

El Niño

Si è visto che questo riscaldamento anomalo delle acque superficiali del Pacifico equatoriale, che influenza le condizioni meteorologiche su scala planetaria, è associato a una vasta fluttuazione della pressione atmosferica

di Colin S. Ramage

Se, da un lato, fra tutte le scienze ambientali, la meteorologia è quella che ha l'incidenza più immediata sulla società, dall'altro è la richiesta sociale di previsioni meteorologiche a esercitare un'influenza-guida sulla ricerca meteorologica. Un esempio in proposito è il campo delle previsioni stagionali, per il quale il pubblico ha un notevole interesse, ma che non ha fornito finora risultati migliori di quelli che si avrebbero da congetture fondate su una buona informazione. Questo insuccesso, del resto, non sorprende affatto. Dato che eventi meteorologici come l'arrivo di una perturbazione possono essere previsti con soli tre-cinque giorni di anticipo, che cosa mai può autorizzarci a pensare alla possibilità di prevedere con mesi di anticipo un andamento meteorologico stagionale quando si sa che questo è il prodotto di eventi singoli? Eppure la domanda di questo tipo di previsioni è tanto forte da indurre i meteorologi a perseverare nel loro tentativo.

In quest'impresa, i meteorologi cercano modi di ovviare alla loro incapacità di fare previsioni a lungo termine di singoli eventi meteorologici. In particolare, essi ricercano variazioni su vasta scala, addirittura globale, della circolazione atmosferica in grado di esercitare un'influenza sulle condizioni del tempo su scala regionale. Alla base di quest'impostazione c'è l'assunto che, se si riusciranno a capire gli antecedenti e gli effetti di variazioni su vasta scala, questi potranno essere utilizzati come guide approssimative nella previsione del futuro meteorologico.

La guida di gran lunga più rilevante (e promettente) finora osservata è *El Niño*, un riscaldamento anomalo dell'acqua superficiale nel Pacifico equatoriale. *El Niño* si presenta a intervalli irregolari in congiunzione con la Southern Oscillation, l'oscillazione australe, una massiccia fluttuazione della pressione atmosferica fra il Pacifico tropicale sudorientale e quello occidentale. Entrambi i fenomeni sono noti da decenni a oceanografi e meteorologi. Poiché si riscontrano in una delle regioni del

globo meno densamente popolate, essi hanno interessato per molto tempo solo pochi ricercatori e sarebbero rimasti oscuri se non si fosse scoperto che sono connessi alla meteorologia di altre regioni, fra le quali gli Stati Uniti. Per esempio, durante l'evento di *El Niño* e dell'oscillazione australe del 1982-1983, la California fu flagellata da inondazioni, mentre si intensificò la siccità in Africa. La scoperta di questa connessione su scala planetaria lasciò intendere che le anomalie oceaniche e atmosferiche del Pacifico equatoriale potevano essere la chiave per accurate previsioni meteorologiche stagionali in altre regioni. Benché questa promessa non sia stata ancora del tutto mantenuta, la spinta a tentare previsioni ha già fatto progredire nella comprensione delle anomalie.

La definizione delle anomalie

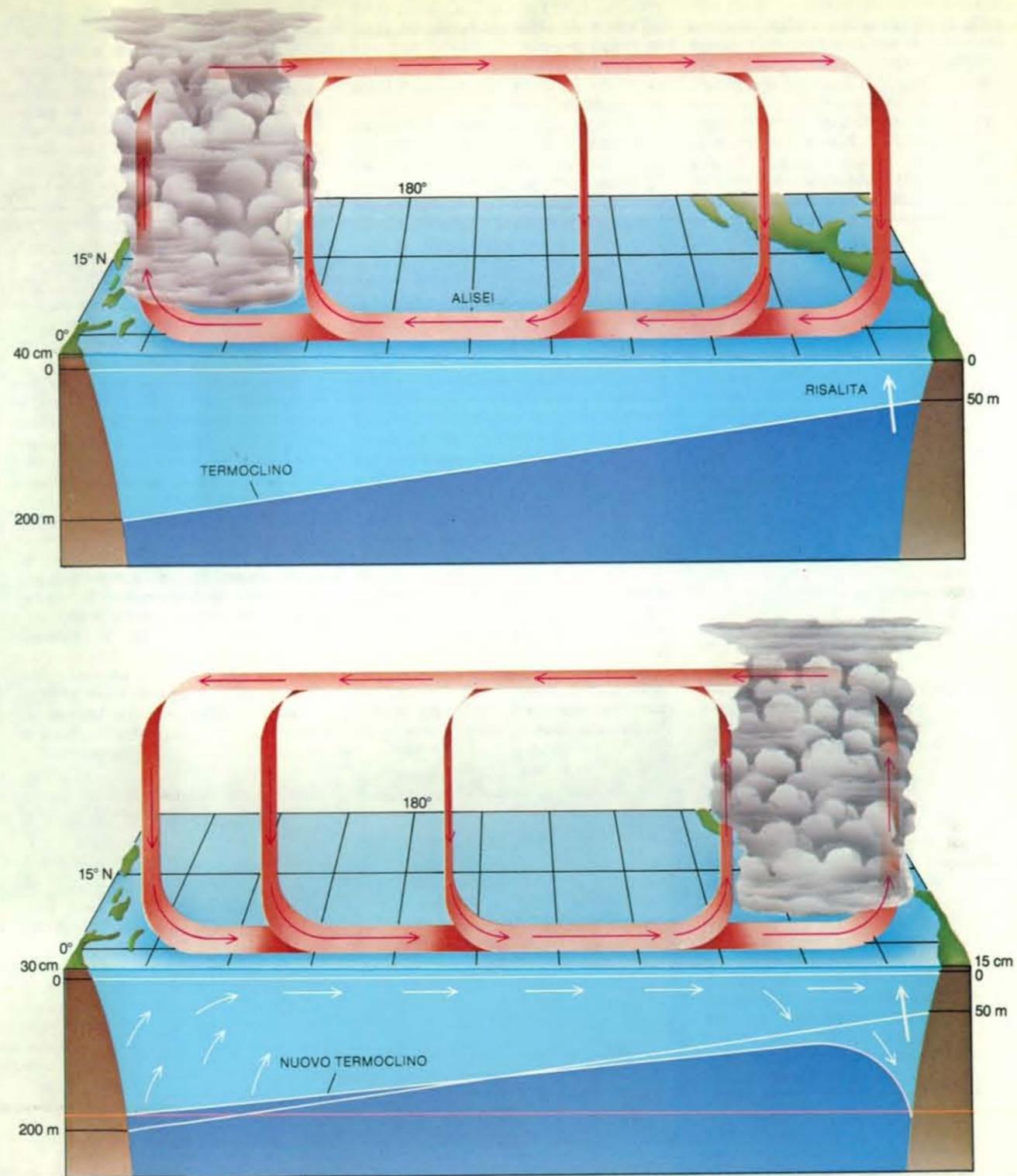
Da più di un secolo con il nome «*El Niño*», il termine con cui in spagnolo si indica il Bambin Gesù, i pescatori chiamano l'apparizione annuale, verso Natale, di acqua calda al largo della costa dell' Ecuador e del Perù settentrionale. Di solito, la superficie dell'oceano in quelle zone è piuttosto fredda, rispetto alle acque equatoriali tipiche, a causa della Corrente del Perù (o Corrente di Humboldt), che è diretta verso nord e spinge l'acqua superficiale al largo della costa, determinando la risalita di acqua fredda. L'acqua fredda è ricca di sostanze nutritive, principalmente fosfati e nitrati, che alimentano il fitoplancton e che, in definitiva, sono alla base della pesca dell'acciuga peruviana, la più ricca del mondo. Quando, verso Natale, una corrente di acqua calda diretta verso sud soppianta l'acqua fredda, riducendo la risalita di sostanze nutritive, la pesca subisce una flessione, per quanto lieve. Questo riscaldamento dell'acqua superficiale non si estende più a sud del Perù settentrionale e di solito ha termine in marzo o in aprile.

Di tanto in tanto, però, accade che *El Niño* sia molto più intenso, più esteso e più prolungato. Anziché ridiscendere a valori

normali in marzo o in aprile, lungo tutta la costa del Perù e nel Pacifico equatoriale orientale e centrale, le temperature alla superficie dell'oceano continuano a salire e possono restare elevate per più di un anno. *Niños* relativamente così intensi furono osservati nel 1953, nel 1957-1958, nel 1965, nel 1972-1973, nel 1976-1977 e, più recentemente, nel 1982-1983, quando la temperatura alla superficie dell'oceano, al largo del Perù, salì di oltre sette gradi Celsius. A partire dal 1972 l'incidenza cumulativa, esercitata dagli eventi sulla pesca dell'acciuga peruviana, è stata catastrofica: il pescato annuale diminuì da un massimo di 12 milioni di tonnellate nel 1970 a meno di 500 000 tonnellate nel 1983. Attualmente, in ambienti scientifici, il termine «*El Niño*» si applica in generale solo a questi eventi particolarmente intensi, e non al riscaldamento annuale, relativamente modesto (fra uno e due gradi centigradi), della superficie dell'oceano.

Il primo passo importante verso la comprensione di *El Niño* fu compiuto nel 1966 da Jacob Bjerknes dell'Università della California a Los Angeles il quale osservò che l'anomalo riscaldamento dell'oceano è associato all'oscillazione australe. Questa, osservata per la prima volta nel 1924 da Sir Gilbert Walker, è una connessione transpacificica di sistemi di pressione atmosferica. Quando la pressione aumenta nel sistema di alta pressione, incentrato sull'isola di Pasqua, scende nel sistema di bassa pressione sull'Indonesia e sull'Australia settentrionale, e viceversa. Per quantificare il fenomeno, Walker definì l'indice di oscillazione australe, che viene calcolato sottraendo la pressione nel Pacifico occidentale da quella nel Pacifico orientale. L'indice è positivo quando la differenza fra est e ovest è più alta rispetto alla norma, e negativo quando essa è più bassa.

Le cause dell'oscillazione australe non sono note. Le spiccate fluttuazioni cui va incontro su periodi di anni, fluttuazioni che sono associate a diffusi scostamenti da condizioni normali di temperatura e di precipitazioni, la rendono interessante dal



El Niño è una manifestazione della Southern Oscillation, l'oscillazione australe, fluttuazione della pressione atmosferica fra un centro di alta pressione nel Pacifico sudorientale e un centro di bassa pressione sull'Indonesia e sull'Australia settentrionale. In condizioni normali (*in alto*), la differenza di pressione fra questi due centri spinge gli alisei orientali lungo l'equatore. I venti provocano un accumulo di acqua calda e fanno salire di circa 40 centimetri il livello nel Pacifico occidentale. Essi provocano inoltre un abbassamento del termocline, cioè del limite tra l'acqua calda superficiale e gli strati sottostanti freddi, sino a una profondità di circa 200 metri. Davanti all'America Meridionale dove gli alisei spingono l'acqua superficiale al largo della costa, il termocline è poco profondo e si ha una risalita di acqua fredda. In prossimità dell'Indonesia gli alisei

convergono con i venti occidentali, provocando l'ascesa dell'aria e abbondanti precipitazioni piovose. L'aria fluisce verso est ad altezze elevate, scendendo poi nel Pacifico centrale e orientale, dove il clima è asciutto. Durante *El Niño* (*in basso*) la differenza di pressione tra est e ovest diventa così piccola che gli alisei subiscono una caduta nel Pacifico occidentale. L'acqua calda qui accumulata torna a scorrere verso est; nello stesso tempo onde subsuperficiali, le «onde di Kelvin», attraversano il Pacifico e fanno aumentare la profondità del termocline al largo dell'America Meridionale, dove l'acqua in risalita si riscalda. Entrambi gli effetti provocano il riscaldamento della superficie dell'oceano. Durante *El Niño* più recente (1982-1983), il più grave durante un secolo, le direzioni dei venti e quindi l'andamento meteorologico si sono invertiti.

punto di vista delle previsioni meteorologiche stagionali. Per esempio, lo stesso Walker aveva notato che in India le piogge monsoniche estive tendono a scarseggiare quando l'indice dell'oscillazione australe è basso e a essere abbondanti quando esso è alto. Quarant'anni dopo, Bjerknes si rese conto che anche El Niño è associato a un indice basso: comincia quando l'indice scende da alti valori e raggiunge il culmine quando l'indice è ai valori minimi. Così El Niño del 1972-1973, che causò danni gravissimi alla pesca dell'acciuga peruviana, coincise con uno dei valori più bassi mai raggiunti dall'indice e fu associato a una grave siccità in India. La siccità colpì anche l'Unione Sovietica, la nuova Guinea e le Hawaii, mentre Perù, Filippine e California furono colpite da gravi inondazioni.

È chiaro quindi che gli effetti di un evento El Niño-oscillazione australe (che per brevità chiamerò d'ora in poi semplicemente El Niño) si avvertono ben oltre il Pacifico equatoriale. Poiché El Niño del 1972-1973 fu rilevato subito dopo il suo inizio, i ricercatori furono incoraggiati a pensare che quelli futuri e i loro effetti globali sulla meteorologia sarebbero stati prevedibili con un anticipo di mesi.

El Niño canonico

Alla metà degli anni settanta era emersa una visione, generalmente condivisa, della sequenza di eventi che precedono e accompagnano El Niño. La sequenza, che divenne nota come «El Niño canonico», si fondava sulla descrizione data da Bjerknes dell'oscillazione australe e su un modello della circolazione oceanica messo a punto da Klaus Wyrtki dell'Università di Hawaii a Honolulu. I modelli stessi erano derivati dallo studio dei valori medi mensili di variabili come la pressione atmosferica, la velocità e la direzione del vento e la temperatura della superficie dell'oceano, misurate in vari punti del Pacifico durante i Niños del 1957-1958, del 1965 e del 1972-1973.

La descrizione canonica di El Niño si accentra sul comportamento dei venti alisei sul Pacifico tropicale. Nel Pacifico centrale e orientale gli alisei formano parte della circolazione attorno a due sistemi persistenti di alta pressione, il sistema di alta pressione del Pacifico meridionale, centrato in prossimità dell'Isola di Pasqua, e il sistema di alta pressione del Pacifico settentrionale, centrato al largo della California. Attorno ai centri di alta pressione la circolazione è anticiclonica: in senso orario nell'emisfero boreale e in senso antiorario nell'emisfero australe. Di conseguenza gli alisei soffiano verso l'equatore sia lungo le coste dell'America Settentrionale sia lungo quelle dell'America Meridionale. Gli alisei di nord-est e di sud-est si incontrano nella cosiddetta zona di convergenza intertropicale, che in generale si sposta fra quattro gradi nord di latitudine in aprile e otto gradi nord in settembre. Poiché El Niño (per ragioni che non sono del tutto chiare) comincia in

prossimità dell'equatore, nel ciclo di El Niño sono particolarmente importanti gli alisei di sud-est.

Lungo la costa sudamericana gli alisei di sud-est alimentano la Corrente di Humboldt spingendo l'acqua superficiale verso il largo e permettendo la risalita in superficie di acqua fredda, ricca di sostanze nutritive. La spinta verso occidente degli alisei continua attraverso il Pacifico orientale e centrale. Secondo il modello di Wyrtki, la sollecitazione che ne risulta sulla superficie dell'oceano solleva il livello del Pacifico occidentale. In effetti, l'acqua si accumula verso occidente. L'acqua accumulata fa aumentare la profondità dello strato superficiale caldo dell'oceano; in altri termini, essa fa abbassare il termoclino, ossia il confine fra lo strato superficiale di acqua ben rimescolata e gli strati più profondi più freddi. (Il termoclino non è in realtà un confine netto, bensì una zona stabile in cui si ha un forte gradiente termico verticale.) Mentre al largo della costa sudamericana il termoclino comincia a una profondità di soli 50 metri (e questo spiega perché l'acqua che sale sia fredda), nel Pacifico occidentale esso comincia a una profondità di circa 200 metri.

In definitiva, anche gli stessi alisei di sud-est sono alimentati dal gradiente di pressione fra il sistema di alta pressione del Pacifico meridionale e il sistema di bassa pressione sopra l'Indonesia e l'Australia. Perciò l'indice di oscillazione australe, che rappresenta la differenza di pressione fra questi due sistemi, è anche una misura dell'intensità dei venti. Quando l'indice è alto,

il gradiente di pressione è forte e i venti sono intensi.

El Niño è annunciato da una drastica diminuzione dell'indice e da una corrispondente caduta degli alisei nel Pacifico occidentale. Questa ha inizio in genere verso ottobre. Non più sostenuta dai venti, l'acqua calda accumulata nel Pacifico occidentale rifluisce verso est, con un aumento del livello dell'oceano a est della Linea del cambiamento di data (che nei pressi dell'equatore segue il meridiano dei 180 gradi di longitudine). Il flusso assume la forma di onde subsuperficiali, le onde di Kelvin. Tali onde si propagano lungo l'equatore, raggiungendo in capo a due o tre mesi la costa sudamericana. Esse hanno due effetti: generano correnti anomale verso est e fanno abbassare il termoclino.

Entrambi gli effetti tendono a riscaldare la superficie dell'oceano, il primo apportando fisicamente acqua calda da occidente e il secondo impedendo la risalita di acqua fredda dal termoclino o dalla zona a esso sottostante. Quest'ultimo effetto è quello più importante, ed è particolarmente significativo al largo dell'America Meridionale, dove il termoclino è di solito poco profondo. Qui la superficie dell'oceano comincia a riscaldarsi in dicembre o in gennaio, quando le prime onde di Kelvin raggiungono la costa. A questo punto non è ancora chiaro, di solito, se il riscaldamento faccia parte del normale ciclo annuale o se stia avendo inizio un vero Niño.

Quando si sviluppa un Niño, gli alisei continuano a indebolirsi in prossimità dell'Indonesia e vengono infine sostituiti da

venti occidentali di superficie. Questi venti danno origine a onde di Kelvin intensificate, che provocano un ulteriore abbassamento del termoclino al largo dell'America Meridionale. Benché lungo la costa sudamericana gli alisei di sud-est non cadano e continuano quindi a determinare una risalita di acqua profonda, questa adesso non è più fredda, ma calda (e povera di sostanze nutritive). Di conseguenza, la corrente oceanica occidentale al largo della costa equatoriale del Sudamerica non solo è indebolita dalla spinta verso est delle onde di Kelvin, ma è anche molto più calda che in precedenza. Il riscaldamento della superficie oceanica comincia perciò a diffondersi verso ovest lungo l'equatore; nel Pacifico orientale e centrale, dove la superficie viene di solito anche raffreddata da una risalita di acque profonde, causata dal vento, esso è reso più intenso da una reale diminuzione di tale risalita, poiché gli alisei in quest'area diventano significativamente più deboli.

Durante El Niño può aversi in effetti un'inversione completa, lungo l'equatore, dell'andamento dei venti. Normalmente, quando gli alisei orientali raggiungono l'equatore, spirano lungo di esso, trasportando aria progressivamente più calda e più umida verso il sistema di bassa pressione situato sull'Indonesia, dove convergono con i venti occidentali di superficie. L'aria calda sale, l'umidità si condensa e cadono abbondanti piogge. L'aria, privata della sua umidità, fluisce verso est nella troposfera superiore (a quote comprese fra 9000 e 12 000 metri), si raffredda e poi

scende sul Pacifico equatoriale centrale e orientale, dove il tempo è in generale soleggiato e secco.

Secondo il modello di Wyrtki, la direzione del flusso in questa cella di circolazione è invertita durante El Niño per effetto di una retroazione positiva fra atmosfera e superficie dell'oceano. I venti occidentali di superficie che si sviluppano a est dell'Indonesia, danno origine a onde di Kelvin che riscaldano il Pacifico centrale. Poiché, al di sopra dell'acqua calda, l'aria sale, la superficie oceanica anormalmente calda attrae verso est il ramo ascendente della cella di circolazione. Fanno seguito i venti occidentali, che intensificano le onde di Kelvin e ne generano altre. Infine, il ramo ascendente si sposta nel Pacifico centrale e orientale, producendo abbondanti precipitazioni piovose in quella regione normalmente secca. (Nel Niño estremo del 1982-1983, la regione di aria ascendente si estese fino alla costa sudamericana.) Nella troposfera superiore l'aria, anziché muoversi verso est, si muove verso ovest e discende sull'Indonesia, dove provoca un clima insolitamente secco.

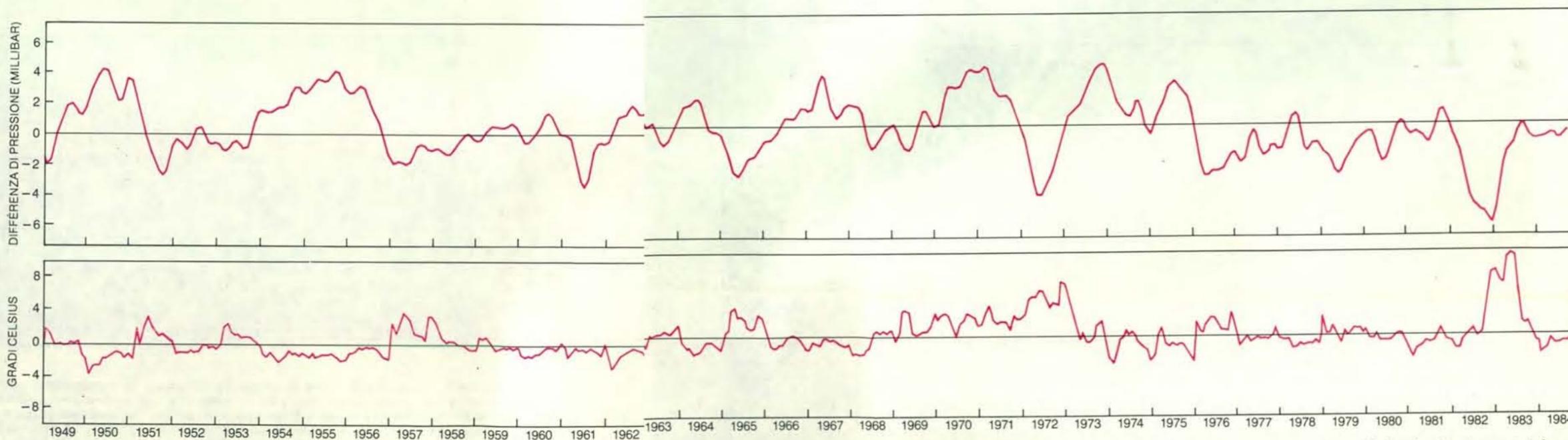
Da giugno ad agosto El Niño si attenua temporaneamente, e due o tre mesi dopo la superficie dell'oceano, al largo dell'America Meridionale, si raffredda. Poi, verso la fine dell'anno, si ha un altro periodo di riscaldamento, subito dopo che l'indice dell'oscillazione australe sale e gli alisei orientali riprendono vigore. In marzo o in aprile, una quindicina di mesi dopo l'inizio di El Niño, le condizioni nel Pacifico equatoriale sono tornate in gran parte normali.

Le previsioni

Benché ogni Niño presenti differenze rispetto alla sequenza canonica, è sembrato a prima vista che quelli studiati in maniera più approfondita avessero sufficienti analogie e segni precursori in comune da consentire la previsione di Niños futuri. In particolare, Wyrtki ha suggerito che, prima che una caduta dei venti potesse dare inizio a El Niño, l'indice dell'oscillazione australe sarebbe dovuto aumentare e i venti alisei si sarebbero dovuti intensificare, accumulando acqua nella zona del Pacifico occidentale. Il modello di Wyrtki si fonda in gran parte su El Niño del 1972-1973, che in effetti aveva soddisfatto i presupposti da lui specificati.

L'idea che alisei più forti del normale fossero un segno attendibile per prevedere un Niño si consolidò ulteriormente con le ricerche di Eugene M. Rasmusson e T. H. Carpenter del Climate Analysis Center della National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Per tutti i Niños osservati fra il 1949 e il 1973, questi ricercatori prepararono diagrammi composti delle anomalie, basandosi sull'assunto che, facendo una media complessiva dei valori osservati per periodi comparabili di Niños diversi, si potessero mettere in evidenza i segni precursori comuni rispetto al rumore di fondo di differenze casuali fra i vari eventi. Nel Pacifico occidentale, negli ultimi mesi prima dell'inizio di un Niño, forti venti alisei emersero come uno dei segni precursori più significativi.

Ma prima ancora che Rasmusson e



Registrazioni storiche dell'indice di oscillazione australe (in alto) e degli scostamenti dai valori medi mensili normali della temperatura alla superficie dell'oceano (in basso), rilevata a Puerto Chicama in Perù (a 7,7 gradi sud), dimostrano come le due variabili siano connesse, anche se in modo non perfetto. L'indice di oscillazione australe si calcola sottraendo la pressione atmosferica in superficie a Darwin, in Australia, dalla pressione all'isola di Pasqua. Quando l'indice è positivo, il gradiente di pressione est-ovest è maggiore del normale e i venti alisei sono più intensi; inversamente, un indice negativo indica alisei deboli. La curva relativa alla differenza di pressione

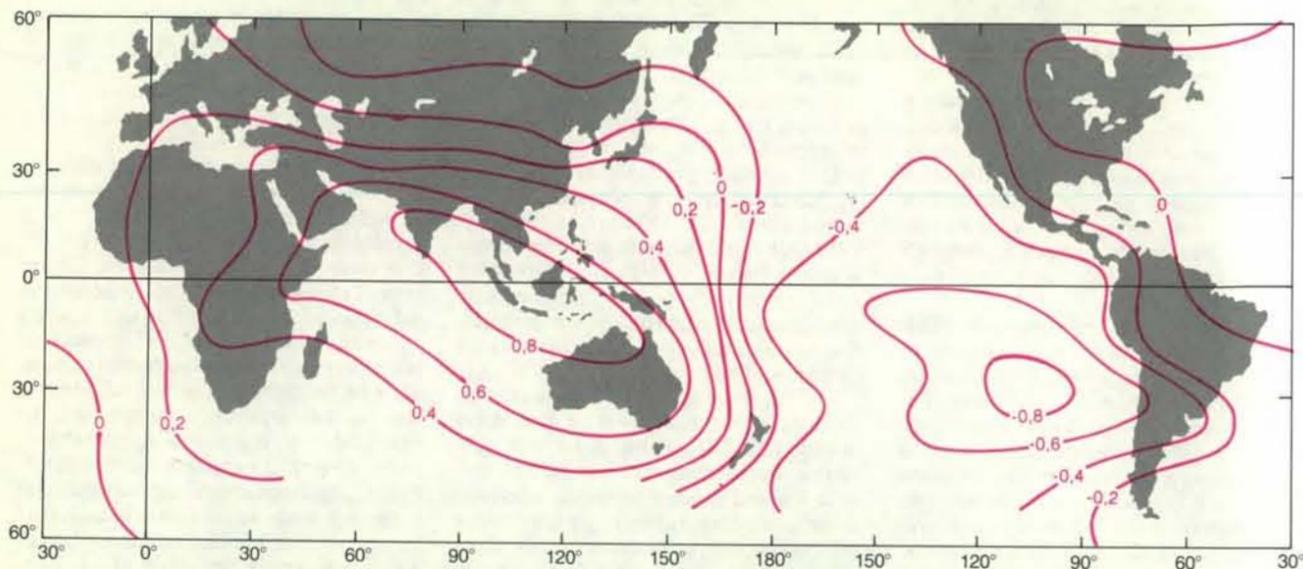
si basa su medie mensili della pressione in superficie ed è stata perequata statisticamente. Secondo un'analisi di queste due variabili e di altre, eseguita da William H. Quinn della Oregon State University, forti Niños hanno avuto luogo nel 1957-1958, nel 1972-1973 e nel 1982-1983. Niños moderati si sono avuti nel 1953, nel 1965 e nel 1976-1977. A eccezione dell'evento del 1982, iniziato ad anno avanzato, il riscaldamento anomalo dell'acqua superficiale al largo del Perù comincia

di solito attorno a marzo, dopo che l'indice di oscillazione australe è sceso da valori positivi e gli alisei si sono indeboliti. Più avanti nell'anno, la superficie dell'oceano si raffredda; poi il riscaldamento riprende, toccando massimi nei primi mesi dell'anno successivo. Alcuni Niños, come quello del 1972-1973, sono stati preceduti da un intensificarsi degli alisei. Un periodo ventoso nel 1974 non è stato però seguito da un Niño e l'evento del 1982 ha avuto inizio senza un rinvigorirsi del vento.

Carpenter avessero realizzato i loro diagrammi compositi, El Niño del 1976-1977 - o, piuttosto, l'assenza di un Niño nel 1975 - aveva retrocesso l'intensificazione degli alisei da condizione necessaria a condizione sufficiente. Nel 1974 l'indice di oscillazione australe salì e gli alisei si rafforzarono. Si attese allora un Niño per il 1975, ma non si sviluppò alcuna anomalia; anzi, dopo una diminuzione iniziale,

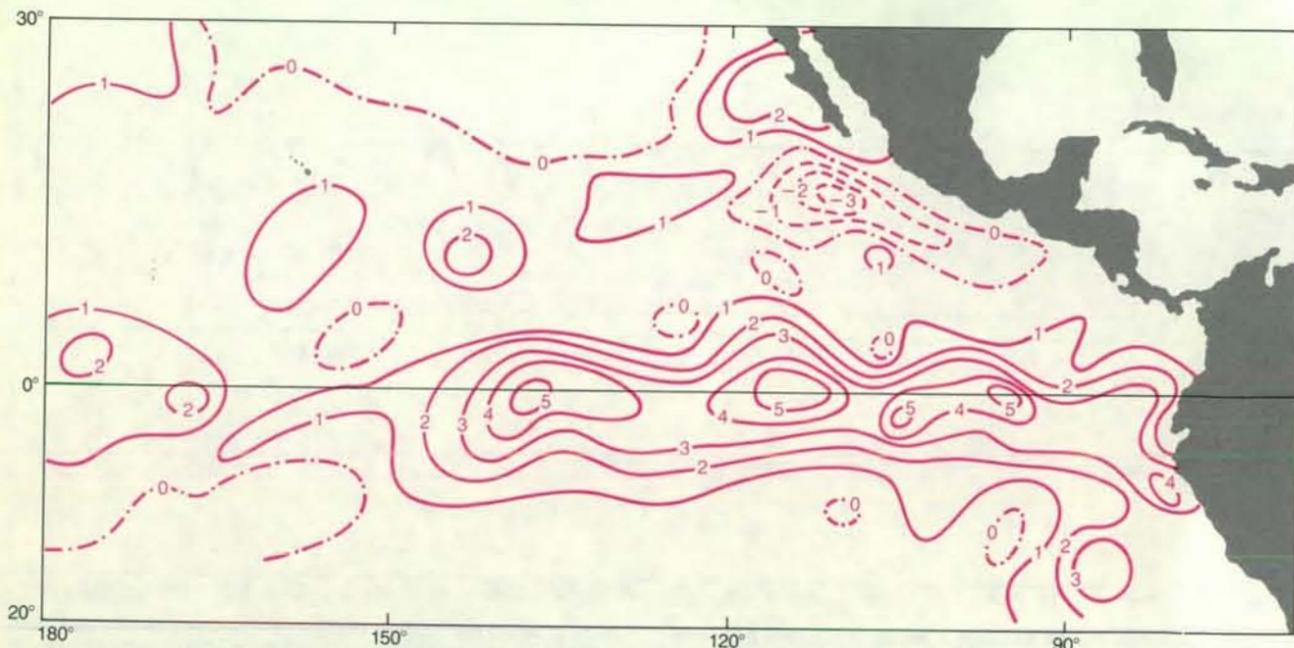
l'indice tornò a salire. Infine, nel 1976 esso scese e vi fu un Niño moderato. El Niño seguente, nel 1982-1983, fu ancor più pregiudizievole all'idea che alisei intensi costituissero un valido segno precursore. Dopo il 1976 il termocline al largo della costa sudamericana rimase profondo e, di conseguenza, si mantennero scarse le sostanze nutritive in prossimità della superficie dell'oceano, cosicché la

popolazione dell'acciuga peruviana non ebbe l'espansione prevista. Nello stesso tempo l'indice di oscillazione australe si aggirò attorno a valori normali. In altri termini, gli alisei non si intensificarono, il che implicava, secondo il modello di Wyrki, che non fosse in vista alcun Niño. Di conseguenza, tutti gli osservatori rimasero sorpresi quando, nel marzo 1982, l'indice cominciò a scendere vertiginosamente. In



L'influenza dell'oscillazione australe sull'atmosfera in scala planetaria risulta evidente nella cartina, che mette in rilievo la correlazione esistente fra la pressione atmosferica media annuale in superficie a Giacarta, in Indonesia, e la pressione atmosferica media annuale in superficie in altre località. Un valore di 1 oppure di -1 in una determinata regione

starebbe a indicare una correlazione perfetta: la pressione in quella regione muterebbe sempre della stessa quantità relativa come avviene per la pressione a Giacarta. La pressione nell'area attorno all'Indonesia presenta una forte correlazione negativa con la pressione nei dintorni dell'Isola di Pasqua, che si trova all'altra estremità dell'oscillazione australe.



Il riscaldamento della superficie oceanica durante El Niño è concentrato nel Pacifico equatoriale centrale e orientale. La cartina mostra la differenza di temperatura in superficie (in gradi Celsius) fra l'agosto 1972 (anno di Niño) e l'agosto 1979 (anno normale). Questo confronto è istruttivo perché mette in evidenza la difficoltà in cui ci si imbatte quando

si basano le previsioni meteorologiche su El Niño. Nelle aree con le massime differenze di temperatura la pioggia è stata scarsa sia in un mese di Niño sia in uno senza, anche se i modelli prevedono abbondanti precipitazioni piovose su una superficie oceanica anormalmente calda. Anche l'andamento meteorologico mondiale è stato molto simile nei due mesi.

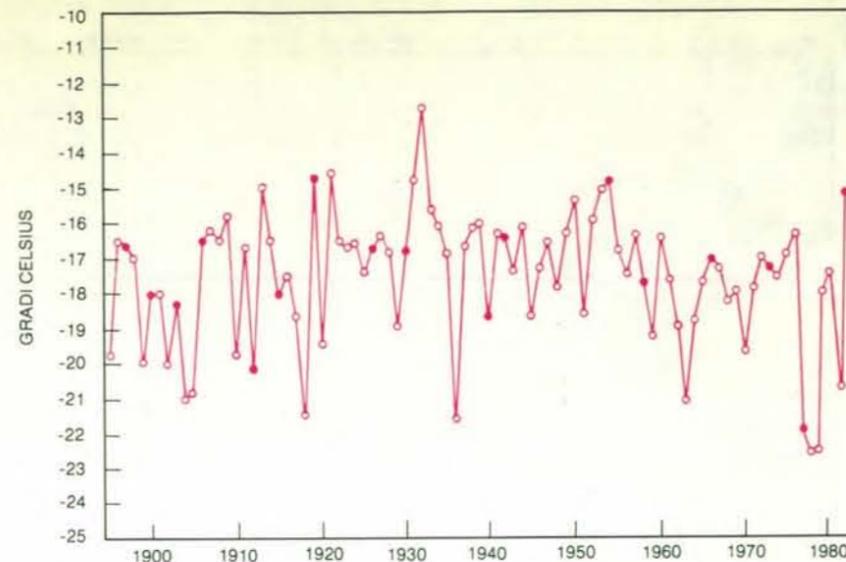
giugno, esso aveva raggiunto livelli minimi mai registrati prima e stava arrivando il massimo Niño che fosse mai stato registrato in almeno un secolo. Inondazioni disastrose colpirono la costa delle Americhe dalla parte del Pacifico, una forte siccità flagellò l'Australia e quella del Sahel, in Africa, si acui ancor più. Nel frattempo le isole della Polinesia francese, al centro del Pacifico meridionale, furono investite da piogge record. Mentre la Polinesia è colpita di solito da un ciclone tropicale solo una volta ogni tre anni circa, nel 1983 non meno di sei cicloni devastarono le sue isole fra febbraio e metà aprile.

Il disastro del 1982-1983 dimostrò che i venti alisei intensi, oltre a essere una condizione insufficiente per il prodursi di un Niño, non ne sono neppure una condizione necessaria. I vari tentativi di prevedere El Niño sulla base di segni precursori fallirono perché si fondavano - come risulta chiaro oggi - su un insieme di dati che non rappresentavano tutti i Niños possibili. Può darsi che l'evento straordinariamente intenso del 1982-1983 non sia stato del tutto senza precedenti; George Kiladis e Henry Diaz, della NOAA e del Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences dell'Università del Colorado hanno trovato prove che El Niño del 1877-1878 era stato molto simile a quello del 1982-1983. Purtroppo i dati che sono stati raccolti in occasione di quell'evento sono troppo scarsi per poter essere inclusi in diagrammi compositi delle anomalie o in altre statistiche particolareggiate.

Natura non canonica

L'incapacità di prevedere El Niño sottolinea che l'attuale comprensione del modo in cui si sviluppa l'anomalia è insufficiente. Quel che un tempo si pensava fosse un ciclo piuttosto semplice, formato in ciascun caso dalla stessa sequenza di eventi, risulta, invece, un fenomeno altamente variabile. Il modello di Wyrki supponeva che il sistema oceano Pacifico-atmosfera occupasse in genere uno o l'altro di due soli stati stabili: il primo rappresentato da El Niño e da un basso indice di oscillazione australe, il secondo da un «anti-Niño» e da un indice elevato. Si pensava che, una volta iniziato El Niño, una retroazione positiva fra oceano e atmosfera rafforzasse e prolungasse il ciclo; una volta che questo fosse terminato, lo stesso tipo di interazione accelerava il ritorno alle condizioni di anti-Niño. In anni recenti, la distinzione fra i due stati si è sfumata con la scoperta di una varietà di stati intermedi. Per esempio, la siccità estiva in India e le precipitazioni superiori alla norma nel Pacifico centrale sono considerate segni caratteristici di El Niño, ma la grave siccità che colpì l'India nel 1979 e il record di piovosità mensile sulla Canton Island, nelle Isole della Fenice (2,8 gradi sud, 171,7 gradi ovest), nel dicembre 1977, ebbero entrambi luogo in anni senza El Niño.

In qualche modo pare che la variabilità del ciclo di El Niño sia stata oscurata dai



Nell'Illinois le temperature invernali non rivelano segni di connessione con El Niño. Sono indicati gli scostamenti della temperatura media, in un dato inverno, dalla media a lungo termine. Gli anni di Niño (cerchi pieni) sono stati caratterizzati sia da inverni freddi (1977) sia da inverni caldi (1983). La maggior parte degli inverni con anomalie significative si è avuta in anni senza El Niño.

metodi usati per studiare il fenomeno. Una grave pecca che ha praticamente inficiato tutte le ricerche è stato l'accento posto sui Niños stessi, siano essi eventi singoli o eventi composti. Gli intervalli molto più lunghi intercorrenti fra loro sono stati in gran parte trascurati.

Un modello teorico che colleghi una superficie oceanica, anormalmente calda, nel Pacifico equatoriale con - diciamo - la mancata apparizione del monzone in India dovrebbe spiegare anche perché a volte la mancanza di piogge coincida con temperature normali o inferiori alla norma alla superficie dell'oceano. I modelli attuali non lo spiegano.

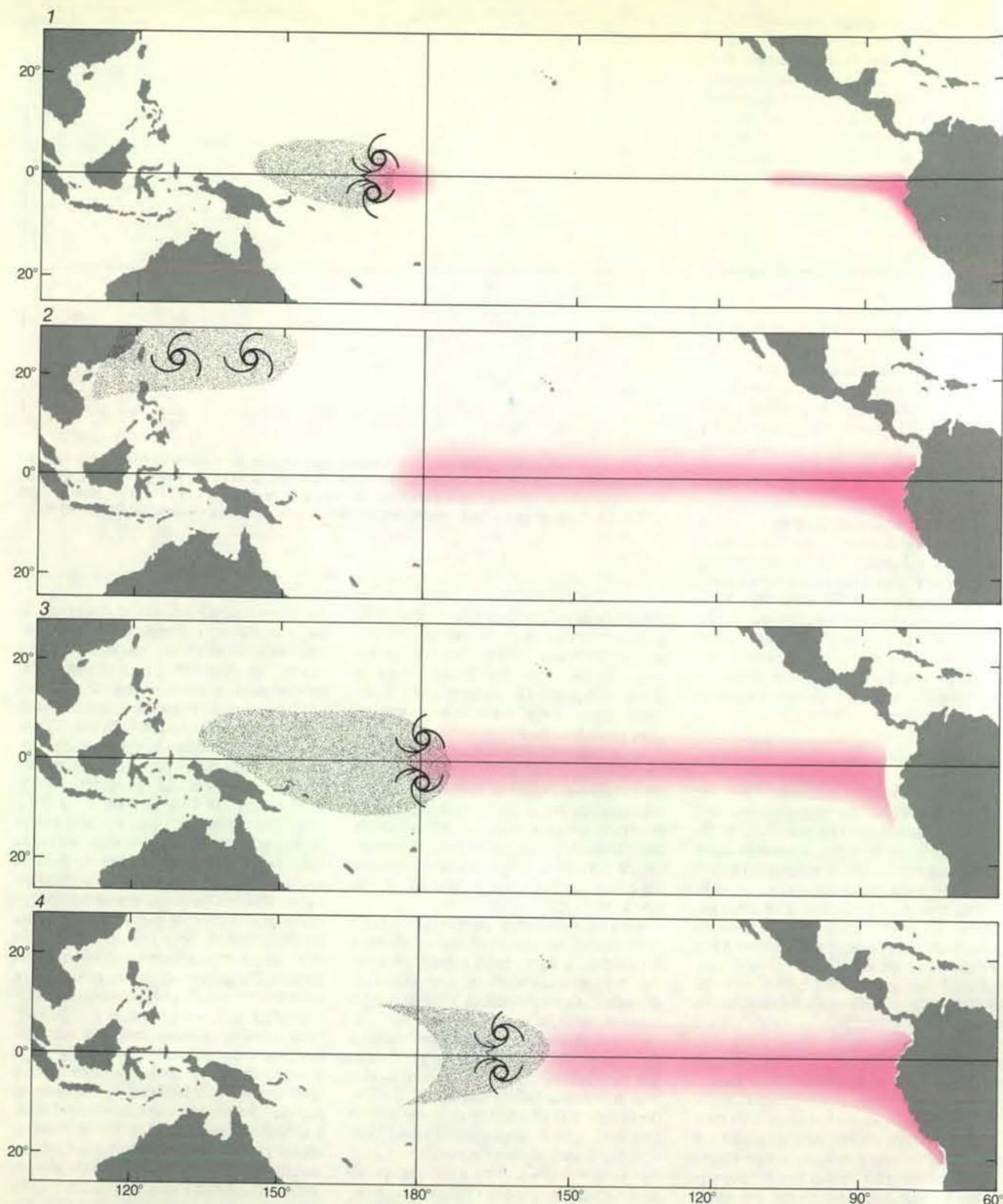
Una seconda pecca dei modelli è il fatto di fondarsi, per variabili atmosferiche e oceaniche, su valori medi mensili e stagionali. Il problema risiede nel fatto che il tipo di impostazione maschera le deviazioni a breve termine dalle condizioni normali: ossia gli eventi meteorologici che vanno a formare le medie. Secondo Roger B. Lukas e collaboratori dell'Università di Hawaii a Manoa, sullo sviluppo di El Niño può avere un'influenza importante il ciclo meteorologico di cinque-sette giorni, e non solo l'andamento mensile medio.

Lukas e il suo gruppo hanno proposto uno scenario in cui El Niño sarebbe innescato da forti venti occidentali della durata di una settimana circa, su un'estensione di alcune centinaia di chilometri nel Pacifico occidentale. Io credo che questi venti anomali siano spesso generati da cicloni tropicali. Nei primi mesi della maggior parte degli anni di El Niño cicloni si formano in due saccature superficiali di pressione a livello dell'oceano, una a ciascun lato dell'equatore, che appartengono al grande sistema di bassa pressione indonesiano. Poi

ché i venti di un ciclone si muovono in senso antiorario nell'emisfero boreale e in senso orario nell'emisfero australe, sul lato equatoriale delle perturbazioni essi soffiano sempre da ovest verso est. Questi forti venti occidentali provocano onde di Kelvin, che spostano acqua calda verso est, causando l'accumulo nel Pacifico centrale. Le onde di Kelvin riscaldano inoltre la costa sudamericana spostando a maggiore profondità il termocline.

Le saccature e i cicloni cui esse danno origine si trovano sopra le aree più calde della superficie oceanica, poiché l'acqua calda fa diminuire la pressione atmosferica riscaldando l'aria e determinandone l'espansione. Di conseguenza le saccature seguono, con un lieve ritardo, il Sole nelle sue escursioni stagionali dall'equatore ai solstizi. Da giugno ad agosto la saccatura del Pacifico meridionale scompare; i cicloni prodotti dalla saccatura del Pacifico settentrionale sono situati troppo a nord dell'equatore per generare onde di Kelvin, le quali sono un fenomeno intrinsecamente equatoriale. (L'ampiezza di un'onda di Kelvin diminuisce rapidamente allontanandosi dall'equatore, poiché è inversamente proporzionale alla forza di Coriolis, un effetto della rotazione terrestre che aumenta di intensità con l'aumentare della distanza dall'equatore.) L'assenza di onde di Kelvin emananti dal Pacifico occidentale in estate si riflette alcuni mesi dopo nella diminuzione delle temperature della superficie oceanica lungo la costa dell'America Meridionale.

Da settembre in poi la saccatura del Pacifico settentrionale segue il Sole nell'emisfero australe. Così passa sopra la regione di acque calde del Pacifico centrale, lasciata dall'«esplosione» di onde di Kelvin della



Può darsi che i cicloni tropicali inneschino e sostengano El Niño, generando periodi di forti venti occidentali, della durata di settimane, lungo l'equatore. In anni di Niño (1) si formano tipicamente cicloni a entrambi i lati dell'equatore, in saccature di pressione (area puntinata) appartenenti al grande sistema indonesiano di bassa pressione. I venti occidentali ciclonici danno origine a onde di Kelvin subsuperficiali che attraversano il Pacifico in un periodo di due o tre mesi. Le onde di Kelvin spingono acqua calda verso il Pacifico centrale e fanno scendere più in profondità il termocline al largo della costa sudamericana, riscaldando in tal modo la superficie dell'oceano in entrambe le regioni (in colore). Da giugno ad agosto (2), al diffondersi del riscaldamento, la saccatura del Pacifico

meridionale scompare; la saccatura del Pacifico settentrionale e i suoi cicloni, che seguono il Sole, sono troppo a nord per generare onde di Kelvin all'equatore. Perciò da settembre a novembre (3) la superficie dell'oceano al largo dell'America Meridionale si raffredda. A questo punto la saccatura settentrionale è tornata in prossimità dell'equatore e forse è passata oltre ed è stata intensificata dalla distesa di acqua calda rimasta dalla primavera. Se essa, nondimeno, non dà origine a cicloni, El Niño finisce. Se si formano cicloni, nuovi impulsi di onde di Kelvin spingono più a est l'acqua calda, che a sua volta si trascina dietro la saccatura (4). Quando le onde di Kelvin, da dicembre a febbraio, colpiscono l'America Meridionale, la superficie oceanica si riscalda di nuovo.

precedente primavera. La distesa di acqua calda la accentua. Ancora una volta si sviluppano cicloni tropicali, i quali innescano onde di Kelvin che spostano l'acqua calda ancor più verso est. L'acqua calda tende a trascinare con sé la saccatura e i cicloni; durante El Niño si producono cicloni molto più a est rispetto al solito. Nel novembre del 1957 e del 1982, per esempio, si svilupparono cicloni in una regione in prossimità delle Sporadi Equatoriali (a una longitudine di circa 160 gradi ovest), che di solito è completamente inattiva.

Secondo questo scenario, i cicloni tropicali hanno un'importanza cruciale tanto nell'avviare quanto nel prolungare El Niño. I venti occidentali anomali che essi generano nel Pacifico occidentale danno origine all'anomalia oceanica; non è necessario a tal fine un precedente accumulo da parte degli alisei. Una volta iniziato, El Niño può facilmente esaurirsi se non è sostenuto da ulteriori periodi di forti venti occidentali. Una congiuntura decisiva nell'evoluzione di El Niño ha luogo alla fine dell'estate boreale, quando la saccatura superficiale ritorna verso l'equatore. L'acqua calda vi favorisce allora la formazione di cicloni, ma se, per qualche ragione, non se ne sviluppa alcuno, El Niño ha termine.

Se questo scenario è corretto, il problema di prevedere il tempo d'inizio, la durata e l'intensità di El Niño diventa quello di prevedere l'insorgere di cicloni tropicali; in altri termini, diventa non meno difficile di una previsione meteorologica. Una saccatura superficiale sull'oceano è quasi sempre una condizione necessaria per la ciclogenese tropicale, ma non ne è affatto una condizione sufficiente. Se lo fosse, ogni anno si formerebbero in tutto il mondo circa 5000 cicloni tropicali invece dell'ottantina che, in media, viene osservata. Le interazioni della circolazione necessarie per dare l'avvio a un ciclone tropicale sono rare e non ben comprese, e le interazioni che innescano cicloni nel luogo e nel tempo giusto per innescare o sostenere un Niño sono ancora più rare e sono indipendenti da El Niño stesso. Esse possono comprendere, per esempio, interazioni di venti tropicali con sistemi meteorologici di medie latitudini, la previsione delle quali - come il lettore ricorderà - fu una delle prime ragioni che indussero a studiare El Niño.

Gli effetti alle medie latitudini

Indipendentemente dal fatto che sia possibile o no prevedere l'inizio di El Niño, si potrebbe ancora sperare di prevederne gli effetti al di fuori dei tropici una volta che abbia avuto inizio. Un modo per farlo consiste nell'applicare all'atmosfera le leggi della fisica, usando calcolatori ad alta velocità per risolvere le equazioni che ne governano i moti. Molti ricercatori hanno escogitato modelli numerici per simulare l'effetto sull'atmosfera di venti occidentali anomali e di un riscaldamento prolungato della superficie del Pacifico equatoriale.

Tutti i modelli prevedono che una piovosità elevata nel Pacifico centrale e orien-

te riscaldi la troposfera superiore. (Altrorché il vapore acqueo si condensa in pioggia, libera il calore latente acquistato evaporando dalla superficie dell'oceano.) L'energia, che si aggiunge in tal modo alla troposfera superiore sopra l'equatore viene trasferita a latitudini maggiori attraverso un'intensificazione della circolazione di Hadley, nella quale l'aria fluisce dall'equatore verso i poli a grandi altezze tornando poi verso l'equatore a livello della superficie. La circolazione di Hadley trasferisce a sua volta energia alle correnti a getto occidentali, che alimentano i grandi sistemi di perturbazione alle medie latitudini.

John M. Wallace e John D. Horel dell'Università di Washington hanno suggerito che gli effetti sulla meteorologia dell'America meridionale dovrebbero essere particolarmente pronunciati nell'inverno successivo all'inizio di El Niño. Purtroppo finora non si è accertato alcun andamento coerente. Secondo Thomas R. Karl, del National Climatic Data Center, El Niño moderato del 1976-1977 coincide con un inverno anormalmente freddo nell'America Settentrionale; di contro, il forte Niño del 1982-1983 coincide con un inverno anormalmente caldo. Altri quattro inverni anomali nel periodo tra il 1975 e il 1982 non coincisero con alcun Niño.

Uno sguardo alle temperature atmosferiche dell'Illinois registrate per gli inverni dal 1894 al 1983 è ancor più scoraggiante. In quel periodo vi sono stati 17 Niños moderati o forti; in 10 occasioni l'inverno nell'Illinois fu un poco più caldo del normale e, in sette occasioni, fu più freddo. Sette dei 90 inverni si discostarono in misura consistente dalla norma, ma solo uno di essi (1976-1977) coincise con un Niño. Un'analisi statistica eseguita da Tim P. Barnett della Scripps Institution of Oceanography ha confermato che la temperatura dell'acqua superficiale del Pacifico non è un segno precursore attendibile per prevedere la temperatura atmosferica invernale degli Stati Uniti centrali. Più significativa, secondo Barnett, è la correlazione con la temperatura atmosferica sulle coste della California meridionale e del Golfo del Messico, ma anche in quelle regioni gli effetti di un Pacifico caldo interagiscono con condizioni locali in modi che sono ancora imprevedibili. L'inverno 1972-1973, caratterizzato da un Niño, fu eccezionalmente piovoso nella California meridionale; i meteorologi che si attendevano lo stesso nel 1976-1977 furono sorpresi nel constatare una siccità quasi da primato.

Le prospettive

Non intendo dire che non vi siano assolutamente speranze di poter usare El Niño come base per previsioni meteorologiche stagionali. Sta proseguendo, infatti, la ricerca dei fenomeni precursori e di uno schema degli effetti. La prima impresa è agevolata da un nuovo insieme di dati oceano-atmosfera, compilato per iniziativa di Joseph O. Fletcher della NOAA e nel quale sono incorporati più di 70 milioni di

resoconti meteorologici fatti da navi in navigazione fra il 1854 e il 1979.

Alcuni ricercatori stanno tentando di prevedere El Niño non attraverso la ricerca di segni precursori in dati statistici, ma mediante lo sviluppo di modelli numerici che cerchino di riprodurre l'evoluzione fisica del sistema tropicale oceano-atmosfera. Sulla base di un tale modello accoppiato, Mark A. Cane, Stephen E. Zebiak e Sean C. Dolan, del Lamont-Doherty Geological Observatory della Columbia University, hanno previsto che un Niño moderato si svilupperà nel corso di quest'anno con inizio nella primavera per toccare i valori più alti verso la fine. L'idea centrale, alla base del loro modello, è che, durante un Niño, si ha un movimento di acqua calda non solo da ovest verso est lungo l'equatore, ma anche dall'equatore verso nord e verso sud. Un Niño può aver luogo dunque solo quando il serbatoio termico equatoriale sia stato riempito da un afflusso d'acqua calda proveniente da latitudini superiori. Secondo questo modello, il contenuto di calore dell'oceano equatoriale superiore, misurato dalla profondità del termocline, è un indicatore chiave della probabilità di un Niño.

Poiché i dati relativi alla profondità del termocline nelle varie zone del Pacifico equatoriale sono sporadici, il modello del Lamont-Doherty Geological Observatory deriva questi valori da dati sui venti, che sono i suoi unici dati in ingresso, e prevede poi l'evoluzione dei venti, la profondità del termocline, le correnti oceaniche e le temperature della superficie dell'oceano tenendo conto delle retroazioni fra tutte queste variabili. Cane e collaboratori hanno verificato la validità del modello facendo previsioni retrospettive per 12 degli ultimi 15 anni (sono stati esclusi i tre anni in cui El Niño era in corso) e riferiscono che in nove dei 12 anni le previsioni del verificarsi o no di un Niño sono state inequivocabili, mentre in altre tre occasioni le previsioni sono risultate ambigue. Nell'autunno di quest'anno verrà verificata la prima previsione in tempo reale del modello. È però importante rilevare che nel modello non c'è tentativo di prevedere gli effetti di un Niño sulle condizioni meteorologiche negli Stati Uniti o in altre regioni alle medie latitudini.

Il problema se El Niño diventerà una guida utile per le previsioni meteorologiche stagionali rimane aperto. Eppure il suo impatto sulla meteorologia, se non sulle previsioni del tempo, è già stato decisamente favorevole. A causa della richiesta pubblica di previsioni, i meteorologi sono stati posti nella posizione insolita, ma salutare, di dover verificare quasi subito le loro ipotesi. Quando una previsione fallisce, come è accaduto quasi invariabilmente, le ipotesi vengono modificate con maggiore rapidità di quanto sarebbe altrimenti accaduto, e quindi la ricerca progredisce a un ritmo più sostenuto. Se le previsioni meteorologiche quotidiane di routine venissero incorporate in questo modo nella ricerca meteorologica, entrambe le discipline ne avrebbero un indubbio vantaggio.