



GLI URAGANI DEL FUTURO potrebbero avere una progressiva intensificazione per effetto del riscaldamento globale.

Oceani più caldi, uragani più intensi

di Kevin E. Trenberth

Ci sono prove sempre più convincenti che il riscaldamento globale sta intensificando i venti e le precipitazioni dei cicloni tropicali

L'estate del 2004 è stata come un brusco risveglio. Quattro uragani hanno colpito la Florida in rapida successione e dieci tifoni hanno investito le coste del Giappone: quattro in più rispetto al record precedente. Sconcertati, i climatologi hanno offerto spiegazioni contrastanti dell'intensificazione dell'attività ciclonica, dividendosi in particolare sul ruolo del riscaldamento globale. Poi, nel 2005, Madre Natura ha scatenato un'altra stagione di uragani da record nel Nord Atlantico, culminata con i devastanti Katrina e Rita. Ma nel 2006, quando ormai negli Stati Uniti sudorientali i premi di assicurazione contro le catastrofi naturali erano schizzati alle stelle, il numero delle tempeste nel Nord Atlantico è sceso al di sotto delle previsioni. Se il riscaldamento globale ha un ruolo nel potenziamento dei fenomeni ciclonici, come mai quella stagione è stata così tranquilla?

Accurate analisi degli andamenti meteorologici stanno portando a una spiegazione condivisa sia per le punte di attività del 2004 e del 2005 sia per la stagione stranamente calma del 2006. Sciagu-

ratamente, questa spiegazione fa presagire grossi guai meteorologici a lungo termine.

Un uragano esordisce come una perturbazione atmosferica tropicale che può svilupparsi in un sistema organizzato di tempeste. Se il sistema inizia a ruotare, e i venti superano la velocità di 61 chilometri all'ora, i meteorologi gli attribuiscono un nome. Quando la velocità massima del vento supera i 118 chilometri all'ora, il sistema è detto ciclone tropicale. Il termine «uragano» è usato per le tempeste con queste caratteristiche che si sviluppano nell'Atlantico e nel Pacifico nordorientale; «tifone» è usato nel Pacifico nordoccidentale e il semplice «ciclone» nell'Oceano Indiano. In questo articolo, userò questi termini come sinonimi.

Per stabilire se il riscaldamento globale sta condizionando il numero, le dimensioni o l'intensità degli uragani si deve anzitutto capire come si formano. Negli anni sono stati messi a punto modelli sempre più dettagliati dei meccanismi di formazione degli uragani. Gli uragani hanno bisogno di acqua calda, e la maggior parte di essi si sviluppa appunto ai tropici, dove i raggi solari incidono qua-

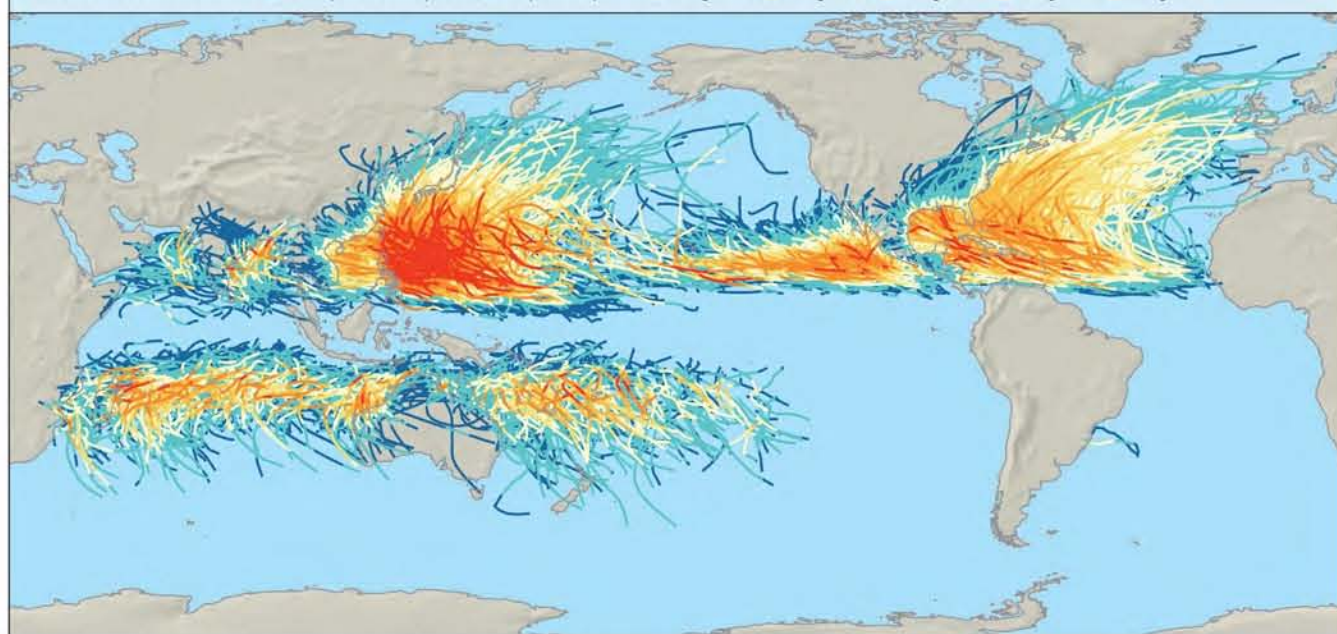
IN SINTESI

- Il riscaldamento globale indotto dalle attività umane sta causando un aumento di temperatura degli oceani e ne sta intensificando l'evaporazione: due fattori che aggravano l'intensità degli uragani.
- Anche un piccolo aumento del calore degli oceani può trasformare più perturbazioni tropicali in uragani, o potenziare una tempesta esistente.
- Il numero di uragani in un anno è comunque molto influenzato dai fenomeni oceanici stagionali noti come El Niño e La Niña, che nel 2006 hanno placato l'attività dei cicloni nell'Atlantico.

Dove imperversano i cicloni

I percorsi e le velocità dei venti di tutte le tempeste tropicali registrate nel settembre 2006 mostrano le regioni a più alto rischio.

INTENSITÀ DELLA TEMPESTA: ■ Bassa pressione tropicale ■ Tempesta tropicale ■ Categoria 1 ■ Categoria 2 ■ Categoria 3 ■ Categoria 4 ■ Categoria 5



CATEGORIE DI URAGANI

(scala Saffir-Simpson)

5 ■ 248 km/h e oltre

4 ■ 209-248 km/h

3 ■ 177-208 km/h

2 ■ 153-176 km/h

1 ■ 118-152 km/h

TEMPESTA TROPICALE

■ 61-117 km/h

BASSA PRESSIONE TROPICALE

■ 60 km/h o meno

UN CICLONE TROPICALE SI CHIAMA...

Uragano nell'Atlantico e nel Pacifico nordorientale e meridionale.

Tifone nel Pacifico nordoccidentale.

Ciclone nell'Oceano Indiano e nella regione australiana.

si perpendicolarmente. L'oceano assorbe gran parte dell'energia in arrivo ed espelle il calore in eccesso soprattutto attraverso l'evaporazione; quando l'umidità che sale condensa in pioggia, rilascia energia latente, riscaldando l'atmosfera. D'inverno i venti trasportano questo calore a latitudini più alte, dove si irradia nello spazio. Ma d'estate l'energia risale ad alta quota principalmente per convezione, rimanendo a latitudini tropicali e dando origine a vari fenomeni, dalle nubi cumuliformi alle tempeste. In certe circostanze, un insieme di tempeste può organizzarsi in un vortice – un uragano – che pompa grandi quantità di calore fuori dall'oceano.

Per dare inizio alla formazione del vortice serve una perturbazione atmosferica, che nel Nord Atlantico in genere ha origine a metà della costa occidentale africana, dove è spesso causata da una differenza di temperatura tra il deserto interno e le regioni montuose costiere ricoperte di foreste. Sono però necessarie anche altre condizioni, come una temperatura della superficie del mare (o SST, *sea-surface temperature*) di oltre 26 gradi, abbondanza di vapore acqueo, bassa pressione alla superficie dell'oceano e un debole *wind shear* (il gradiente della velocità del vento in una data direzione) tra basse e alte quote (un forte *wind shear* tende a distruggere un vortice in formazione).

Poiché la temperatura del mare alla superficie è determinante nella formazione degli uragani, per

capire la distribuzione recente di questi fenomeni era necessario sapere come sono cambiate le SST nel corso degli ultimi decenni, e se il numero, le dimensioni e l'intensità degli uragani fossero cambiati di conseguenza. In caso affermativo, si poteva dire che il contributo del riscaldamento globale fosse decisivo? E che cosa c'era stato di particolare nelle condizioni del 2004 e del 2005 per determinare due stagioni record?

È noto da tempo che l'accumulo dei gas serra riscalda il pianeta e può innalzare le SST, nonché la produzione di vapore acqueo, facendo aumentare il potenziale dell'attività convettiva che dà origine agli uragani. Le domande che si ponevano dopo il 2005 erano se le SST fossero di fatto già aumentate e in quale misura il riscaldamento globale potesse esserne considerato responsabile.

La culla degli uragani

I climatologi non hanno dati certi sul numero degli uragani che si verificavano nel mondo prima del 1970, quando le osservazioni da satellite sono diventate sistematiche. Tuttavia si ritengono attendibili i dati raccolti per il Nord Atlantico a partire dal 1944, da quando cioè ebbe inizio la sorveglianza aerea delle tempeste tropicali. Uno sguardo a questi dati indicava che il numero di tempeste con nome e uragani nel Nord Atlantico è aumentato a partire dal 1994 e che – significativamente

COME SI FORMANO GLI URAGANI

4 CICLONE

L'aria in ascesa diviene più secca a mano a mano che perde umidità e acquista energia. Una parte dell'aria ridiscende nell'occhio e in bande comprese tra tempeste adiacenti; il resto segue una traiettoria a spirale verso l'esterno e discende a molti chilometri di distanza. I cicloni possono far aumentare l'evaporazione dall'oceano, e quindi il raffreddamento, anche di un ordine di grandezza rispetto ai normali alisei, e rimescolano gli strati d'acqua più superficiali producendo alla superficie del mare un abbassamento delle temperature, che può raggiungere anche i cinque gradi.

3 TEMPESTA

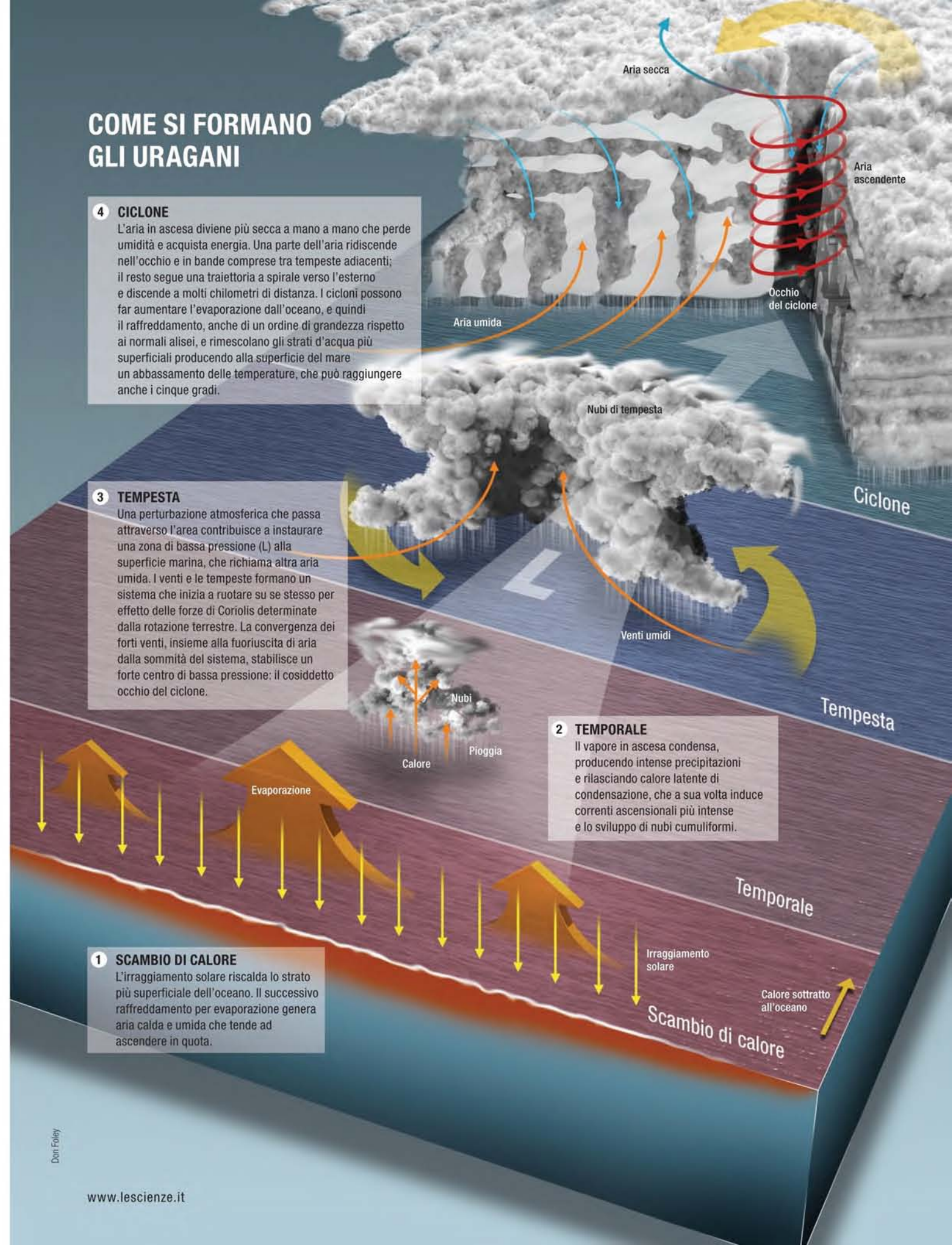
Una perturbazione atmosferica che passa attraverso l'area contribuisce a instaurare una zona di bassa pressione (L) alla superficie marina, che richiama altra aria umida. I venti e le tempeste formano un sistema che inizia a ruotare su se stesso per effetto delle forze di Coriolis determinate dalla rotazione terrestre. La convergenza dei forti venti, insieme alla fuoriuscita di aria dalla sommità del sistema, stabilisce un forte centro di bassa pressione: il cosiddetto occhio del ciclone.

2 TEMPORALE

Il vapore in ascesa condensa, producendo intense precipitazioni e rilasciando calore latente di condensazione, che a sua volta induce correnti ascensionali più intense e lo sviluppo di nubi cumuliformi.

1 SCAMBIO DI CALORE

L'irraggiamento solare riscalda lo strato più superficiale dell'oceano. Il successivo raffreddamento per evaporazione genera aria calda e umida che tende ad ascendere in quota.



Mappino Specialists; fonti: Robert A. Rohde; National Hurricane Center, Joint Typhoon Warning Center

Don Foley

Un cambiamento relativamente contenuto della temperatura dell'oceano può condizionare la potenza di una tempesta



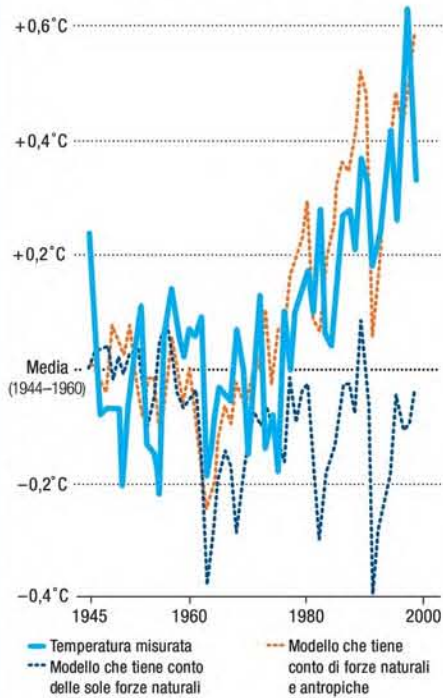
L'AUTORE

KEVIN E. TRENBERTH è a capo della Climate Analysis Section presso il National Center for Atmospheric Research di Boulder, nel Colorado, dove il suo lavoro si concentra sui cicli dell'energia e dell'acqua nel sistema climatico. Originario della Nuova Zelanda, è tra gli autori principali e coordinatori dell'ultimo «Rapporto di valutazione sul cambiamento climatico» del 2007 pubblicato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change. Ha anche rivestito ruoli di punta nel World Climate Research Program, un consorzio di organismi internazionali che opera a Ginevra sotto l'egida delle Nazioni Unite.

Riscaldamento e tempeste

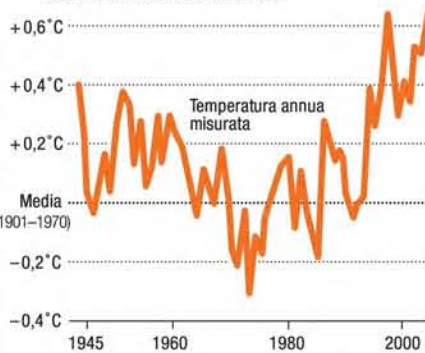
Man mano che le attività umane fanno aumentare la temperatura del pianeta **1**, le temperature della superficie del mare (SST) aumentano **2**, causando più uragani nel Nord Atlantico **3**.

1 LE TEMPERATURE PIÙ ALTE SPIEGANO le variazioni rispetto alla media storica globale



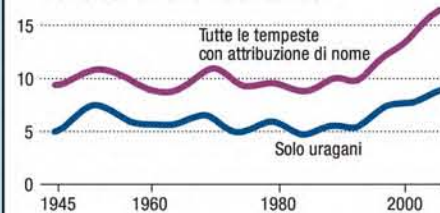
I modelli climatici che includono sia gli effetti dei gas serra prodotti dall'uomo sia i fattori naturali (irraggiamento solare, eruzioni vulcaniche) corrispondono ai cambiamenti di temperatura misurati dal 1970 meglio dei modelli basati unicamente sui fattori naturali.

2 AUMENTO DELLE TEMPERATURE DELLA SUPERFICIE DEL MARE Valori relativi nel Nord Atlantico



Le temperature della superficie marina variano leggermente da un anno all'altro, ma dal 1994 in poi sono state decisamente più alte della media.

3 TEMPESTE IN AUMENTO Numero all'anno nel Nord Atlantico



Dalla metà degli anni novanta il numero di tempeste tropicali con nome e di uragani nel Nord Atlantico è stato alto. (L'osservazione sistematica da aereo delle tempeste è iniziata nel 1944).

– quell'aumento è coinciso con un incremento delle SST in una fascia di latitudine compresa tra circa 10 e 20 gradi nord. Questa fascia di acque tropicali subito a nord dell'equatore, che si estende dall'Africa all'America centrale, è la zona critica di formazione degli uragani.

Alcuni climatologi sostengono che l'aumento delle SST del Nord Atlantico dal 1994 riflette semplicemente la cosiddetta «oscillazione atlantica multidecennale» (AMO, da *Atlantic Multidecadal Oscillation*). Questo fenomeno è un ciclo naturale in cui la temperatura dell'acqua nel Nord Atlantico rimane relativamente bassa per diversi decenni, poi passa a una fase più calda per altri decenni e poi torna ad abbassarsi nuovamente (la massima escursione di temperatura è dell'ordine di 0,5 gradi). Gli esperti pensano che questo andamento dipenda da una variazione delle correnti oceaniche e dalle più

profonde correnti di ritorno. Dagli anni settanta ai primi anni novanta, le SST del Nord Atlantico sono rimaste basse. Da allora, l'AMO è tornata a condizioni più calde, e si sono formati più uragani di quanti non se ne fossero sviluppati durante la fase relativamente più fredda. Eppure i modelli computerizzati indicano che il ciclo AMO non basta a spiegare né la tendenza al rialzo a partire dal 1995 né ciò che è accaduto nel 2005 e nel 2006.

Nell'impossibilità di svolgere esperimenti che alterino le condizioni della Terra, è indispensabile elaborare modelli climatici per riuscire a mettere in evidenza i fattori che influenzano le SST e gli uragani. Questi modelli tentano di riprodurre i più importanti processi fisici, chimici e biologici che influiscono sul clima. Dopo anni di lavoro, i ricercatori del National Center for Atmospheric Research (NCAR) di Boulder, nel Colorado, e di altre istitu-

zioni, hanno messo a punto modelli climatici globali che riproducono in modo ragionevolmente accurato le temperature reali dell'aria e della superficie del mare registrate in tutto il mondo negli ultimi 100 anni. Le simulazioni tengono conto dei cambiamenti di composizione chimica dell'atmosfera, dell'energia proveniente dal Sole e di fattori condizionanti come grandi eruzioni vulcaniche che possono bloccare la radiazione solare tanto da raffreddare il pianeta per un anno o due.

Usando questi modelli, possiamo isolare i cambiamenti causati dall'uomo e valutarne l'impatto. Così facendo, si osserva distintamente che il riscaldamento dell'Atlantico, al di là di della componente ascrivibile all'AMO, è effettivamente avvenuto ed è correlato al riscaldamento atmosferico indotto dalle attività umane. Un recente studio pubblicato da Ben Santer, del Lawrence Livermore National Laboratory, si spinge oltre, giungendo alla conclusione che il riscaldamento nella fascia tropicale oceanica atlantica e pacifica è da ricondurre a incrementi dei livelli di gas serra di origine antropica. Stime autorevoli indicano che le SST globali siano aumentate di circa 0,6 gradi per effetto del riscaldamento globale, in prevalenza a partire dal 1970 circa. Un valore apparentemente piccolo, ma più che sufficiente per condizionare in modo significativo la potenza di una tempesta; durante lo spostamento dell'uragano Katrina nel Golfo del Messico, un aumento o una riduzione di SST di un solo grado fu sufficiente a far variare l'intensità della tempesta di un'intera categoria.

Poiché l'attività di un ciclone tropicale dipende fortemente dalle SST, possiamo concludere che il riscaldamento globale abbia portato a tempeste di maggiore intensità. Nel giugno 2005 ho pubblicato una spiegazione dettagliata di questa correlazione su «Science», e due mesi più tardi Kerry Emanuel del Massachusetts Institute of Technology ha pubblicato su «Nature» le prove osservative dirette, dimostrando che incrementi significativi di intensità e durata dei cicloni in tutto il mondo dal 1970 in poi sono fortemente correlati all'aumento delle SST. Le contestazioni di altri esperti hanno condotto a modeste revisioni delle correlazioni specifiche, ma non alterano le conclusioni complessive. Nel settembre 2005 Peter Webster e colleghi, del Georgia Institute of Technology, hanno pubblicato su «Science» un articolo che mostrava chiaramente un aumento sostanziale a partire dal 1970 sia del numero di uragani di categoria 4 e 5 sia della percentuale di quegli uragani sul totale.

Il record di uragani nel 2004 e nel 2005 è in linea con questi dati. Ma allora, come mai la stagione degli uragani del 2006 è stata così tranquilla?



Durante l'estate del 2005, le SST nella fascia tropicale del Nord Atlantico (la fascia tra 10 e 20 gradi di latitudine nord) erano ai massimi storici. Segnavano 0,92 gradi al di sopra della norma 1901-1970: più di quanto potesse giustificare la fluttuazione AMO sommata al riscaldamento globale. A che cosa attribuire questo fatto? Il principale fattore aggiuntivo era individuabile in una forza all'opera durante la primavera e l'inverno precedenti: El Niño, il fenomeno di riscaldamento del Pacifico tropicale che insorge quando si instaura un accoppiamento tra i flussi oceanici e quelli atmosferici.

Le ragioni della calma

Nell'inverno (dell'emisfero settentrionale) 2004-2005 era in corso un evento El Niño di entità medio-debole. Aveva portato cielo sereno e deboli brezze nell'Atlantico tropicale, dando luogo a un minore raffreddamento per evaporazione, e consentendo quindi all'oceano di riscaldarsi – si stima – di altri 0,2 gradi. Ma El Niño si esaurì prima dell'inizio dell'estate, facendo scendere al minimo il wind shear nell'Atlantico, il che pose un'altra condizione favorevole per la formazione di uragani. Il risultato finale per il 2005 fu che El Niño – oltre all'AMO e al riscaldamento globale – consentì lo sviluppo e la crescita di un numero record di uragani.

Viceversa, La Niña – caratterizzata dal raffreddamento del Pacifico tropicale – ha dominato l'inverno 2005-2006, inducendo nel Nord Atlantico alisei molto più intensi della norma, che hanno estratto calore dall'oceano. Di conseguenza le SST sono rimaste un po' al di sotto della norma, o comunque intorno ai livelli normali, nella stagio-

GRETN, LOUISIANA: un sobborgo di New Orleans colpito dall'uragano Katrina.

I CICLONI PIÙ GRAVI

Il più costoso: Katrina, Costa del Golfo, 2005; danni per oltre 100 miliardi di dollari

Il più letale: Bhola, Delta del Gange, 1970; oltre 300.000 vittime

Il più intenso all'arrivo a terra: Camille, Costa del Golfo, 1969; massima velocità protratta del vento di 306 km/h

Il più lungo: John, Oceano Pacifico, 1994; durata di 31 giorni

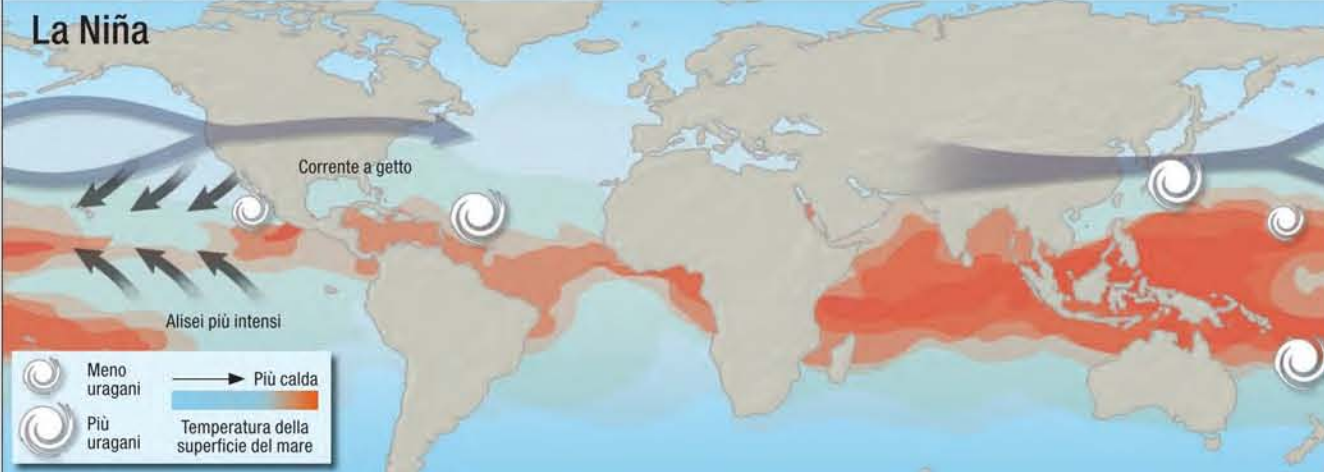
Il più vasto: Tip, Oceano Pacifico, 1979; diametro di 2200 chilometri

Ecco perché la calma del 2006

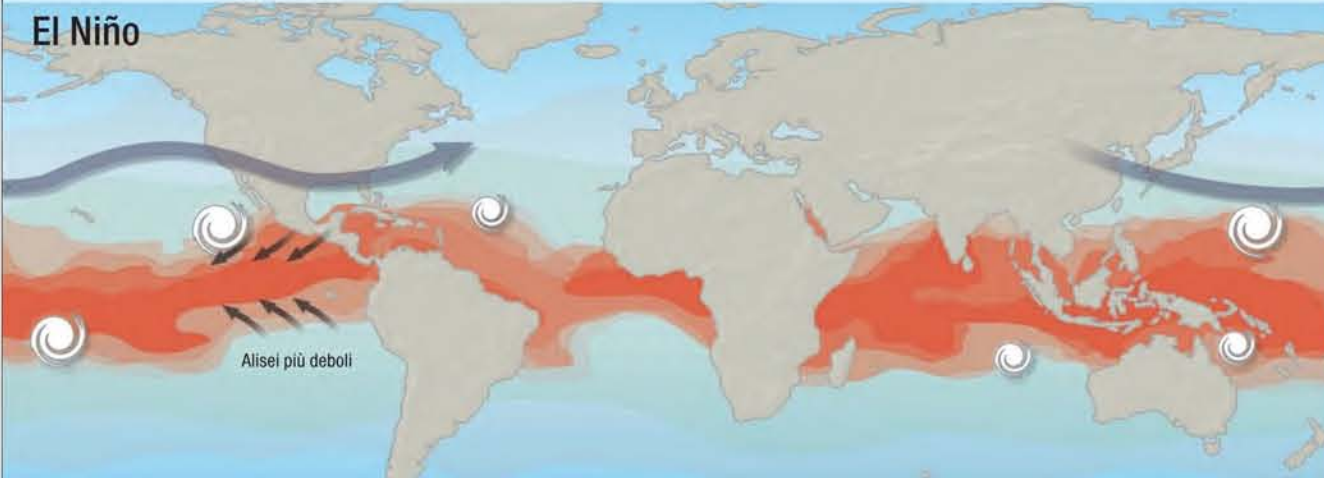
Al di là della temperatura più elevata degli oceani, gli accoppiamenti transitori tra atmosfera e oceano possono influenzare il numero di uragani che si formano in un dato anno. Se si verifica un evento di La Niña durante un inverno dell'emisfero settentrionale e poi si hanno alisei primaverili più intensi della norma nel Pacifico orientale, viene estratto più calore dall'oceano, facendo diminuire l'energia potenziale per lo sviluppo di tempeste in quella regione oceanica. Non solo: il fenomeno divide la corrente a getto del Pacifico e trattiene il ramo che si dirige

sull'Atlantico a una latitudine maggiore, permettendo agli uragani che si formano al largo delle coste africane di avanzare verso i Caraibi. Questo meccanismo ha contribuito in parte a determinare la stagione record di uragani nel 2005. Se invece si instaura un El Niño durante la primavera e l'estate, la corrente a getto piega più verso sud sul continente nordamericano, determinando wind shear maggiori che tendono a distruggere le tempeste nascenti nell'Atlantico. Queste condizioni hanno fatto sì che nel 2006 si sviluppassero meno uragani.

La Niña



El Niño



ne degli uragani del 2006. Inoltre durante l'estate 2006 ha cominciato a formarsi un nuovo El Niño, contribuendo a un maggiore wind shear nell'Atlantico. Le SST più basse e il wind shear poco favorevole hanno mutato sostanzialmente le condizioni dell'Atlantico tropicale da quelle della stagione record 2005 a quelle della tranquilla stagione 2006. Per quanto ora esista complessivamente un nuovo sfondo di SST più alte, le variabilità annuali si sovrappongono su quello sfondo, e in ogni dato anno possono avere un effetto preponderante.

Precipitazioni più torrenziali

Queste conclusioni, naturalmente, sono affidabili nella misura in cui lo sono le osservazioni e i modelli da cui vengono tratte. Per simulare e prevedere gli uragani, all'NCAR usiamo il *Weather Research and Forecasting model*, che segmenta i dati climatici mondiali in una griglia con nodi distanziati di quattro chilometri, vale a dire con una risoluzione molto più alta delle simulazioni effettuate dal National Weather Service degli Stati Uniti. Sappiamo di poterci fidare dei nostri modelli perché hanno ri-

prodotto molto bene le caratteristiche di tempeste reali quando in essi sono stati introdotti dati reali, in particolare le traiettorie di uragani avvenuti nel 2004 e nel 2005. Quando abbiamo immesso i dati SST relativi ai giorni in cui Katrina si è spostato sul Golfo del Messico, l'uragano simulato si avvicinava molto alla traiettoria di quello reale.

Rassicurati da questi risultati, abbiamo anche tentato di capire come le SST elevate condizionino la quantità di precipitazioni piovose degli uragani. Nel caso di Katrina, un incremento di un grado nella SST ha fatto aumentare il vapore acqueo nell'atmosfera del sette per cento circa. Anche i venti di punta sono aumentati di intensità, trasportando più umidità nella tempesta e intensificando a loro volta l'evaporazione. Insieme, gli effetti dell'incremento di SST di un grado hanno fatto aumentare le precipitazioni del 19 per cento entro 400 chilometri di raggio dall'occhio del ciclone del modello.

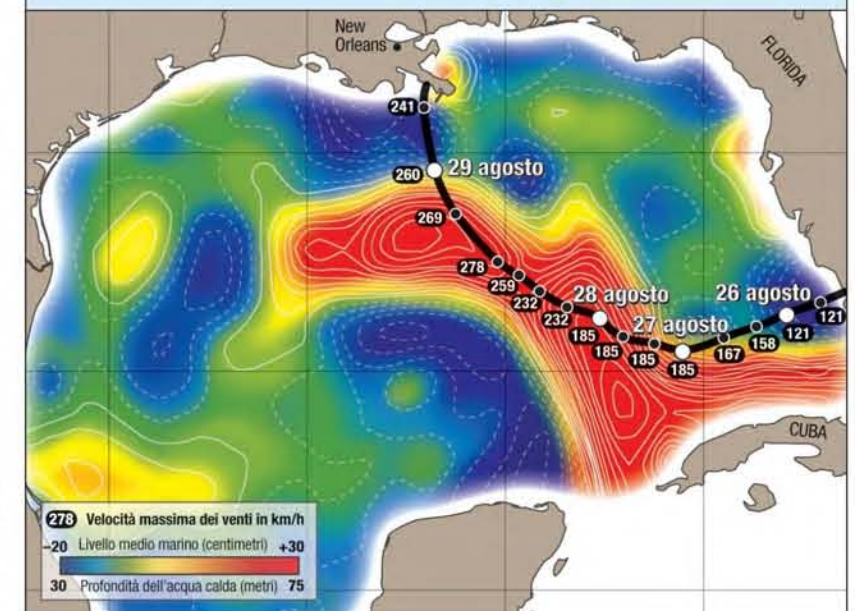
È quindi lecito affermare che il riscaldamento globale fa aumentare le precipitazioni di un ciclone. L'aumento delle SST di 0,6 gradi verificatosi dal 1970 per effetto del riscaldamento globale implica che il cambiamento climatico ha accresciuto il livello di vapore acqueo nell'atmosfera del quattro per cento negli ultimi 37 anni. In linea con questi calcoli, i rilevamenti da satellite hanno osservato un incremento effettivo del due per cento solo dal 1988. Ricordiamo che in un ciclone il vapore acqueo in più condensa, cedendo calore latente. La maggiore quantità di calore, a sua volta, fa sì che salga in quota una massa d'aria più cospicua, richiamando venti più intensi verso il centro del sistema. Un aumento del quattro per cento del vapore acqueo può indurre una crescita dei tassi di precipitazione dell'otto per cento. In base a questi calcoli, si potrebbe dire che sui 30 centimetri di pioggia riversati da Katrina su New Orleans, circa 2,5 centimetri (l'otto per cento) sono attribuibili al riscaldamento globale.

Guai in vista

Sia le osservazioni sia la teoria indicano che gli uragani stanno diventando più intensi in concomitanza con il riscaldamento progressivo della Terra. Ma è difficile dire se si debba attendere un aumento in assoluto del numero dei cicloni, perché le tempeste tropicali sono più efficienti dei temporali medi nel sottrarre calore all'oceano. È quindi possibile – e perfino probabile – che si formino meno cicloni quando quelli che si sviluppano sono più grandi e più intensi. Una volta esauritasi, una forte tempesta si lascia alle spalle un oceano più freddo, e quindi fa diminuire la probabilità che, almeno nell'immediato, si formino tempeste ulteriori.

L'acqua calda potenzia le tempeste

Un ciclone rimescola gli strati d'acqua superficiali dell'oceano, fino a 100 metri di profondità. Dopo avere attraversato la Florida il 26 agosto 2005, l'uragano Katrina era appena di categoria 1. Ma si agganciò a un profondo bacino di acqua calda, detto *loop current* (in rosso), che aveva perfino determinato un sollevamento della superficie oceanica. Questa immensa riserva di energia termica, rimescolandosi, ha ceduto calore a Katrina potenziandolo fino alla categoria 5 in meno di tre giorni.



Permangono i dubbi sull'attendibilità dei dati sulle tempeste raccolti in passato. Alcuni ritengono che siano troppo inconsistenti per portare a conclusioni certe. Altri pensano che i dati siano solidi per il Nord Atlantico (almeno dal 1944), ma meno sicuri per quanto riguarda il Pacifico. Sarebbe utile rielaborare tutti i dati da satellite con tecniche moderne, per ricavarne informazioni più affidabili sul passato. La disponibilità di computer più potenti e veloci consentirà un ulteriore miglioramento dei modelli, e così pure le nuove conoscenze raccolte da più vasti esperimenti sul campo.

In tutti i casi, una documentazione in costante miglioramento indica che il riscaldamento globale sta facendo aumentare le temperature della superficie marina, ed è probabile che questo aumento intensifichi gli uragani. Nel suo rapporto di maggio, l'Intergovernmental Panel on Climate Change afferma che ci sono prove basate sull'osservazione di un aumento di attività di intensi cicloni tropicali nel Nord Atlantico a partire dal 1970 circa, in correlazione con incrementi delle temperature della superficie marina ai tropici. Sarebbe quindi saggio prepararci all'eventualità di uragani più estremi di quelli a cui abbiamo assistito finora. ■

Letture

Divine Wind: The History and Science of Hurricanes. Kerry Emanuel, Oxford University Press, 2005.

Increasing destructiveness of Tropical Cyclones over the past 30 Years. Kerry Emanuel, in «Nature», Vol. 436, pp. 686-688, 4 agosto 2005.

Changes in Tropical Cyclone Number, Duration and Intensity in a Warming Environment. P.J. Webster, G.J. Holland, J.A. Curry e H.-R. Chang, in «Science», Vol. 309, pp. 1844-1846, 16 settembre 2005.

Atlantic Hurricanes and Natural Variability in 2005. Kevin E. Trenberth e Dennis J. Shea, in «Geophysical Research Letters», Vol. 33, n. 12, giugno 2006.