
TASTARE IL POLSO DEL CLIMA DELLA TERRA

Nell'ultimo secolo la temperatura dell'ARIA in prossimità del suolo è aumentata di 8 decimi di grado. Il ruolo della ricerca per definire l'apporto dell'uomo

Quanto frequentemente dobbiamo tastare il polso della Terra per ricavarne informazioni utili sull'andamento futuro del clima? È la domanda base per chi si occupa di climatologia poiché a volte in passato è successo che alcuni parametri hanno mostrato degli andamenti (trend è il termine tecnico) di un certo tipo, aumento o diminuzione, che poi si sono invertiti. Domanda attuale anche per la gente, ad un anno di tempo circa dalla Conferenza di Parigi, Cop21. Si leggono infatti anche sui giornali analisi che partono dalla interpretazione dei dati che fluiscono di mese in mese o di anno in anno per scorgere certezze di cambiamento climatico e spingere ad anticipare le azioni di contenimento previste dalla Conferenza. Le fonti che vengono consultate e citate sono in genere assai autorevoli e l'uscita di alcuni rapporti è attesa quasi con ansia. È il caso dello "State of the climate Report-2015" il Rapporto sullo stato del pianeta nel 2015 (Bull Am Met Soc vol 97, n 8 2016 <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/publications/bulletin-of-the-american-meteorological-society-bams/state-of-the-climate/>) uscito agli inizi di agosto a cura dell'American Meteorological Society /AMS, la prestigiosa associazione statunitense che chiama a raccolta autorevoli scienziati che sono chiamati a lavorare sui dati della NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. È questa l'agenzia governativa statunitense che li raccoglie da stazioni e strumenti sui continenti ed oceani in superficie e profondità, in atmosfera e da quei satelliti dotati di sensori specifici per il monitoraggio del clima. La NOAA fa addirittura una sintesi dei dati mese per mese (<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201607>) e che confronta con gli stessi mesi negli anni, decenni e secoli precedenti.

È certamente una lodevole attività di divulgazione quella di estrarre da questi ponderosi rapporti i dati più significativi per comunicarli al grande pubblico. Opera lodevole a patto che non si scelgano, fra i dati, solamente quelli che "fanno colpo", che si cerchi di spiegare il contesto nel quale sono stati raccolti e si colga l'occasione per richiamare il metodo delle discipline scientifiche coinvolte, non solo la climatologia, ma anche quelle raggruppate nel termine geofisica, che sulla base della conoscenza dei sistemi di terra solida, oceano ed atmosfera sviluppano e collocano gli strumenti che forniscono i dati.

Gli amici della Giovane Montagna, e lettori della Rivista, conoscono già la mia collocazione scientifica, che ho rivelato in occasione del commento all'enciclica *Laudato si'* di Papa Francesco. Sono un fisico dell'atmosfera, in particolare delle nubi, precipitazioni ed aerosol atmosferico, che nell'arco della propria vita di ricerca ha visto crescere la consapevolezza che nubi ed aerosol sono al centro del sistema climatico, ed è pertanto stato "costretto" ad occuparsi anche di clima. Nubi ed aerosol infatti "pilotano" il flusso di radiazione elettromagnetica che ci viene dal sole, per la parte visibile, e dalla superficie terrestre, per la parte infrarossa. Mi propongo qui di indicare come leggere i report di questi siti e, ambizione ancora più grande, di tratteggiare un quadro dei problemi ancora aperti nella conoscenza del clima e che impediscono una previsione affidabile. Al momento infatti vengono prodotti tanti scenari dai diversi modelli, utili sì a fini euristici, ma non in grado di dare risposte sicure.

Sulla lettura dei Rapporti mi limito al rapporto dell'American Meteorological Society perché quello della NOAA è più specialistico e più per gli addetti ai lavori.

Il Rapporto è strutturato secondo le seguenti voci: *clima globale, l'Oceano globale, i tropici, l'Artico, l'Antartico, i climi regionali*.

I dati di sintesi del Rapporto che escono sui giornali sono quelli più eclatanti, mettono in risalto i primati: il 2015 è stato globalmente più caldo di 1°C rispetto ai tempi pre-industriali (metà dell'800). Per la prima volta si è superato all'Osservatorio di Mauna Loa i 400 ppm media annuale di concentrazione di CO₂, mentre continuano le ten-

denze osservate negli anni passati per molti altri parametri. Tuttavia lo stesso Rapporto fa notare che siamo, nel 2015, in piena fase El Nino, che sta proseguendo nel 2016, cioè le temperature superficiali dell'Oceano Pacifico tra Australia e coste sudamericane sono più elevate già dal 2014 e questa tendenza continua anche ora. Le ENSO (El Nino Southern Oscillations) sono responsabili, attraverso tele-connessioni, di variazioni climatiche in altre aree del pianeta, anche se le cause non sono completamente comprese. Le statistiche passate mostrano chiaramente aumenti di temperatura globale superficiale in relazione a situazioni di El Nino.

Questo ci spinge a sottolineare il ruolo diverso di atmosfera e oceano nella definizione del clima. Dell'immensa massa oceanica solo i primi cento metri partecipano significativamente agli scambi con l'atmosfera, che invece scambia calore e radiazione in modo molto efficace con la superficie del mare. L'inerzia dell'oceano ha effetti importanti sul clima; occorrono tempi dell'ordine dei mille anni perché in oceano si abbia uno scambio completo nei parametri fondamentali (salinità, temperatura).

Altro aspetto importante da tenere presente è la distinzione fra cambiamenti climatici e cambiamenti nella composizione globale (global change), distinzione che ha conseguenze su come i cambiamenti nelle concentrazioni dei componenti si riflettono sul clima globale. Prendiamo ad esempio il ben noto gas serra anidride carbonica. Con le sue bande vibro-rotazionali porta certamente a riscaldamento ma non è detto che l'effetto sia linearmente proporzionale alle sue concentrazioni. Con la possibilità che le bande si saturino e l'effetto sia ridotto. Vi sono ricerche in tal senso. CO₂, CH₄ (metano), altri gas con vita media lunga, l'ozono (O₃) sono esaminati nel Rapporto con le loro concentrazioni, confrontate con anni precedenti.

La storia del pianeta terra ci insegna che la composizione dell'atmosfera è cambiata drasticamente, da idrogeno ed elio dell'atmosfera primigenia a quella attuale, ma i cambiamenti del clima sono solo parzialmente collegati ai cambiamenti di composizione: le due realtà sono collegate ma disaccoppiate. Questa considerazione è importante ora che ci troviamo con cambiamenti globali di concentrazioni ad opera dell'uomo mai prima d'ora verificatisi.

Altra considerazione sui parametri importanti che entrano nel Rapporto. In esso i parametri sono esaminati a seconda del grado di conoscenza che ne abbiamo e della loro rilevanza ai fini della conoscenza del clima. Noi siamo abituati ai parametri essenziali per il clima in atmosfera in prossimità della superficie terrestre: temperatura dell'aria, precipitazioni, pressione atmosferica, vapore d'acqua, velocità e direzione del vento. Ma è chiaro che privilegiamo questi dati per la maggiore facilità che abbiamo, ed abbiamo avuto, nell'ottenerli. Ma anche tutta l'atmosfera superiore è rilevante, nel bilancio di radiazione, composizione, venti etc. Così per l'oceano: temperatura, salinità, livello, ghiaccio marino, fitoplankton; anche salinità e temperatura degli strati sub-superficie sono cruciali. Ma vi sono parametri solo parzialmente conosciuti, come copertura nevosa, variazioni dell'albedo superficiale, permafrost, volume di ghiaccio dei ghiacciai (dato caro agli appassionati di montagna), portata dei fiumi etc. Infine vi sono parametri assai poco conosciuti, ma che dovranno esserlo quanto prima: bilancio di radiazione alla superficie terrestre ed altri.

Un aspetto metodologico importante in climatologia è la scelta della base dei tempi per i confronti. Abbiamo detto che il Rapporto sullo stato del clima contiene confronti con gli anni precedenti. Ma con quale metodo? I climatologi, per la cautela necessaria nel trattare parametri dotati di una loro variabilità, preferiscono confrontare su base trentennale. Siamo ora in una fase di passaggio dalla base 1961-1990 alla base 1981-2011. Non possiamo soffermarci su questo aspetto che è certamente rilevante per gli addetti ai lavori.

Ma sarebbe il momento a questo punto di passare al tema di fondo: quali le cause dei cambiamenti climatici? Infatti i rapporti periodici, come quello citato finora, ci danno una fotografia asettica della situazione ma non spiegano perché i parametri esaminati hanno l'andamento osservato. Vogliamo avventurarci su questa strada? È troppo impegnativa e la rimanderei ad una prossima occasione.

Mi limito ora ad elencare quali possono essere le modalità di attuazione dei cambiamenti, tenendo sempre presente che il cambiamento è connesso al clima. Non è pensabile infatti che il clima sia costante, essendo determinato da parametri astronomici (gli effetti gravitazionali combinati dei pianeti), astrofisici (attività solare), naturali (eruzioni vulcaniche, flussi di calore dall'interno della terra) e recentemente, da due secoli, dall'attività antropica (emissioni in atmosfera, disboscamenti e cambio nell'uso dei suoli, allevamenti animali etc).

Essenzialmente di misurabile e dimostrato sull'intero globo abbiamo, come da altre fonti oltre il rapporto citato, un riscaldamento di circa otto decimi di grado per secolo nella temperatura dell'aria in prossimità del suolo. Il riscaldamento negli ultimi 50 anni è tuttavia quasi doppio, due decimi di grado per decennio, di quello dell'ultimo secolo. Cosa questo comporti ai fini delle precipitazioni intense e conseguenti alluvioni, ce lo dice l'equazione di Clausius-Clapeyron. Essa stabilisce che la quantità massima di vapore d'acqua che una data aria può contenere dipende dalla temperatura, ed in modo non lineare. Quindi ci dice che con il riscaldamento globale sopra detto abbiamo una maggiore quantità di vapore che partecipa al ciclo dell'acqua, evaporazione, trasporto, condensazione, precipitazione. Nei cicloni tropicali, in un certo senso più semplici da studiare, la conseguenza è che, non variando il loro numero, ben conteggiabile da satellite, ed il Rapporto citato ne parla, può invece aumentare la loro intensità, come sostiene il collega Kerry Emanuel dell'MIT. Ma questo aumento dell'intensità è assai difficile da dimostrare e quantificare. Lo è ancora di più per i nostri sistemi di precipitazione, prodotti dal ciclone extratropicale. Nei nostri cicloni, che avvengono a latitudine superiore, il maggiore effetto della forza deviante di Coriolis produce una diversificazione di fronti (caldo, freddo e occluso) con fenomenologie molto varie alla mesoscala.

Quali altri problemi oltre al ciclo dell'acqua devono essere risolti per arrivare ad una conoscenza completa del sistema clima, tale da consentire previsioni affidabili?. Per elencarne alcuni: il flusso di calore dall'interno della terra, l'apporto di anidride carbonica dai vulcani e dal degassamento della crosta, e, per venire al mio campo più specifico, il ruolo dell'aerosol (particelle aerosospese) di origine antropica, ora già il 20 % di quello che produce la natura. Queste particelle modificano il bilancio di radiazione in atmosfera ed inoltre, quando agiscono da nuclei delle goccioline e dei cristalli, modificano la stessa vita delle nubi e la loro attitudine a produrre precipitazione. Le nubi, poiché determinano tutto il ciclo dell'acqua ed a loro volta influenzano il bilancio di radiazione, sono come sopra ricordato, al crocevia del sistema climatico. Poi c'è da definire meglio il ruolo degli oceani, dell'interfaccia oceano-atmosfera e della vegetazione-atmosfera. Insomma siamo ancora lontani dall'avere modelli completi di clima che portino alla spiegazione del sistema ed alla previsione sicura della sua evoluzione.

La fisica potrebbe semplificare tutto il sistema nel gioco di due flussi di fotoni, uno in entrata dal sole ed uno in uscita dal pianeta, con la biosfera che si pone, con la fotosintesi, come un attore non casuale ma fondante dell'equilibrio climatico. Ma bisogna essere distanti dal pianeta per misurare con accuratezza questi flussi. Forse un osservatorio lunare ci potrà dare risposte che ci vengano prima di quelle di modelli complicati ma incompleti.

Ma questo ad un prossimo appuntamento.

Franco Prodi*

* Già professore Ordinario di Fisica dell'atmosfera dell'Università di Ferrara. Ora associato ISAC-CNR

