

# Il trasporto globale delle POLVERI

Un fiume intercontinentale di polveri,  
microrganismi e composti chimici tossici scorre  
incessantemente attraverso l'atmosfera terrestre

di Dale W. Griffin, Christina A. Kellogg,  
Virginia H. Garrison ed Eugene A. Shinn

**S**ecundo alcune stime, la quantità di polveri che si solleva nell'atmosfera terrestre ammonterebbe a 2 miliardi di tonnellate. Gran parte di questo materiale è smossa da tempeste, e in qualche caso esse assumono propriamente il nome di tempeste di polvere. Ma ciò che viene sollevato è molto più che mera sporcizia. Alla deriva con le particelle di polvere in sospensione vanno inquinanti del suolo, come erbicidi e pesticidi, e un numero significativo di microrganismi: batteri, virus e funghi. Possiamo farci una vaga idea di quanta vita microbica stia fluttuando nella nostra atmosfera facendo un rapido calcolo. Vi è normalmente un milione di batteri in ogni grammo di suolo, ma, per tenerci stretti, supponiamo che ci siano solo 10.000 batteri per grammo di sedimento sparso nell'aria. Assumendo - sempre per abbondante difetto - un miliardo di tonnellate di sedimento nell'atmosfera, questi numeri si traducono in un  $10^{18}$  batteri che si muovono attorno al pianeta ogni anno: abbastanza da formare un ponte ininterrotto di microrganismi tra la Terra e Giove. Un paio di anni fa, quando presentammo per la prima volta una nostra ricerca in cui si mostrava come microrganismi vivi fossero trasportati attraverso l'Atlantico in nubi di polveri dei deserti africani, ricevemmo due tipi di risposta.

Questo articolo è stato pubblicato  
originariamente su «American Scientist»,  
vol. 90 n. 3, maggio-giugno 2002,  
con il titolo *The Global Transport of Dust*.

UNA GIGANTESCA TEMPESTA DI POLVERE sull'Africa nordoccidentale si sposta verso le isole Canarie, il 23 aprile 2002. Le tempeste di questo tipo trasportano microrganismi infettivi e sostanze chimiche tossiche, e si ritiene che possano costituire un rischio significativo per gli ecosistemi dei Caraibi e di altre parti delle Americhe.

Alcuni ritenevano che fosse impossibile per i batteri sopravvivere a un viaggio di una settimana nell'atmosfera senza soccombere alla radiazione ultravioletta, alla mancanza di nutrienti e all'essiccazione. Altri rispondevano con la tesi opposta, rimarcando come fosse noto da tempo che i microrganismi sono capaci di sopravvivere al trasporto su lunga distanza. Questo secondo gruppo, di fatto, è assolutamente nel giusto: gli scienziati del XIX secolo già sapevano che i microrganismi potevano essere trasportati a grandi distanze dal vento, ma in qualche modo questa nozione era andata smarrita.

Oggi gli scienziati stanno appena iniziando ad afferrare l'impatto e l'entità del *fall-out* di polveri africane. È stato valutato che 13 milioni di tonnellate di sedimenti africani vadano a ricadere ogni anno sulla parte settentrionale del bacino del Rio delle Amazzoni. Una singola, grande tempesta di polveri può trasportare oltre 200 tonnellate. E le Americhe non sono certo la sola destinazione dei sedimenti africani. Tempeste di polvere che hanno origine in Nord America condizionano normalmente la qualità dell'aria in Europa e nel Medio Oriente. Non è raro che in Europa occidentale un sottile strato di polvere rossa vada a ricoprire le automobili o colori i manti nevosi.

Purtroppo, l'impatto di questi sedimenti può essere misurato in termini diversi dal semplice tonnellaggio. Abbiamo dedicato gli ultimi anni a quantificare e identificare i microrganismi presenti nell'aria dei Caraibi in seguito a tempeste di polveri africane. Circa il 25 per cento è costituito da specie batteriche o fungine patogene per le piante, e il 10 per cento da patogeni opportunisti dell'uomo (in grado cioè di infettare soggetti immunodepressi). Oggi è chiaro come questo *fall-out* abbia avuto conseguenze dirette sulla salute umana e delle comunità biologiche della barriera corallina nei Caraibi.

Qui esporremo ciò che abbiamo scoperto sul trasporto atmosferico di sedimenti a livello globale, partendo dagli studi che hanno segnato la storia di questo campo, nato oltre 100 anni fa.

## Ciò che era vecchio è ancora nuovo

Da molti resoconti risulta che la quantità di polvere che ricade sulle navi nell'Atlantico settentrionale è considerevole e che qui l'atmosfera risulta spesso poco limpida; ma in prossimità della costa africana la quantità è ancora più notevole. È capitato più volte che le navi finissero a ridosso della costa a causa della scarsa visibilità; e Horsburgh raccomanda che tutte le navi, per questa ragione, evitino il tratto di mare compreso tra le Isole di Capo Verde e il continente.

Charles Darwin, 1846

Una ricognizione della letteratura scientifica in molti campi rivela spesso andamenti ciclici: certe idee si fanno strada, poi cadono nella dimenticanza e quindi riemergono come se non fossero state mai prese in considerazione prima. Lo studio dei microrganismi e del polline trasportati dall'aria - l'aerobiologia, o più propriamente l'aeromicrobiologia - è uno di questi campi.

Lo studio dei microrganismi nell'atmosfera può essere ricostruito fino agli inizi del XIX secolo, quando alcuni resoconti mettono per la prima volta in relazione organismi minuscoli e polveri trasportate dal vento. Il biologo tedesco Christian Ehrenberg descrisse gli oggetti microscopici che trovava nelle polveri

atmosferiche, e più tardi riferì la scoperta di microrganismi in un campione di polveri raccolto da Darwin a bordo del *Beagle*. La connessione tra microbi e polvere potrebbe avere ispirato il botanico britannico Miles Berkeley a concludere: «Gli alisei, per esempio, trasportano spore fungine mescolate alle polveri, le quali potrebbero avere viaggiato per migliaia di miglia prima di essersi depositate».

Louis Pasteur dimostrò la presenza di batteri e spore in campioni d'aria prelevati in montagna, e notò come la loro concentrazione variasse da un luogo all'altro. Studi dettagliati di questa variabilità atmosferica furono condotti dallo scienziato francese Pierre Miquel nella Parigi di fine secolo. Egli prelevò campioni d'aria nel centro di Parigi e in un parco a 5 chilometri di distanza dal centro. Trovò una maggiore quantità di batteri e funghi nell'aria del centro cittadino, e riscontrò anche variazioni sta-

## IN SINTESI

- Le tempeste che hanno origine in aree desertiche sollevano enormi quantità di polveri che possono essere trasportate per migliaia di chilometri. Con esse viaggia un cospicuo numero di microrganismi.
- Gli studi sui microrganismi trasportati a grandi distanze dai venti iniziarono nel XIX secolo e continuarono fino a metà del secolo scorso; vennero poi interrotti perché si pensava che l'impatto sulle colture agricole e sulla salute umana fosse minimo.
- Oggi si sa invece che molti patogeni si diffondono attraverso l'Atlantico, per esempio quelli che provocano la ruggine della canna da zucchero, la ruggine del caffè e la cercosporiosi gialla del banano; particolarmente colpite da queste ricadute sono le colonie di coralli dei Caraibi.
- È stata identificata anche una correlazione fra aumento della siccità in alcune regioni dell'Africa e incremento dei casi di asma nelle aree di ricaduta delle polveri.
- Maggiormente studiato per gli effetti sull'area caraibica, il fenomeno interessa anche l'Europa.

gionali: in entrambi i siti di rilevamento la quantità di microbi era maggiore in estate. Egli ripartì anche i batteri in gruppi, sulla base della morfologia: *Micrococcus* (piccoli batteri tondeggianti), *Bacillus* (a forma di bastoncino) e *Vibrio* (a forma di boomerang). Questi nomi sono ancora in uso ai giorni nostri.

Più o meno contemporaneamente, il batteriologo tedesco B. Fischer stava prelevando centinaia di campioni d'aria a bordo di una nave in rotta nell'Oceano Atlantico, tra le Isole di Capo Verde, le Azzorre, Barbados e Trinidad. Per quanto il metodo di analisi da lui seguito non sia chiaro, egli trovò che in genere l'aria marina era pressoché sterile, a eccezione di quella in prossimità della costa. Tuttavia notò che i batteri potevano essere trasportati molto al largo dalle polveri di origine continentale.

Alla fine del XIX secolo, si tentò di definire i limiti superiori della vita microbica nell'atmosfera prelevando campioni per mezzo di palloni sonda. Uno dei ricercatori, il batteriologo H. Cristiani, fu così sorpreso di trovare sia batteri sia funghi in un campione prelevato 1300 metri sopra Ginevra che fu portato ad attribuire i microbi alla contaminazione del pallone stesso.

Nel decennio successivo vennero fatti esperimenti a quote ancor più alte, specie in Germania. C. Harz utilizzò una pompa aspirante per iniettare aria prelevata a quote comprese tra 1500 e 2300 metri, attraverso un filtro sterile, in una gelatina di cultura. Riscontrò così che, come vi era una variabilità di microrganismi in campioni di differenti aree geografiche, esisteva una variabilità anche tra i diversi strati dell'atmosfera, soprattutto nelle concentrazioni. Harz isolò sia batteri sia funghi, ma, essendo micologo, si concentrò su questi ultimi, identificando *Penicillium*, *Cladosporium* e *Aspergillus*, considerati ancor oggi tra i più comuni a essere trasportati dall'aria.



ANCHE L'ITALIA E PARTE DELL'EUROPA sono periodicamente interessate dall'arrivo di nubi di polveri provenienti dal Nord Africa, come mostra questa foto da satellite ripresa il 17 febbraio 2000.

Nel 1908 gli scienziati tedeschi trovarono batteri 4000 metri al di sopra di Berlino. Tutti i batteri erano di tipo sporigeno, e la maggior parte di essi era fortemente pigmentata: due caratteristiche che dovrebbero aiutare gli organismi a sopravvivere nell'atmosfera. L'anno successivo M. Hahn riferì quella che sembrava una correlazione tra la quantità di batteri e la quantità di polvere trovata in campioni presi durante voli di palloni sonda.

La cattura di campioni atmosferici da aerei ebbe inizio negli anni venti e proseguì per parecchi decenni. La ragione prima di questi studi era quella di comprendere il trasporto a lunga distanza di patogeni delle piante di interesse economico. Un'attenzione particolare era riservata ai funghi, per la diffusione delle malattie causate dai diversi tipi di ruggini; inoltre si riteneva che i batteri patogeni potessero essere trasportati solo per distanze molto brevi. Nell'arco degli anni è stata così pubblicata una plethora di articoli in cui si descrivevano campioni d'aria raccolti nei cieli di Stati Uniti, Canada, Inghilterra, Russia. La maggior parte di questi studi si riferiva a campioni raccolti a quote comprese tra 500 e poco più di 5000 metri. Ma un volo nella stratosfera effettuato negli anni trenta, sponsorizzato dalla National Geographic Society, innalzò il limite della presenza accertata di batteri e funghi fino a oltre 21 chilometri sopra la superficie terrestre.

Noi ci siamo concentrati perlopiù sugli studi che hanno comportato voli al di sopra dell'Oceano Atlantico, lontano dall'influenza della terraferma ma non necessariamente dalla polvere. Alla metà degli anni trenta, Fred C. Meier, scienziato dello US Department of Agriculture, si rese conto della necessità di valutare il potenziale del trasporto a lungo raggio di microrganismi che potessero causare patologie in piante e animali. Egli capiva che questa informazione era di importanza critica per un programma di controllo ben pianificato. Fino ad allora, i campioni

## STAR MALE PER LA POLVERE

Le pianure meridionali degli Stati Uniti furono devastate negli anni trenta dal «Dust Bowl», il micidiale prodotto di una tremenda siccità e di venti formidabili. La catastrofe ispirò fotografi e cantanti folk che immortalarono l'evento in immagini e canzoni (a destra).

Il resoconto di un colono del Kansas, testimone oculare, ci può forse dare un'idea di quei terribili momenti:



Una tempesta di polvere raggiunge Stratford, nel Texas, nell'aprile 1935.

Quando una tempesta di polvere è al suo massimo, respirare diventa difficoltoso anche al chiuso, così la gente cercava sollievo coprendosi il volto con panni bagnati. Ma questo rimedio si rivelò ben presto pericoloso... La costante respirazione di aria umida mista a polvere provocava facilmente polmoniti, di cui molti morirono.

...La polvere che avevo inalato per tutta la giornata cominciò a mostrare i suoi effetti. La testa mi doleva, lo stomaco era rovesciato e sentivo i polmoni oppressi come se contenessero una tonnellata di fine sporcizia.

Lawrence Svobida  
An Empire of Dust



LE REGIONI ARIDE DEL GLOBO (in giallo) sono la fonte primaria delle polveri nell'atmosfera. Le tempeste che si verificano in queste regioni sollevano sedimenti, i quali vengono poi trasportati per migliaia di chilometri attraverso l'oceano dai venti dominanti. Le tempeste di polvere allontanano materiale dalle coste africane in tutto l'arco dell'anno, pur mostrando un andamento stagionale che incanala il

trasporto dei sedimenti ora verso ovest ora verso nord-est. Le tempeste che asportano polveri dal continente asiatico tendono a verificarsi in primavera e a interessare il solo emisfero settentrionale. Le siccità e le pratiche agricole tipiche di alcune regioni (come il Nord Africa e la zona che circonda il Mare di Aral) hanno fatto aumentare l'estensione delle terre aride, aggravando in questo modo il problema negli ultimi decenni.



ANCHE LA MANCANZA DI FOGNE in molte comunità rurali del Nord Africa, come quella qui mostrata di Djene, in Mali, contribuisce ad aumentare la carica microbiologica delle tempeste di sabbia. La fotografia è cortesia degli autori.

erano stati raccolti solo al di sopra di terre emerse, e non vi era modo di accertare la lunghezza del percorso compiuto dalle spore fungine a partire dalla loro origine. Meier convinse allora Charles Lindbergh a raccogliere campioni durante un volo dal Maine alla Danimarca, al di sopra di tratti ghiacciati, acque e montagne, dove era cioè del tutto improbabile l'esistenza di popolazioni fungine significative. I campioni, che erano raccolti esponendo direttamente all'aria - tramite un lungo braccio metallico che si protendeva dal velivolo - vetrini sterili da microscopio rivestiti di una sostanza oleosa, contenevano diverse cose interessanti. Meier identificò una varietà di spore fungine, pollini, alghe, diatomee e ali di insetti. I risultati lo convinsero che «le potenzialità di distribuzione globale di spore, funghi e altri organismi trasportati da venti transcontinentali potevano avere conseguenze enormi». Incoraggiato, chiese quindi la collaborazione di esercito, marina, guardia costiera e avio-linee commerciali per campionare masse d'aria al di sopra del Mar dei Caraibi e dell'Oceano Pacifico. Questo programma ambizioso e promettente subì un duro colpo con la morte prematura di Meier nel 1938 per un incidente aereo durante il lavoro di campionamento.

Tutti i dati raccolti da aerei fino a quel momento erano qualitativi: era sufficiente trovare e identificare microrganismi trasportati dall'aria. A questo punto si trattava di misurare la variabilità. Il primo studio quantitativo ad alta quota sull'Atlantico fu condotto dai canadesi Stuart Pady e C. Kelly negli anni cinquanta. I voli di campionamento attraversarono il Nord Atlantico, da Montreal a Londra, nei mesi di giugno e agosto del 1951. Il periodo di raccolta corrispondeva alla stagione delle polveri africane nei Caraibi e nella parte sudorientale degli Stati Uniti. In questo modo si accorsero che le concentrazioni microbiche dipendevano più dall'origine della massa dell'aria campionata - polare o tropicale - che dalla localizzazione del campionamento



LE SCOGLIERE CORALLINE e le comunità di organismi a esse correlate hanno iniziato a soccombere a un gran numero di patologie a partire dalla fine degli anni settanta. La situazione - che interessa in particolare i Caraibi e la Florida - è poi drammaticamente peggiorata nel 1983 e 1984. Il riccio di mare *Diadema* è stato attaccato da un patogeno ignoto, che nel giro di un solo anno si è diffuso in tutto il bacino caraibico. La sua sparizione quasi totale dall'ecosistema dei Caraibi ha consentito la proliferazione di varie alghe bentoniche che sottraggono spazio ai coralli. Al tempo stesso due specie di coralli (*Acropora palmata* e *A. cervicornis*) hanno sperimentato alti tassi di mortalità in tutta la regione. Un'infezione fungina ha attaccato le gorgonie, e varie malattie hanno colpito i coralli, causandone il declino. L'identificazione del fungo *Aspergillus sydowii* come causa della malattia delle gorgonie e la sua presenza nelle polveri africane costituiscono il migliore esempio di patologia propagata dalle polveri. Molte altre malattie dei coralli potrebbero essere veicolate da polveri africane e asiatiche. La morte di *M. annularis* a causa della cosiddetta malattia della banda nera nel tratto di scogliera corallina della Florida è ben documentata in queste fotografie riprese nel 1988 (qui sopra a sinistra), nel 1998 (al centro) e nel 2001 (a destra). Le fotografie sono cortesia degli autori.



stesso. L'aria di origine tropicale risultava contenere spore fungine in quantità 100 volte superiore a quella di origine polare.

È questo il punto a cui ci si sarebbe sostanzialmente fermati per i quarant'anni successivi. La maggior parte degli studi riguardava spore fungine e batteri ignoti. Ciò potrebbe sembrare strano, dal momento che gli scienziati tedeschi Lange e Jochimsen avevano scoperto già negli anni venti che un numero incalcolabile di batteri veniva trasportato con le polveri atmosferiche. Inoltre negli anni trenta e quaranta si era riconosciuto come alcuni batteri fossero in grado di sopravvivere alla luce, alle escursioni termiche e alla mancanza di umidità. Il trasporto a lungo raggio di batteri fu comprovato dalla loro presenza in Antartide. Ma tutte queste scoperte vennero misconosciute o dimenticate.

Forse vi era stata la percezione che la trasmissione atmosferica a lungo raggio dei batteri avesse un effetto trascurabile sulla salute umana e sull'economia. La maggior parte delle malattie gravi e trasmissibili che colpiscono i raccolti è causata da funghi, e i pochi studi fatti sulla dispersione anemofila di batteri da fonti concentrate avevano permesso di accertare che raramente il raggio di ricaduta eccedeva il chilometro. Dato che non si conosceva alcun processo in grado di iniettare una grande carica batterica nell'atmosfera, pareva che ci fossero poche ragioni per approfondire questo genere di studi.

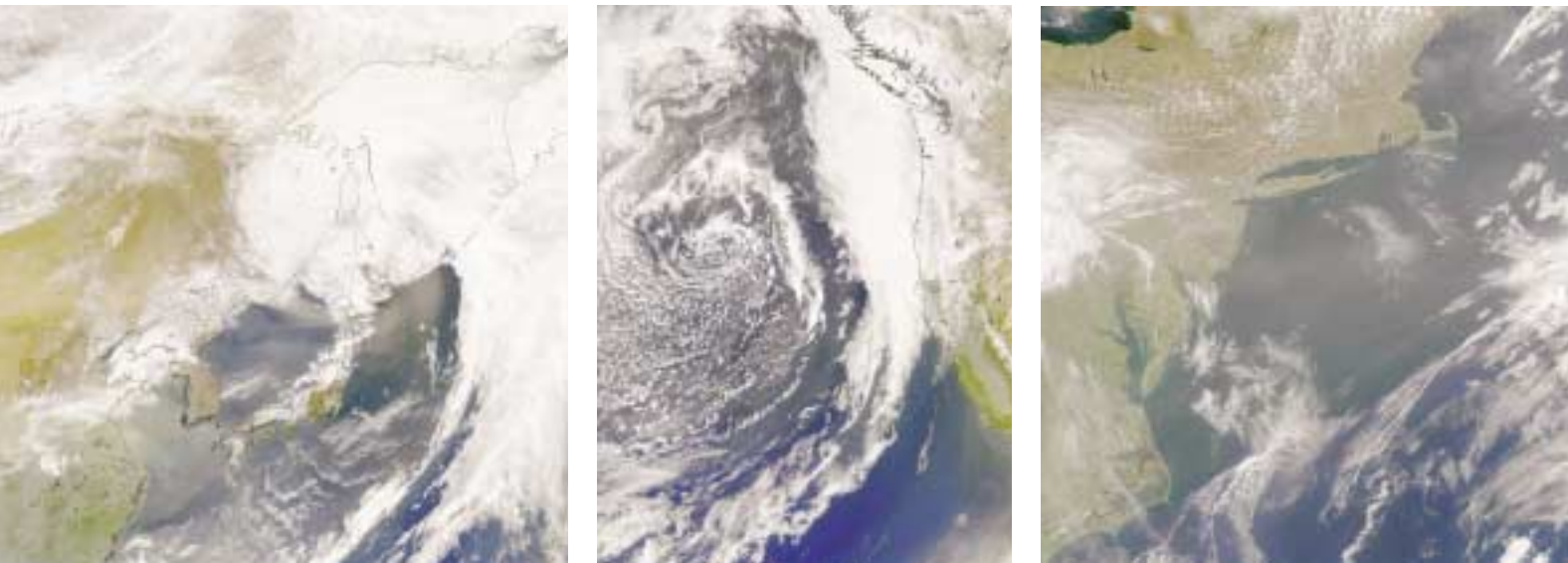
### Un'inoculazione gigante

Un processo che potrebbe trasferire enormi quantità di microrganismi nell'atmosfera è stato identificato verso la fine degli anni novanta, quando le immagini da satellite hanno rivelato in quale impressionante misura i suoli desertici vengano sollevati in gigantesche nubi di polvere. L'energia per questa massiccia immissione nell'atmosfera è fornita da sistemi di alta pressione



UNO SCORCIO CARAIBICO in una normale giornata di sole (sopra) e in concomitanza con l'arrivo dei residui di una tempesta di polvere avvenuta in Africa (sotto). Il confronto offre un esempio particolarmente esplicito dell'impatto che le tempeste di polvere possono avere a migliaia di chilometri di distanza dal loro luogo d'origine. A partire dal 1973, cioè in coincidenza con il peggioramento della siccità nell'Africa subsahariana, è stato rilevato un incremento nell'incidenza dell'asma nella popolazione dell'isola di Barbados. Le fotografie sono cortesia degli autori.

POLVERE PROVENIENTE DAL DESERTO DI GOBI (a sinistra, 13 aprile 2001) viene spinto verso est attraverso l'Oceano Pacifico (al centro, 15 aprile), per poi attraversare tutto il continente americano e raggiungere la costa orientale (a destra, 22 aprile). Le tempeste di polveri asiatiche, come questa, hanno conseguenze ancora ignote sul clima globale e sulla salute



in rapido spostamento e da tempeste che producono venti di grande potenza. Una volta sollevati, i sedimenti e i loro minuscoli ospiti sono alla mercé dei capricci della circolazione atmosferica, e spesso vengono trascinati a molte migliaia di chilometri dal sito di origine.

Le regioni nordafricane del Sahara e del Sahel (afflitto da una siccità che dura dalla fine degli anni sessanta) sono ritenute le fonti più cospicue di sedimenti eolici. La natura dei materiali sollevati dal vento dipende anche dai comportamenti umani. Per esempio, il Sahara copre la metà settentrionale del Mali, un paese tanto ricco di tradizioni quanto economicamente povero. Il fiume Niger, che scorre attraverso centinaia di chilometri di terreni desertici, funge da discarica per ogni genere di rifiuto di origine umana e animale. Con ciclicità annuale, il fiume deposita uno strato di limo sulla piana alluvionale e, con il limo, tutto ciò che va trasportando. Le popolazioni locali coltivano i suoli appena sedimentati, aggiungono pesticidi e bruciano rifiuti a mo' di fertilizzante. Un tempo, i rifiuti erano composti da resti animali e vegetali, ma negli ultimi vent'anni nella loro composizione sono entrati anche materiali plastici o gommosi. Centinaia di piccoli fuochi ardono giorno e notte, generando un fumo nero e denso che diffonde idrocarburi aromatici, diossina e metalli pesanti. Questi prodotti di combustione vengono rapidamente adsorbiti dal suolo argilloso, che successivamente è sollevato dai forti venti. Le particelle del suolo adsorbono anche sostanze chimiche dall'atmosfera: altri pesticidi, prodotti di combustione e isotopi radioattivi di origine cosmogenica.

Tutte queste particelle, sostanze chimiche e microrganismi finiscono per atterrare da qualche parte. Joe Prospero, della Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences dell'Università di Miami, misura fin dal 1965 la quantità di polveri che viene trasportata fino ai Caraibi e alle Americhe. Egli ha riscontrato una correlazione diretta tra l'aggravamento delle siccità in Africa e l'incremento della quantità di polveri che si deposita dall'altra parte dell'Atlantico. La ricerca del gruppo di lavoro diretto da Prospero contempla anche la messa in coltura di numerose colonie di batteri e funghi prelevati dall'aria al di sopra dell'isola di Barbados, per testarne la vitalità. Le concentrazioni di questi microrganismi aumentano nettamente in concomitanza con l'in-

creamento delle concentrazioni di polveri africane nella regione. Kevin Perry, della San Jose State University ha pure notato un andamento ben riconoscibile nella distribuzione delle polveri africane con il cambiamento stagionale. Da giugno fino a ottobre, la maggior parte dei sedimenti africani va a ricadere sui Caraibi e il Nord America, mentre da novembre a maggio a essere investito è il Sud America.

Altri ricercatori hanno studiato l'andamento dei venti dominanti per determinare le rotte di vari agenti infettivi dall'Africa fino alle Americhe. Tra i patogeni che si diffondono attraverso l'Atlantico vi sono quelli che provocano la ruggine della canna da zucchero (*Puccinia melanocephala*), la ruggine del caffè (*Hemileia vastatrix*) e la cercosporiosi gialla del banano (*Mycosphaerella musicola*). *Aspergillus sydowii*, un patogeno delle gorgonie diffuso in tutti i Caraibi, si trova anche nell'atmosfera caraibica in relazione alle tempeste di polvere africane. Le gorgonie e altri organismi di scogliera corallina hanno subito un declino costante a partire dalla fine degli anni settanta. Ci attendiamo che la ricerca futura evidenzierà correlazioni anche tra altre patologie dei coralli e tempeste di polvere africane e asiatiche.

A parte i patogeni, la polvere in se stessa ha effetti complessi sulla vita dei vegetali nell'emisfero occidentale. Da un lato, le polveri ricche di ferro provenienti dall'Africa fungono da nutriente per le piante della foresta pluviale sudamericana. Ma questo fertilizzante trasportato dal vento è stato anche chiamato in causa per le fioriture algali, nelle acque costiere della Florida, di *Karenia brevis*, la causa delle tossiche maree rosse.

Le tempeste di polvere africane hanno anche effetti sulla salute umana. Le polveri africane risultano essere un vettore dell'agente patogeno della meningite meningococcica, *Neisseria meningitidis*, nell'Africa subsahariana. Le «esplosioni» di meningite, infatti, fanno spesso seguito a tempeste di polvere localizzate o regionali. Dall'altra parte dell'oceano, diversi ricercatori stanno studiando un possibile legame tra le tempeste di polvere africane e l'alta incidenza dell'asma nei Caraibi. Per esempio, nell'isola di Barbados dal 1973 a oggi c'è stato un incremento di 17 volte dell'incidenza di asma, proprio in corrispondenza al periodo in cui è iniziata ad aumentare la quantità di polveri africane nella regione. Alcune particelle sono così piccole che, una volta

SeaWiFS Project, NASA/Goddard Space Flight Center e Orbimage



ORIGINATASI IN ASIA un paio di settimane prima, questa tempesta di polvere ha raggiunto la Nuova Scozia e l'Isola di Terranova, nel Nord America, il 20 aprile 2001.

entrate nei polmoni, non possono esserne espulse. Qualunque sostanza si accompagni a queste polveri arriva così fino agli alveoli polmonari. Quali potrebbero essere gli effetti di tutto ciò sulla salute umana? Si consideri che alcuni contaminanti simulano un'attività ormonale (pesticidi e idrocarburi aromatici), altri sono cancerogeni (diossina e isotopi radioattivi) e altri ancora sono tossici per le cellule (metalli pesanti).

## Non solo dall'Africa

Durante la primavera, anche i deserti asiatici sono una fonte significativa di sedimenti eolici per l'emisfero settentrionale. Nell'aprile del 2001 una grande nube di polveri originatasi nel Deserto di Gobi si è spostata verso est attraversando - in pochi giorni! - la Corea, il Giappone e il Pacifico, il Nord America, l'Atlantico e quindi l'Europa. La progressione di questi eventi è stata fissata dalle immagini giornaliere riprese dal satellite TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) della NASA. (Si consulti <http://toms.gsfc.nasa.gov/aerosols/aerosols.html>. Le immagini dall'11 al 14 aprile 2001 mostrano la nube nel suo spostamento sopra il Pacifico.)

L'espansione dei deserti cinesi tra il 1975 e il 1987 - che è stata attribuita a sovrappascolo, deforestazione e pratiche agricole poco razionali - è avvenuta a un tasso stimato di 2100 chilometri quadrati all'anno. Si valuta che 4000 tonnellate di sedimenti provenienti dai deserti asiatici vadano a ricadere nell'Artico durante le grandi tempeste di polvere. Il trasporto di erbicidi e pesticidi nell'Artico dalle regioni agricole ai margini dei deserti asiatici è un fatto comune. Queste sostanze chimiche sono state rilevate nei tessuti animali e nel latte umano tra le popolazioni indigene dell'Artico.

Anche i letti lacustri prosciugati sono fonte di polveri eoliche, data la granulometria dei loro sedimenti che è particolarmente fine. Il fondo del lago Owens, nella California meridionale, prosciugato nel 1913 dopo essere stato sfruttato per l'approvvigionamento idrico di Los Angeles, ha un'area di circa 280 chilometri quadrati. Ogni anno, circa 8 milioni di tonnellate di sedimenti di fondo lacustre vengono trasportate nell'atmosfera.

Il lago Ciad, in Nord Africa, che nel 1963 aveva una superficie di 25.000 chilometri quadrati, si è ridotto a circa un ventesimo (circa 1350 chilometri quadrati) a causa di siccità prolungate e del prelievo di acqua per l'agricoltura. L'attività umana in prossimità del lago ha contaminato la superficie dei sedimenti, e anche questi possono essere trasportati fino ai Caraibi.

Il lago Aral, che aveva un'area di circa 60.000 chilometri quadrati nel 1960, è ora ridotto alla metà a causa dello sfruttamento delle acque dei suoi immissari per scopi agricoli. La formazione di nubi di polvere dal suo fondo prosciugato durante le tempeste di vento è un fatto comune: nei sedimenti sollevati sono presenti altissime concentrazioni di pesticidi ed erbicidi. L'esposizione a queste polveri è stata causa di molti ricoveri ospedalieri.

## A quale altezza? A quale distanza? In quale quantità?

Dal punto di vista di un microbiologo, ci si deve chiedere se esista un limite alla distanza e alla quota che i microrganismi possono raggiungere nell'atmosfera terrestre, rimanendo vivi. Alla fine degli anni settanta alcuni razzi sonda meteorologici sovietici, equipaggiati per prelevare campioni d'aria ad alta quota, hanno dimostrato che spore fungine possono essere trovate fino a 77 chilometri al di sopra della superficie terrestre. Gli scienziati sovietici hanno esposto queste spore a una serie di condizioni estreme: raggi ultravioletti, basse temperature, cicli ripetuti di gelo e disgelo e vuoto spinto. E le spore sono sopravvissute. Uno



UN AMPIO PENNACCHIO di polveri si sta rapidamente spostando dalla regione siriana verso l'isola di Cipro, nel Mediterraneo orientale. L'immagine è stata ripresa il 19 ottobre 2002 dal satellite Aqua della NASA.

dei microbiologi coinvolti nel progetto, A. A. Imšenetskij, ha notato come, dopo una tempesta di polvere, nella mesosfera si trovi una quantità di microrganismi maggiore rispetto a quanti ne siano presenti in condizioni meteorologiche normali.

Michael Zolensky, del Johnson Space Flight Center della NASA a Houston nel Texas, ci ha comunicato che sono stati ritrovati grani di polline ad altitudini comprese tra 17 e 19 chilometri nel corso di voli ad alta quota progettati per raccogliere sedimenti di origine extraterrestre in caduta sulla Terra.

Il nostro gruppo di ricerca al Center for Coastal and Regional Marine Studies dell'USGS di St. Petersburg, in Florida, ha documentato un incremento di oltre 10 volte nel numero di microrganismi trasportati dall'aria nelle Isole Vergini in seguito a una tempesta di polveri africana.

La conta diretta delle popolazioni microbiche in questi campioni d'aria rivela che i batteri coltivabili rappresentano solo lo 0,1-1 per cento di tutto ciò che di organico vi si trova. In altre parole, gli organismi presenti sono in quantità molto maggiore, ma sono morti o comunque non sono in grado di moltiplicarsi in un terreno di coltura. Questa è una tendenza comunemente riscontrata in studi di ecologia dei microrganismi. La conta diretta dimostra anche la presenza, in questi campioni, di particelle di tipo virale, e uno dei nostri attuali obiettivi di ricerca consiste proprio nell'identificazione e catalogazione di questi virus.

In definitiva, la ricerca storica e quella attuale mostrano incontrovertibilmente che i microrganismi, insieme con particelle microscopiche di origine biologica, possono essere trasportati nell'atmosfera fino ad alte quote e per grandi distanze. Non deve sorprendere che i microrganismi siano in grado di tollerare gli stress associati al trasporto a lungo raggio nell'atmosfera ter-

restre, dal momento che i microrganismi sono fra gli organismi più tolleranti e capaci di adattamento del pianeta. È stato ipotizzato che una spora di *Bacillus* (magari nascondendosi nella fessura di una minuscola particella di sedimento) possa sopravvivere perfino al trasporto interplanetario!

### Un ponte d'aria

A questo punto, stiamo varcando la soglia di un vasto campo di ricerca. È chiaro che i sedimenti di un continente possono essere trasportati a enormi distanze nell'atmosfera e condizionare la qualità dell'aria all'altro capo del mondo. Quali sono le implicazioni di questo fenomeno di scala planetaria? Quali microrganismi possono sopravvivere a un trasporto atmosferico a lungo raggio? È possibile che patogeni trasportati dalle polveri possano dar luogo a sporadiche esplosioni di alcune malattie? Questi microrganismi sono in grado di competere con successo con le comunità microbiche indigene e trovare un nuovo habitat? È possibile che sostanze chimiche dannose trasportate per migliaia di chilometri abbiano un impatto sulla salute degli ecosistemi?

Queste sono solo alcune delle domande che ci poniamo, ma bastano a dimostrare quanto grande sia la nostra ignoranza su questi argomenti. Oggi le nostre conoscenze si basano su campionamenti puntiformi, e non su rilevamenti sistematici, e i risultati sono condizionati da molti fattori: localizzazione geografica, altitudine, stagione, condizioni atmosferiche, metodi di campionamento. La comprensione del trasporto atmosferico di sostanze dannose e microrganismi potrebbe avere un'importanza fondamentale per la salute umana. C'è un ponte che varca gli oceani, ma finora non vi abbiamo prestato molta attenzione.

### GLI AUTORI

DALE W. GRIFFIN, microbiologo, lavora allo US Geological Survey (USGS) presso il Center for Coastal and Regional Marine Sciences, in Florida. La sua ricerca, finanziata dalla NASA, si concentra sul trasporto di microrganismi in nubi di polveri del deserto. CHRISTINA A. KELLOGG, biologa marina presso l'USGS, studia le comunità di microrganismi nelle polveri africane e in sedimenti inquinati. VIRGINIA H. GARRISON è ecologa delle barriere coralline all'USGS e studia gli effetti dei processi di trasporto globale e dei contaminanti chimici sulla salute delle barriere coralline. EUGENE A. SHINN è geologo senior dello USGS; dal 1996 si interessa al flusso crescente di polveri africane verso l'America.

### BIBLIOGRAFIA

SWAP R., ULANSKI S., COBBETT M. e GARSTANG M., *Temporal and Spatial Characteristics of Saharan Dust Outbreaks*, in «Journal of Geophysical Research», 106, 11.597-11.612, 1996.  
R. B. HUSAR e altri, *The Asian Dust Events of April 1998*, in «Journal of Geophysical Research-Atmosphere», reperibile all'indirizzo Internet <http://capita.wustl.edu/ASIA-FAREAST/>  
WILKENING K. E., BARRIE L. A. ed ENGLE M., *Trans-Pacific Air Pollution*, in «Science», 290, pp. 65-67, 2000.  
GRIFFIN D. W., GARRISON V. H., HERMAN J. R. e SHINN E. A., *African Desert Dust in the Caribbean Atmosphere: Microbiology and Public Health*, in «Aerobiologia», 17, pp. 203-213, 2001.