

*Il clima della Terra è il paziente più auscultato dell'universo
ma le cause del malessere sono ancora da decodificare*

Diagnosi riservata

DI GUIDO ROMEO

Carotaggi dei ghiacci antartici, rilevazione satellitari, migliaia di palloni sonda che scandagliano l'atmosfera insieme a laser e radar i cui dati vengono incessantemente analizzati da supercomputer e strutture di calcolo distribuito. Il clima del nostro Pianeta è il paziente meglio auscultato di tutto l'Universo, ma anche il più recalcitrante a una diagnosi definitiva. Quell'insieme di condizioni meteorologiche e ambientali tipiche di una regione che è considerato il clima è un sistema caotico suddiviso dai ricercatori in cinque sottosistemi aperti e comunicanti tra loro: atmosfera, oceano, litosfera (terra solida), biosfera e criosfera (ghiacci). Il suo "motore" è la radiazione solare, ma ogni sottosistema risponde a un cambiamento con tempi e dinamiche diverse sia al suo interno, sia nelle interazioni con gli altri. Le variazioni atmosferiche, ad esempio, possono avvenire in settimane o mesi, mentre gli effetti sulle acque superficiali degli oceani diventano osservabili dopo settimane o addirittura anni e nelle profondità oceaniche fra decenni e millenni; a sua volta il ghiaccio marino reagisce fra settimane e decenni e le acque interne e la vegetazione fra mesi e secoli. E se per i ghiacciai alpini si parla di secoli, per le piattaforme glaciali è questione di millenni. Ogni giorno su tutto il Pianeta vengono compiute milioni di rilevazioni grazie a una ventina di satelliti specificamente dedicati all'osservazione della Terra, come l'Envisat dell'Esa, ma anche a stazioni meteo automatiche a terra, in mare e che attraversano l'atmosfera su aerei o palloni sonda. I dati raccolti sono convogliati verso grandi centri di elaborazione come il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (Ecmwf) di Reading in Gran Bretagna.

Per comprendere le regole che governano il clima e costruire modelli in grado di simulare l'evoluzione i ricercatori guardano però an-

che al passato. «Per l'Europa e parte del Nord America è possibile utilizzare gli archivi storici delle rilevazioni meteo al suolo, che permettono di ricostruire con buona approssimazione il clima degli ultimi 200 anni — spiega Teresa Nanni, dirigente di ricerca dell'Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima del Cnr a Bologna, che ha ricostruito insieme a Michele Brunetti le rilevazioni meteo in Italia degli ultimi due secoli —. In Italia le misure sono standardizzate dal 1880 con la creazione dell'ufficio centrale di meteorologia, ma prima di allora c'è molta disomogeneità». Per i periodi precedenti e per le aree del Pianeta per le quali non esistevano stazioni gli scienziati fanno invece appello a misure "proxy" o sostitutive esaminando sedimenti oceanici e lacustri, ma anche fanghi, ceneri vulcaniche e anelli di accrescimento degli alberi o carotaggi nei ghiacci. «L'esame di ghiaccio e neve è uno dei più interessanti perché di fatto contiene veri e propri pezzetti di atmosfera del passato sotto forma di microbollicine d'aria» spiega Massimo Frezzotti, glaciologo dell'Enea che, partecipando al progetto Epica, ha contribuito a ricostruire il clima sulla Terra fino a quasi un milione di anni fa esaminando le carote di ghiaccio estratte dalla calotta dell'Antartide fino a 3.270 metri di profondità. L'analisi glaciologica dà una fotografia molto parziale di ciò che era il clima del passato, ma ha permesso di stabilire che nell'aria che respiriamo oggi c'è in media il 30% di CO₂ in più (in media 380 parti per milione) rispetto ad altri periodi interglaciali, quando la concentrazione del gas non superava mai le 300 ppm.

Una volta rilevati e pubblicati secondo gli standard stabiliti dall'Organizzazione meteorologica mondiale, i dati sono accessibili a tutti e possono entrare a far parte di elaborazioni e modelli di previsione climatica. «I grandi modelli computazionali dell'atmosfera integrano le equazioni di fluidodinamica di Navier-Stokes e le accoppiano a rappresentazioni della superficie terrestre» spiega Susanna Corti, responsabile per l'Isac del progetto europeo Ensembles per la simulazione climatica. Insieme a rappresentazioni matematiche simili per gli oceani, questi modelli sono utilizzati per prevedere lo sviluppo di fenomeni come El Niño che influenzano le precipitazioni stagionali e la distribuzione della temperatura in molte regioni del mondo. «I modelli di circolazione generale dell'atmosfera e dell'oceano, accoppiati ai cosiddetti Earth system models che rappresentano la superficie, il ghiaccio marino, la vegetazione, la chimica atmosferica, il ciclo del carbonio e gli aerosol — continua Corti — sono inoltre usati per fornire previsioni sulle possibili variazioni climatiche future e causate da alterazioni della composizione atmosferica provocate dall'uomo come avviene nei rapporti dell'Ipcc, il Panel Inter-go-

*Si fa sempre più affidamento
sull'aumento della potenza
di calcolo. Ma la vera sfida
è comprendere cosa regola
davvero la nostra atmosfera*

vernamentale sul cambiamento climatico». Lo sviluppo della modellistica del clima deve moltissimo all'aumento della potenza di calcolo di supercomputer che negli ultimi anni ha prodotto l'Earth Simulator del centro Esc a Yokohama in Giappone. Le varie componenti dei modelli come atmosfera, terra, oceano, ghiaccio marino, vegetazione, chimica atmosferica e altro ancora sono state sviluppate prima separatamente e poi gradualmente integrate per definire un griglia tridimensionale che ricopre la superficie terrestre e si estende verso l'alto fino all'ultimo strato di atmosfera e alle profondità oceaniche. Ognuna delle celle di questa griglia rappresenta un elemento di atmosfera o di oceano. «Allo stato attuale — osserva Corti — i modelli di clima hanno una risoluzione di circa 100-200 chilometri in orizzontale e circa un chilometro in verticale per quanto riguarda l'atmosfera e di 100-250 chilometri in orizzontale e 200-400 metri in verticale per quanto riguarda l'occe-

no». Una maglia che può non apparire fittissima, ma che fa sì che questi modelli abbiano già milioni di gradi di libertà. I grandi modelli regionali dell'Ipcc sono spesso integrati da simulazioni localizzate, ma molti processi fisici, come quelli legati alle nuvole e alla convezione oceanica, avvengono su scale spaziali più piccole dell'attuale risoluzione e perciò non possono venire risolti esplicitamente.

La sfida per decodificare il clima fa perciò sempre più affidamento sull'aumento della potenza di calcolo. Non si tratta solo di costruire computer nuovi e più potenti, ma anche di sviluppare nuovi codici per "far correre" i modelli di simulazione climatica come quelli utilizzati dall'Ipcc, su nuovi tipi di architetture come BlueGene, il supercomputer più potente del mondo sviluppato da Ibm, ma anche su architetture di calcolo distribuito e di Grid computing, in grado di creare sinergie tra diversi centri internazionali. «È ancora necessaria molta ricerca per comprendere il feedback di un sistema così complesso come la nostra atmosfera — osserva Nanni —, ma è importantissimo capire cosa regola il nostro clima al più presto, perché il mutamento climatico che causò l'estinzione dei dinosauri fu probabilmente una fluttuazione di appena cinque gradi di temperatura».

www.ecmwf.int

<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>

http://envisat.esa.int/webcam/where_is_envisat.htm

Rete universale



Supercomputer. I dati raccolti vengono convogliati verso i centri di riferimento nazionali ed elaborati attraverso supercalcolatori che permettono di produrre simulazioni e scenari climatici. Il più potente computer per studi climatologici è l'Earth Simulator del centro Esca Yokohama in Giappone, che, con una potenza di 35,86 Teraflops, è stato anche la macchina più potente del mondo fino al 2004, quando è stato superato da Blue Gene di Ibm. L'Earth Simulator si è dimostrato in grado di far girare modelli climatici olistici che comprendevano sia l'atmosfera che gli oceani, con risoluzione fino a 10 chilometri. A livello europeo la Germania è in prima fila come potenza di calcolo con il Deutsches Klimarechenzentrum (Dkrz) di Amburgo che collabora con diverse reti europee. Fiore all'occhiello degli Usa è il Noaa. Al primo posto in Italia, e 44esimo nel mondo per potenza tra i calcolatori scientifici, c'è l'Ibm Bcx equipaggiato con 5.120 processori che si trova al Cineca di Bologna, il quale presta la sua potenza di calcolo anche a molte applicazioni di meteo. Nuove risorse potrebbero arrivare nei prossimi mesi dopo l'inaugurazione, lunedì scorso, del Centro euromediterraneo per i cambiamenti climatici (Cmcc) di Lecce che è anche il focal point per l'Ipcc, il panel intergovernativo sul cambiamento climatico. Tra gli scopi dell'Ipcc, c'è lo sviluppo dei sistemi di calcolo distribuito attraverso il Grid computing, un campo promettente, ma che richiede l'adattamento del software di molti modelli climatici. In Europa la rete dedicata per il Grid computing Geant dispone di dorsali con connessioni fino a 40 Gbit/sec.

È tutto sotto controllo



Temperatura di superficie



Temperatura in atmosfera



Precipitazione



Pressione



Irraggiamento solare



Concentrazione di gas serra (CO₂, vapor d'acqua, Nox)

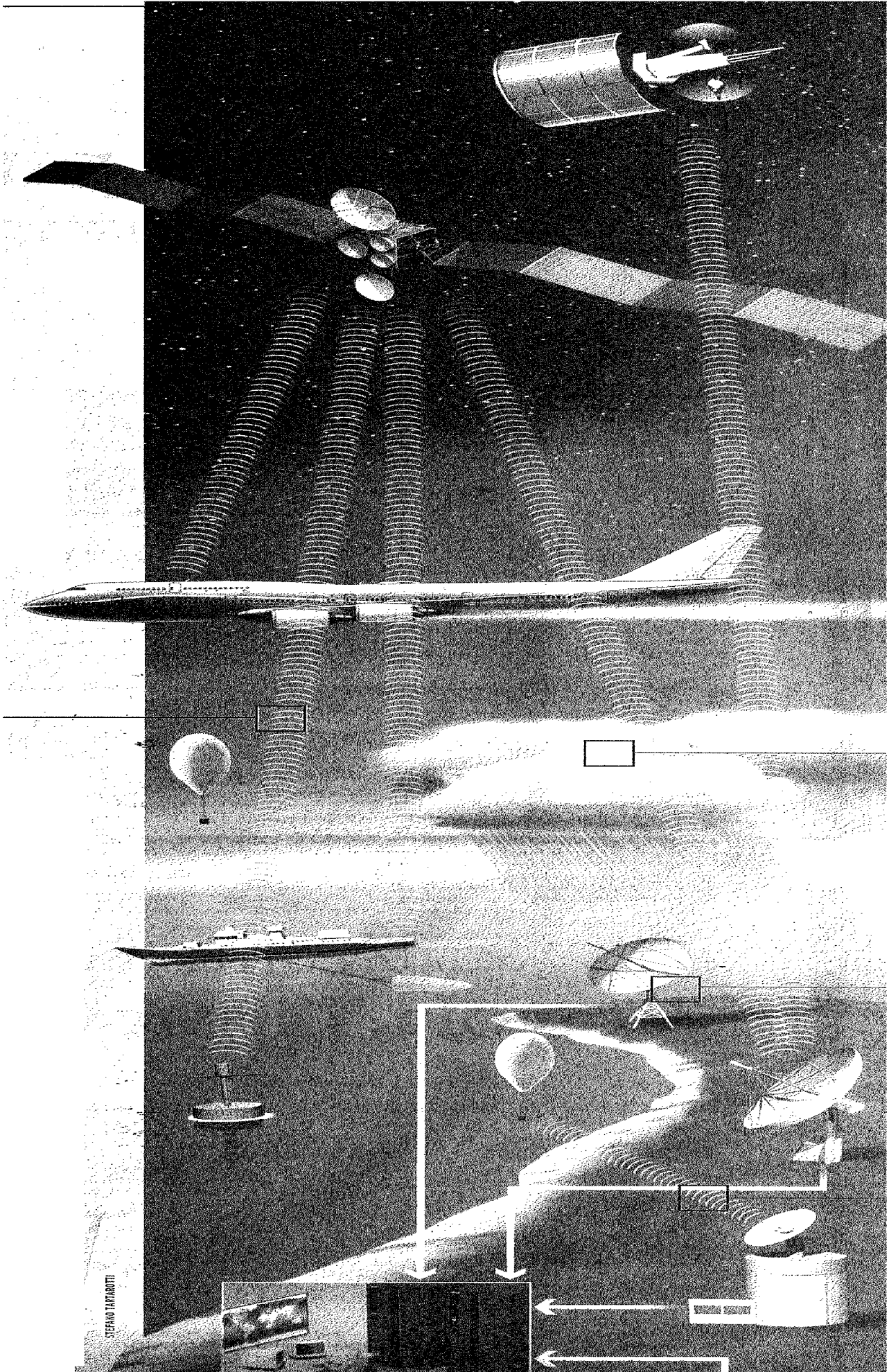


Aerosol in sospensione nell'aria



Livello fiumi, laghi e mari





Il grande occhio



In orbita. Intorno alla Terra orbitano più di 18 satelliti nell'osservazione della sua superficie sia geostazionari sia in orbita polare i quali ogni giorno scattano milioni di foto e inviano alle stazioni di controllo dati su oceani, terre emerse, ghiacci e atmosfera. Il più grande lanciato a questi scopi è Envisat dell'Esa (8.200 Kg) che dal 2002 compie un giro intorno al nostro Pianeta ogni 101 minuti seguendo la rotta polare con un ciclo che si ripete ogni 35 giorni. Tra gli strumenti a bordo vi sono Asar, un radar in grado di rilevare cambiamenti di altezza inferiori al millimetro; Meris, uno spettrometro per la misura della rifrazione terrestre; Aatsr e Mwr, radiometri per misurare la temperatura della superficie marina e il vapore d'acqua nell'atmosfera.

Un sistema tra le nuvole



Modelli olistici. Nubi e atmosfera terrestre sono, con gli oceani, gli elementi più importanti per la previsione del clima. Dagli anni '80 gli scienziati hanno cominciato a integrare nei propri calcoli anche il ruolo delle terre emerse e dei ghiacci polari che, riflettendo la luce solare, aumentano la quantità di radiazione diffusa nell'atmosfera. Oggi vengono usati modelli climatici "olistici" che cercano di tener conto di tutte le componenti, compreso il contributo umano, ma i ricercatori non sono ancora in grado di calcolare come interagiscono tra loro i diversi fattori che fanno dell'atmosfera un sistema caotico.

Il contributo dell'uomo



Previsioni private. Per predire il clima del XXI secolo, oltre che sui supercomputer e sui sistemi di Grid computing i ricercatori sperimentano sistemi di calcolo distribuito che utilizzano le capacità di calcolo di migliaia di pc privati attraverso internet. L'esempio più vasto è «Climateprediction.net» (Cpdn) lanciato dall'Università di Oxford e che è arrivato nel 2006 ad avere fino a 120mila aderenti per lo sviluppo di un modello destinato al calcolo del contributo umano all'estremizzazione del clima.

La misure indirette



Un tuffo nel passato. La costruzione di un modello matematico in grado di descrivere l'evoluzione del clima richiede la raccolta di un'ampia gamma di dati sui climi del passato che, non potendo essere rilevati direttamente, sono definiti misure "proxy" o sostitutive. Le più preziose comprendono lo studio della neve e dei ghiacci attraverso carotaggi come nel progetto Epica in Antartide (European project for ice-coring in Antarctica), che hanno permesso di ricostruire la composizione dell'atmosfera di 800mila anni fa. I ghiacci sono una delle misure sostitutive più dirette perché i cristalli di acqua che li costituiscono contengono microscopiche bolle d'aria provenienti dal passato. Altri sistemi più indiretti sono l'osservazione dei sedimenti oceanici e lacustri, la stratificazione del terreno, dei fanghi, di stalagmiti e stalagmiti, gli anelli degli alberi e dei coralli.

I dati dell'atmosfera



I servizi meteo. I dati per i modelli climatici provengono dai servizi meteorologici e sono ottenuti, oltre che da i satelliti, dalle rilevazioni delle stazioni a terra, dei palloni sonda e aerei per le osservazioni dirette delle boe marine che trasmettono i propri dati via radio o via rete. In Italia le rilevazioni sono effettuate principalmente dall'aeronautica militare e dalle Agenzie regionali per l'ambiente. A livello mondiale la World meteorological organization coordina lo scambio e la condivisione dei dati a livello globale.