via via più pericolose per la salute pubblica, in quanto gli effetti della concentrazione delle polveri si vengono a sommare a quelli delle sostanze inquinanti (come fuliggine e le particelle microscopiche emanate dagli scarichi dei veicoli e dalle centrali elettriche), incrementando il gravoso problema della qualità dell'aria della re-

gione. Un ulteriore problema che aggrava l'impatto di questi fenomeni è causato dall'impiego di pesticidi sui territori in cui la polvere si solleva. Quando il terreno si inaridisce, nel periodo più secco (che normalmente va dalla fine di gennaio alla metà della primavera), la crosta superficiale - avvelenata dai pesticidi - si frammenta in minute particelle che poi vengono sollevate e trasportate insieme alla polvere, aggravando i problemi causati dalle tempeste, già di per sé ingenti. Le valutazioni dell'Organizzazione Mondiale della Sanità parlano di più di 500.000 morti ogni anno in Asia causati dall'inquinamento atmosferico o dalle polveri, un numero veramente impressionante. Inoltre, non bisogna dimenticare gli effetti della presenza delle polveri sulle variazioni climatiche: la presenza di particelle di *aerosol* influenza il bilancio radiativo in quanto le particelle assorbono e riflettono la radiazione solare (facendo quindi diminuire la quantità di energia che arriva a terra), e inoltre emettono a loro volta radiazione ad onda lunga. Il bilancio netto, secondo alcuni recenti studi (ZHANG & CARMICHEL, 1999), è tale da produrre un riscaldamento dello strato di atmosfera interessato dalla presenza delle polveri. Osservazioni sperimentali hanno permesso di notare un altro effetto secondario legato alla presenza delle polveri: l'incremento del contenuto di vapore acqueo all'interno dello strato stesso. Se la causa di tale effetto non è del tutto chiara (forse la diminuzione della radiazione solare), esso provoca un maggior riscaldamento dello strato di polveri (in quanto il vapore acqueo in eccesso incrementa l'effetto serra al suo interno). Pertanto, la presenza di polveri su vaste aree della superficie terrestre può influire pesantemente sul bilancio radiativo ed energetico della regione interessata, anche se per un breve periodo di tempo, con conseguenze che potrebbero anche ripercuotersi sulla qualità delle previsioni meteorologiche in tali aree.

Al giorno d'oggi, le tempeste di polvere possono essere osservate grazie all'ausilio dei satelliti. Anche grazie a questa tecnologia, negli anni recenti, il rapido procedere della desertificazione causata dalla coltivazione intensiva ed esasperata in aree caratterizzate da apporti di precipitazione molto variabili di anno in anno ha provocato un incremento dei casi di tempeste di polvere nell'Asia orientale, soprattutto in presenza di precipitazioni invernali inferiori alla norma. Ad esempio, secondo le indicazioni del Servizio Meteorologico Coreano (tabella a pag. 45), la tendenza negli ultimi 10 anni (fino al 2002) è stata crescente (grafico a



Qui sopra a sinistra, la tempesta di sabbia del 13.11.2002 nella regione cinese-coreana.

Sopra a destra, principali aree di formazione delle tempeste di sabbia nella regione cinese-mongolica.



p. 43 in basso), con oltre 20 giorni di tempeste di polvere nel 2001. La tabella evidenzia anche la presenza di una chiara variazione interannuale, legata in qualche modo al fenomeno ENSO (in particolare, si è visto come le tempeste tendano ad essere più frequenti negli inverni più caldi). L'elenco completo delle rilevazioni mostra anche la presenza di ciclicità più lunghe, legate presumibilmente a variazioni climatiche (ad esempio, negli anni compresi tra il 1936 ed il 1945 si registrarono anche oltre 40 giorni di tempesta all'anno). Attualmente, Cina, Corea del Sud, Giappone e Mongolia (lo stato dove ha origine la maggior parte delle tempeste) stanno riunendo i loro sforzi per diminuire l'effetto di tali fenomeni, grazie al sostegno dell'UNEP, della Banca di sviluppo asiatica, della Commissione economica e sociale per l'Asia ed il Pacifico e della commissione sulla desertificazione dell'ONU. In particolare, i primi provvedimenti che si stanno intraprendendo consistono nel

tentativo di attenuare l'erosione eolica del suolo - tramite rimboschimenti artificiali - nelle regioni da cui hanno origine le tempeste.

La composizione della polvere nelle tempeste asiatiche

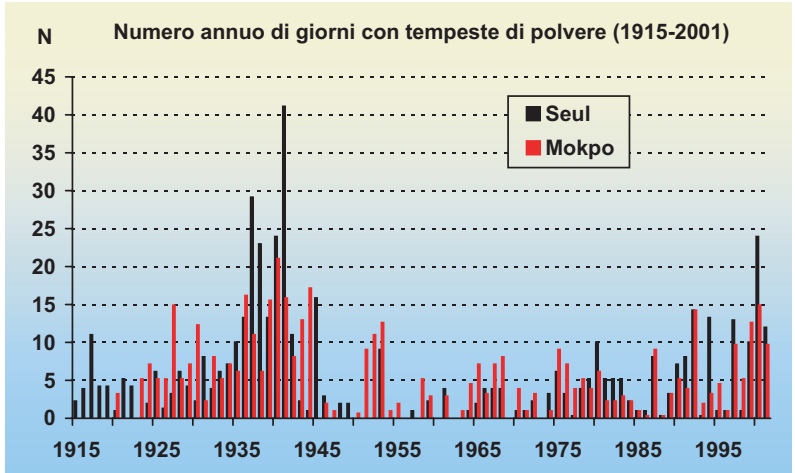
La sabbia gialla, tipico esempio di aerosol minerale, si origina nei deserti semipermanenti del Sand, del Gobi e nel plateau cinese del Löss (come indicato nella cartina sopra), nel periodo compreso tra la fine dell'inverno e la metà della primavera. In tale periodo il clima di queste zone è estremamente arido, in quanto tali regioni sono rimaste per alcuni mesi sotto l'influenza delle correnti gelide e secche legate al monzone invernale, per cui il suolo si è inaridito e la scarsa vegetazione presente si è completamente seccata. Secondo stime recenti, nella prefettura di Alxa (Mongolia interna, Cina), più di 3 milioni di ettari di terreno per il pascolo sono degradati, il 60% dei quali seriamente. Queste informazioni sono

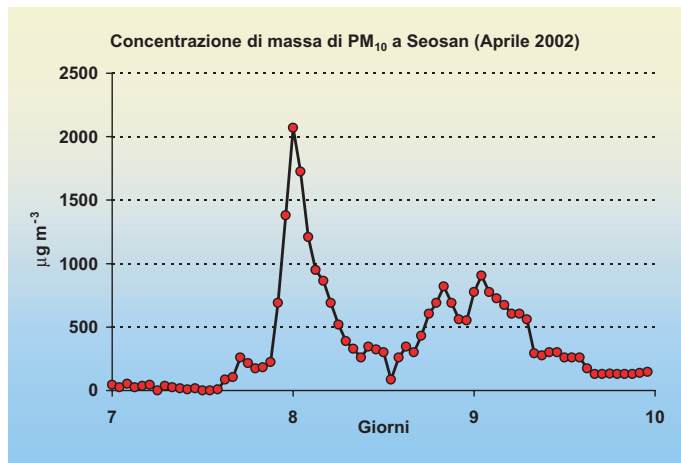
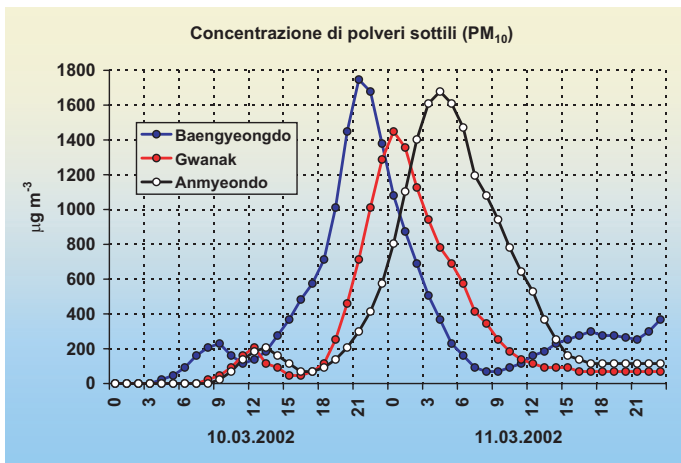
confermate da altri dati relativi alla diminuzione progressiva del foraggio nella regione (-43%), della capacità produttiva dei terreni di pascolo (-46%), del peso corporeo medio dell'animale da tiro (-50%) e della copertura forestale nella regione (-47%).

Al termine dell'inverno, tra metà febbraio e inizio aprile, la configurazione barica media a scala sinottica mostra una struttura a dipolo con la zona di alta pressione disposta obliquamente sull'entroterra ed una profonda area depressionaria al largo del Giappone (carta a pag. 44). Questi due centri originano intense correnti dirette verso SE, talora associate al transito di depressioni e spesso a fronti freddi, che non producono precipitazioni nelle zone desertiche (in quanto sono correnti fredde e secche e contengono pochissima umidità) ma, quando il vento supera una certa intensità critica, sollevano polvere, sabbia, particelle di suolo e vegetazione, ecc. Secondo uno studio di IN & PARK (2003), quando la velocità del vento supera il valore critico della velocità di attrito u^* , allora i granelli di polvere più fini iniziano a sollevarsi ed ad essere trasportati lontano.

Le regioni sorgenti delle sabbie gialle sono caratterizzate da suoli secchi e basse coperture vegetative. Le polveri possono essere sollevate e trasportate fin nella media troposfera da venti superficiali che soffiano nelle regioni sorgenti. I diametri tipici delle particelle di polvere spaziano tra 0.1 e 1000 micron. Le particelle più grandi, con diametri maggiori di 30 micron, si depositano velocemente per sedimentazione gravitazionale vicino alle regioni sorgenti, mentre particelle relativamente più piccole hanno un

Numero annuo di giorni con tempesta di sabbia a Seul e Mokpo. Nel corso del XX secolo, un primo e notevole picco di frequenza del fenomeno si è registrato tra gli Anni 1930 e gli Anni 1940, poi nuovamente dagli Anni 1990. Nel 1941 a Seul furono segnalati ben 41 casi.





Alto a sinistra: andamento delle concentrazioni di PM₁₀ in alcune località della Corea del Sud tra il 10 e l'11 marzo 2002. In alto a destra: concentrazione di PM₁₀ (microgrammi per m³ d'aria) e Seul dal 7 al 10.04.2002. Si noti il picco di 2070 raggiunto alle h 00 circa del giorno 8.

Sotto a sinistra, altezza media di geopotenziale alla superficie isobarica di 925 hPa nel mese di marzo, tra Cina orientale e Corea. Sotto a destra, dintorni di Golmud (Qinghai, Cina), il 21.06.2001 (f. C. Cassardo). La zona è prossima a una delle «sorgenti» delle tempeste di polvere che si scatenano nell'Asia sud-orientale.

tempo medio di permanenza in atmosfera che varia da qualche giorno a qualche settimana, e quindi possono essere trasportate per diversi migliaia di chilometri (ZHANG & CARMICHEL, 1999). Ad esempio, le particelle con diametri tra 1 e 16 micron sono trasportate fin sulla Corea e sul Giappone, e talora possono addirittura raggiungere la costa americana occidentale.

Gli effetti delle tempeste di polvere in Corea

A Seul, la quantità media annuale di polveri con diametro minore di 10 micron (PM₁₀) si aggira intorno a 70 microgrammi per metro cubo (a termine di paragone, il valore medio annuo della concentrazione di PM₁₀ per la città di Torino nel 2004 è stato 58 µg m⁻³). Durante le tempeste di polvere, la concentrazione di PM₁₀ supera generalmente i valori di 500-1000 µg m⁻³ (grafici qui sopra): in occasione della tempesta dell'8 aprile 2002, ad esempio, furono raggiunti 2070 µg m⁻³. Gli studi clinici dicono che al di sopra di 1000 µg m⁻³ la respirazione avviene con un certo sforzo per cui gli anziani e le persone con problemi respiratori (come i soggetti asmatici) possono subire effetti indesiderabili e debbono prendere precauzioni, evitando per esempio di avventurarsi all'esterno. I mass media, in

taluni occasioni, diffondono comunicazioni sui comportamenti da evitare. A causa del colore giallastro delle particelle nei luoghi di origine delle tempeste (che quasi sempre sono i deserti della Mongolia, della Cina settentrionale, del Gobi o della Manciuria), la polvere tende a conferire al cielo una tonalità analoga, più o meno intensa a seconda della concentrazione di polveri. I coreani chiamano le tempeste di sabbia con il nome di *huansà*, parola composta da *huan* (gialla) e *sà* (polvere o sabbia).

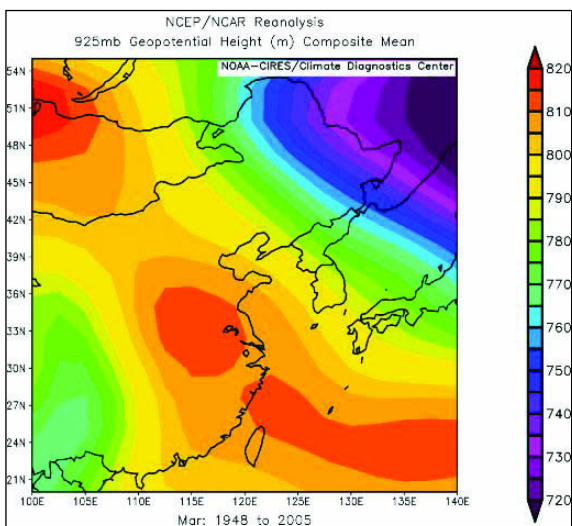
Secondo recenti studi condotti in Corea (che comunque possono essere estesi anche agli altri paesi coinvolti), le tempeste di polvere - una volta viste soltanto come un problema fastidioso - ora sono considerate anche come una minaccia economica. Tra gli effetti più notevoli, si annoverano la chiusura di scuole, uffici e industrie, la pericolosità nei trasporti sia automobilistici sia aerei (numerossime le cancellazioni di voli in tali periodi), la riduzione delle vendite al dettaglio, senza contare poi le ovvie ripercussioni negative anche sui prodotti industriali che risentono della maggiore presenza di polveri, quali ad esempio le tecnologie elettroniche. Allo stesso modo, anche il commercio e il turismo sono ridotti quando i paesi sono colpiti da questi eventi. La preo-

cupazione che ne deriva è tale che i coreani hanno chiamato il periodo che va da febbraio ad aprile «quinta stagione», ossia la stagione delle tempeste di polvere.

Gli effetti delle tempeste di polvere in Cina e Mongolia

Anche in Cina l'estensione e il numero delle zone influenzate dalle tempeste di polvere stanno aumentando nel corso degli anni. A fine gennaio 2002, ad esempio, una tempesta insolitamente precoce ha interessato addirittura il Tibet, causando la chiusura dell'aeroporto di Lhasa per tre giorni, oltre alle ovvie conseguenze negative sul turismo e sulle altre attività. Del resto, osservando i depositi eolici di sabbia che si trovano in molte zone tibetane (come nel Qinghai, fotografia in basso), si intuisce come il fenomeno sia piuttosto usuale. Nella Cina orientale le tempeste talora raggiungono le zone litoranee, interessando anche città molto lontane dai deserti, come Shanghai.

La Mongolia e la Cina orientale, interessate più direttamente dalle tempeste in quanto più vicine alle zone di origine del fenomeno, subiscono conseguenze talora molto gravose sia sulla qualità della vita sia sulle infrastrutture, sugli animali e sulla produttività agricola. A titolo di esempio, si



Una testimonianza diretta di una tempesta di polvere

(di Nan Young Baek Cassardo)

Il 23 aprile 2001 mi trovavo a Seul, in Corea del Sud, dove svolgevo l'attività di guida turistica per stranieri. La sera precedente, in televisione, i previsori dell'Amministrazione Meteorologica Coreana avevano preannunciato l'arrivo di una tempesta di polvere molto intensa. Per precauzione, la maggior parte delle scuole di Seul e delle altre città furono chiuse, e gli anziani furono invitati a rimanere chiusi in casa. Successivamente, anche gli aeroporti cittadini erano stati chiusi al traffico. Ma io (come, credo, molti altri cittadini) non pensavo che sarebbe stata così intensa, soprattutto perché la giornata precedente era stupenda, con visibilità buona. Il mattino dopo, già alle 6 del mattino, quando presi l'autobus per recarmi a Seul (abitavo in una città ad un'ora di distanza circa), l'atmosfera era molto caliginosa. Man mano che procedevamo verso Seul, la visibilità peggiorava progressivamente e la luminosità, anziché aumentare con l'alzarsi del Sole sull'orizzonte, diminuiva progressivamente. Le autovetture e gli autobus dovevano procedere con le luci accese (in Corea, non è ob-

bligatorio tenere le luci accese di giorno), come quando c'è nebbia. Inoltre, era necessario azionare i tergicristalli altrimenti i vetri si ricoprivano completamente di polvere e sabbia finissima. Una volta giunta a Seul, la città sembrava immersa in una strana nebbia secca di colore marrone, e tutti facevamo fatica a respirare, e usavamo fazzoletti o mascherine per proteggerci il naso e la bocca (in Corea, le tempeste sono comunque abbastanza comuni in primavera, ed è possibile trovare le mascherine in tutti i negozi). Non appena arrivai all'agenzia presso cui lavoravo, ci chiedemmo se era il caso di effettuare la visita programmata. Tuttavia, i turisti chiesero di rispettare il programma, visto che sarebbero dovuti partire il giorno seguente. Come da programma, ci recammo quindi con un pulmino presso la residenza di *Kyong-bokkung*, uno dei palazzi reali più belli ed importanti della città. Più il tempo passava e più le condizioni di visibilità, luminosità (e respirazione...) diventavano critiche: il Sole era ormai visibile soltanto come un piccolissimo alone tra la polvere. Tra l'altro c'era un vento fortissimo, a raffiche, e la polvere penetrava dappertutto. La visita, debbo dire, non riuscì molto bene, in quanto anche per me dover parlare all'aria aperta con la bocca coperta dalla mascherina era molto difficile. Arrivati a mezzogiorno, i turisti e io decidemmo di comune accordo che le condizioni atmosferiche non consentivano di poter proseguire la visita, per cui tornai dapprima all'agenzia e poi a casa. A mezzogiorno, la città era immersa in un'oscurità come se ci fosse un'eclissi quasi totale di Sole, non si vedeva praticamente nulla, e Seul (che conta oltre dieci milioni di abitanti) sembrava una città fantasma, poiché tutti erano chiusi in casa o negli uffici. Mi rimase, come ricordo di quella giornata, una tosse secca che mi portai dietro per quasi un mese. La sera, il notiziario parlò di un picco di ricoveri ospedalieri per persone con problemi respiratori, e i dati rilevati dagli esperti mostrarono che in quel giorno la concentrazione di polveri PM_{10} aveva superato abbondantemente il valore di $1000 \mu g m^{-3}$. La situazione non cambiò molto il giorno successivo: diminuì un po' il vento ma non la concentrazione di polvere, che rimase alta tanto da impedire la visione del Sole per l'intera giornata. Le scuole rimasero ancora chiuse e molte persone non andarono al lavoro. Dopo due giorni, finalmente, le condizioni furono meno critiche, il peggio era ormai passato, ed il giorno successivo l'atmosfera era tornata praticamente normale. Anche se la Corea è interessata da tempeste di polvere 5-10 volte all'anno, questo episodio fu il più intenso e costituì la più drammatica esperienza da me vissuta. Il 2001 è l'anno che detiene il record dei casi di tempeste di sabbia, come si evince dalla tabella in alto.

Anno	N. gg con tempeste
1991	11
1992	8
1993	14
1994	0
1995	13
1996	1
1997	1
1998	13
1999	6
2000	10
2001	27
2002	16
2003	3
2004	6
2005	10



Due vedute della città di Seul riprese dalla sede del KMA (Korean Meteorological Administration) durante una violenta tempesta di sabbia (in alto, 21.03.2002, h 08 locali) che riduce la visibilità a meno di un chilometro, e in condizioni atmosferiche «normali» (qui sopra, 24.03.2002, h 08 locali).

possono citare i principali danni prodotti durante la violenta tempesta di polvere del 5 aprile 1998, che infierì per 12 ore sulla prefettura di Alxa, in Mongolia interna (Cina): distruzione di circa 10.600 ettari di raccolti per la copertura della vegetazione da parte della sabbia, distruzione di oltre 100 serre, insabbiamento di 400 pozzi, distruzione di 130 ettari di frutteti, morte di circa 7000 pecore. Il 5 maggio 1993, nella città di Hexi (provincia di Gansu, Cina nord-occidentale), un altro episodio distrusse 170.000 ettari di colture, 40.000 alberi, uccise 49 persone e 6700 animali, mentre i feriti furono 278.

Ringraziamenti

Sono grato al prof. Park Soon-Ung dell'Università Nazionale di Seul per le informazioni e il materiale fotografico fornitomi.

Bibliografia

- CHUN Y., BOO K.O., KIM J., PARK S.U., LEE M. (2001) *Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea*. J Geophys. Res. 106(D16):18461-18469
- CHUN Y., PARK S.U. (2005) *From historical records to early warning system of Asian dust (hwangsa) in Korea*. Proceedings of the 10th International Joint Seminar on the Regional Deposition Process in the Atmosphere, 8-10. Nov. 2005, Australia (www.dar.csiro.au/pollution/dustprogram.htm)
- IN H.J., PARK S.U. (2002) *A simulation of long-range transport of Yellow Sand observed in April 1998 in Korea*. Atmospheric Environment, 36, 4173-4187.
- IN H.J., PARK S.U. (2003) *The soil particle size dependent emission parameterization for an Asian dust (Yellow Sand) observed in Korea in April 2002*. Atmospheric Environment, 37, 4625-4636.
- PARK S.U. (2002) *Field survey of Yellow Sand source regions*. Proceedings of workshop of Asian dust, March 22, 2002, Korea meteorological Administration, Korea.
- PARK S.U., IN H.J. (2003) *Parameterization of dust emission for the simulation of the Yellow Sand (Asian dust) event observed in March 2002 in Korea*. Journal of Geophysical Research 108: D19, 4618, doi: 10.1029/2003JD003484
- PARK S.U., LEE E.H. (2005) *A numerical simulation of an Asian dust (hwangsa) event observed in Korea during 20-24 April 2004*. Proceedings of the 10th International Joint Seminar on the Regional Deposition Process in the Atmosphere, 8-10. Nov. 2005, Australia (www.dar.csiro.au/pollution/dustprogram.htm)
- ZHANG Y., CARMICHEL G.R. (1999) *The role of mineral aerosol in tropospheric chemistry in East Asia - a model study*. Journal of Applied Meteorology, 38:353-366.