

# Il tempo che farà

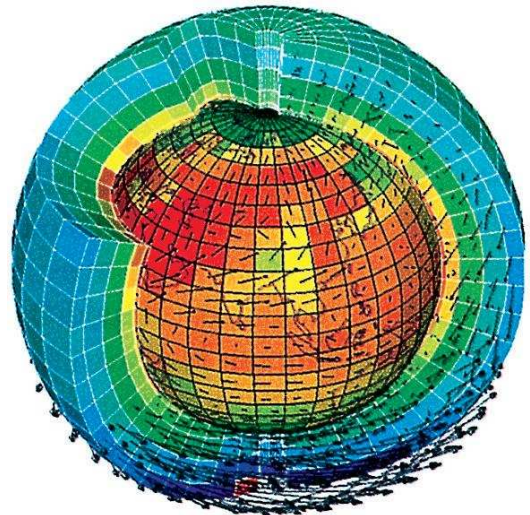
Claude Basdevant

*La previsione meteorologica e climatica non è un problema di poco conto. Essa implica la modellizzazione di numerosi fenomeni di diversa natura e l'intervento di più scienze, dalla matematica alla biologia, passando per l'informatica, la fisica o la chimica.*

Dietro l'affascinante presentatrice che tutte le sere in televisione ci descrive le previsioni meteorologiche per i giorni successivi, non ci sono più termometri e marchingegni, ma dei potenti calcolatori, che immagazzinano un gran numero di dati, ottenuti principalmente dai satelliti, e vi applicano molte leggi della meccanica e della fisica, ma anche molte leggi matematiche, talvolta recentissime.

Affinché i calcolatori forniscano delle previsioni, è necessario elaborare preventivamente quello che viene chiamato modello numerico di previsione del tempo.

Schematicamente, un tale modello di previsione, per un periodo che va da otto a dieci giorni, rappresenta lo stato atmosferico attraverso dei parametri meteorologici (velocità del vento, temperatura, umidità, pressione, nuvole, etc...) calcolati al centro di "scatole" di circa cinquanta chilometri di lato con una altezza che varia da qualche dozzina a qualche centinaia di metri. Questa divisione immaginaria di tutta l'atmosfera in scatole è inevitabile, perché è impossibile



*Veduta d'artista delle scatole di calcolo di un modello di previsione del tempo o del clima (autore L. Fairhead LMD/CNRS).*

rilevare i parametri meteorologici in tutti i punti (questi punti sono un numero infinito!). In linea di principio, più le scatole sono piccole – e dunque numerose –, più la descrizione dello stato atmosferico è precisa e più saranno maggiormente precise anche le previsioni. In pratica le scatole non misurano meno di cinquanta chilometri di lato; in tal modo la potenza dei calcolatori moderni non risentirà

troppo della pesantezza dei calcoli: è necessario che il calcolo sia eseguito in tempo utile, vale a dire in molto meno di 24 ore!

Partendo dallo stato dell'atmosfera, supposto conosciuto all'inizio del periodo da prevedere, il modello fa elaborare al calcolatore le evoluzioni future utilizzando le leggi della dinamica e della fisica. L'evoluzione temporale è calcolata passo dopo passo ad intervalli di qualche minuto. Questo si chiama principio della previsione numerica dei tempi ed è noto fin dal principio del XX secolo ma ha dovuto attendere gli anni '40 - '50 prima di essere effettivamente utilizzato, grazie all'avvento dei primi calcolatori.

### *Le misure meteorologiche non sono direttamente utilizzabili*

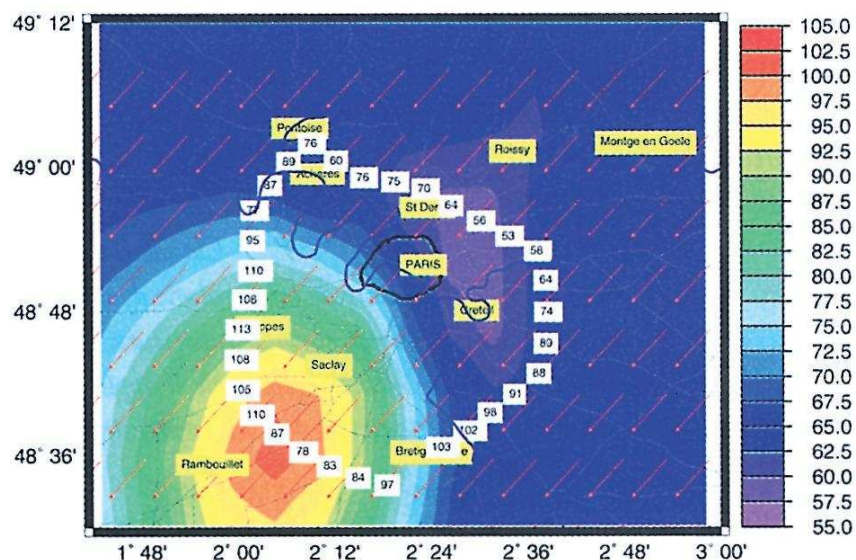
Il primo problema che compare nello schema ideale di previsione è quello di saper determinare lo "stato iniziale dell'atmosfera". Le osservazioni sono lontane dall'essere adatte a questo problema. Le stazioni meteorologiche sul suolo sono molto mal distribuite sul globo e forniscono pochissime misure in altitudine. Per quanto riguarda i satelliti, essi sono per la maggior parte uno in sequenza all'altro, quindi effettuano un continuo monitoraggio della terra. Le loro misure non sono perciò ottenute nello stesso istante ed in tutti i punti. Inoltre, i satelliti misurano delle quantità intere su tutta l'atmosfera (si tratta, in generale, di flussi di energia caratterizzati da una certa gamma di lunghezze d'onda) e non le grandezze meteo-

rologiche (vento, temperatura, umidità, etc...) che entrano in gioco nelle equazioni dei modelli.

Si dispone dunque di una massa di dati disparati, mal distribuiti sulla superficie del globo, suddivisi in 24 ore, con i quali bisogna "inizializzare" una previsione, cioè bisogna costruire uno stato meteorologico iniziale partendo dal quale il modello simulerà l'evoluzione temporale. Grazie ai lavori della "ottimizzazione dinamica", settore a cui hanno molto contribuito il ricercatore russo Lev Pontryagin (1908 – 1988) e la scuola matematica francese, si sono potuti mettere a punto, negli anni '80, dei metodi detti d'"assimilazione variazionale" che permettono di ricostruire in maniera ottimale lo stato iniziale. L'idea che sta sotto questi metodi, operativi dall'anno 2000 a Meteo-France, è di trovare un modo per vincolare la traiettoria del modello numerico a passare "vicino" ai dati osservati durante le 24 ore precedenti. L'assimilazione variazionale non è del resto la sola tecnica matematica moderna che ha rivoluzionato le tecniche di elaborazione delle osservazioni: l'utilizzo di reti neuro-numeriche o di wavelets (*ondine* in italiano), inventate da meno di vent'anni, ha dato luogo a spettacolari progressi nell'efficacia, la precisione e la rapidità del trattamento dei dati forniti dai satelliti.

### *Quando l'analisi numerica entra in azione...*

Una volta conosciuto lo stato atmosferico iniziale di cui ha bisogno il modello numerico di previsione, resta da



*Pennacchio di ozono sulla regione di Parigi il 7 agosto 1998 alle 16,00 e a 300 metri di altitudine. Le concentrazioni simulate dal modello numerico CHIMERE del LMD/IPSL sono codificate a colori; nella cornice le misure aeree. (Figura di Merlin di Météo-France)*

scrivere il programma informatico capace di valutare il tempo futuro a partire da quello iniziale, sfruttando le leggi della fisica. Quest'ultime si fondano su una descrizione continua dello spazio e del tempo, ma il nostro modello numerico, si basa su un numero, certamente grande, ma finito di scatole; così pure, gli intervalli di tempo fra due stati diversi sono separati da parecchi minuti. Questa sorta di passaggio dal problema fisico continuo al modello numerico si chiama "discretizzazione". Passare da equazioni continue a schemi numerici per il modello discretizzato, con la migliore precisione possibile, è parte dello studio dell'analisi numerica, un ramo della matematica che è esploso dopo l'avvento del calcolatore. L'analisi numerica ha come obiettivo la risoluzione delle equazioni portando i calcoli fino alla fine, cioè fino ad ottenere dei valori numerici precisi, nel minor tempo e con

il minor sforzo possibile. Essa è indispensabile affinché la simulazione non sia solo apparente e per valutare il grado di incertezza delle previsioni. Per esempio, sono stati ottenuti di recente progressi importantissimi riguardanti i metodi che permettono di simulare il moto di sostanze chimiche o di particelle nella turbolenza atmosferica. Questi progressi hanno migliorato significativamente lo studio e la previsione dell'inquinamento dell'aria.

*Si può prevedere il tempo con molto anticipo? La teoria dei modelli dinamici afferma che ciò non è possibile.*

Fino ad ora abbiamo considerato previsioni del tempo a breve scadenza, fino a otto o dieci giorni; ma perchè non si fanno previsioni a più lunga scadenza?



Il meteorologo americano Edward N. Lorenz, in un celebre articolo del 1963, ha dimostrato che questo problema è senza speranza. L'atmosfera è un sistema caotico, vale a dire che ogni errore sullo stato meteorologico iniziale, pur piccolo che sia, si amplifica rapidamente nel corso del tempo, così rapidamente che una previsione per una dozzina di giorni perde ogni sua validità. Comunque ciò non vuol dire che non si possa prevedere il clima, ossia fare una previsione di tipo statistico piuttosto che deterministico, interessarsi cioè alla media delle temperature o delle precipitazioni in un certo periodo, piuttosto che al tempo preciso che farà in Bretagna tale giorno del mese di Luglio. La posta in gioco è alta: il nostro clima futuro è minacciato dalle emissioni di gas dovuti alle attività umane ed è necessario prevederne l'effetto a lungo termine. È la teoria dei *sistemi dinamici* che ci fornisce le motivazioni per giustificare questa modellizzazione del clima. Questa area, di cui il matematico Henri Poincaré, all'inizio del XX secolo, fu un grande precursore, ha conosciuto degli importantissimi progressi negli ultimi vent'anni. La teoria dei sistemi dinamici permette per esempio di scoprire delle strutture che vengono chiamate attrattori dai matematici e che descrivono l'andamento del tempo meteorologico. Tale teoria permette anche di sapere quali siano le evoluzioni del tempo più probabili e quelle più instabili.

Nelle situazioni di instabilità, un buon strumento di indagine è la modellizzazione probabilistica del clima, un

modello, cioè, nel quale si tiene conto esplicitamente del carattere aleatorio della previsione. Ancora poco sviluppate, le modellizzazioni di questo tipo devono appoggiarsi su progressi molto recenti della teoria delle equazioni alle derivate parziali stocastiche e della statistica.

### *Dalle previsioni meteorologiche alle previsioni climatiche*

I modelli numerici di previsione del clima somigliano come fratelli ai modelli delle previsioni del tempo con due sole differenze sostanziali. Per ragioni di tempo e di calcolo, le loro "scatole" sono più grandi (da 200 a 300 chilometri di diametro) ed i tempi simulati vanno da qualche mese a centinaia e addirittura migliaia di anni; è impossibile essere più precisi. La differenza importante sta nel fatto che le variazioni climatiche hanno luogo su grande scala di tempi e che non si possono trascurare le iterazioni tra l'atmosfera, l'oceano, i ghiacci polari e perfino la biosfera. Ecco perché un modello di clima deve combinare un modello d'atmosfera, uno del comportamento dell'oceano e uno relativo alla biosfera. Al di là della complessità informatica di una tale costruzione, si pongono dei delicati problemi matematici sul modo migliore di abbinare queste aree e specificarne le relazioni attraverso condizioni sulle interfacce atmosfera-oceano, oceano-ghiacci, ecc. Affinché il calcolo nelle "grandi scatole" resti significativo, bisogna valutare l'effetto statistico, sulla scala di queste scatole, di

processi che si producono in dimensioni molto più piccole (per esempio, qual è l'effetto statistico, sul bilancio d'energia di una scatola di 300 chilometri di lato, di piccoli cumuli di qualche chilometro di diametro che vi si sviluppano?) Per tutti questi argomenti c'è ancora molto materiale matematico che deve essere ulteriormente sviluppato.

*Claude Basdevant*

*Laboratorio di Meteorologia Dinamica  
Scuola Normale Superiore di Parigi e Laboratorio di Analisi,  
Geometria ed Applicazioni.  
Università di Parigi-Nord.*

### Alcuni riferimenti bibliografici

- *La Météorologie*, n° 30, numero speciale sulla previsione meteorologica numerica (2000).
- M. Rodias, et J.-P. Javelle, *La Météorologie - La prévision numérique du temps et du climat* (raccolta "Comprendre", SYROS, 1993).
- R. Temam et S. Wang, "Mathematical Problems in Meteorology and Oceanography" *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 81, pp. 319-321 (2000).