

# MODELLI GLOBALI E AD AREA LIMITATA, QUASI UNA RIVOLUZIONE

DA 100 A 10 KM DI MAGLIA LA RISOLUZIONE DEI MODELLI GLOBALI, MENTRE PER QUELLI AD AREA LIMITATA SI STA PER GIUNGERE A 1 KM. CIÒ CAMBIA ENORMEMENTE LA CAPACITÀ DI “LEGGERE IL TERRITORIO” E DI PREVEDERE IL TEMPO METEOROLOGICO.

**C**redo sia onesto e utile dire che molto spesso, osservando una previsione accurata, non posso fare a meno di stupirmi io stessa del fatto che siamo in grado di prevedere l'evoluzione di un sistema così complicato quale l'atmosfera.

Su cosa significhi fare una previsione meteorologica sono state scritte molte cose ma, se non si svolge attività nel settore, è molto difficile avere una visione chiara di che cosa veramente si tratti. Se si parla di mandare una navicella spaziale sulla Luna è intuitivo per tutti che si tratta di una impresa difficile e costosa (si immaginano scienziati spettinati che calcolano traiettorie, calcolatori potenti, tecnologia avanzata ecc.). Se si parla di previsioni meteorologiche tutto è più confuso. È molto difficile far capire che alla base c'è un problema scientifico e tecnologico di enorme complessità, che necessita di ingenti investimenti e che presuppone una elevatissima collaborazione a livello mondiale. È innanzitutto importante dire che prevedere il tempo è un processo che si diversifica a seconda della tipologia della previsione, in termini di dettaglio spaziale e di scadenza temporale. Particolareggiare la previsione tra un'ora a Bologna e nelle zone circostanti è completamente diverso dal prevedere come sarà il tempo tra dieci giorni in Italia. Gli elementi che si utilizzano sono più o meno gli stessi: osservazioni (misure di temperatura, vento, umidità, pressione ecc.), modelli, eventualmente post-elaborazioni anche di tipo statistico. La loro importanza relativa, il modo in cui si usano e il modo in cui si combinano sono però sostanzialmente differenti.

Per la previsione a 1-2 ore, tecnicamente definita *nowcasting* (quello che succederà da qui a poco), le osservazioni giocano un ruolo fondamentale e il modello viene eventualmente utilizzato per fornire continuità, spaziale e temporale, o come elemento nel processo di controllo delle osservazioni. Raccogliere i dati, trasmetterli con rapidità, combinarli al

meglio ed estrapolarli nel tempo sono gli ingredienti essenziali.

Dalle 2-3 ore in avanti, pur rimanendo l'osservazione essenziale, la previsione è completamente affidata al *modello numerico* previsionale. Sono soliti definire il *modello* come un simulatore in grado di descrivere l'evoluzione dello stato dell'atmosfera, una volta che si è stati in grado di definire lo stato da cui avviare la simulazione. La definizione di questo *stato*, o *condizione iniziale*, consiste in una procedura basata sulle osservazioni che non è assolutamente né semplice né economica.

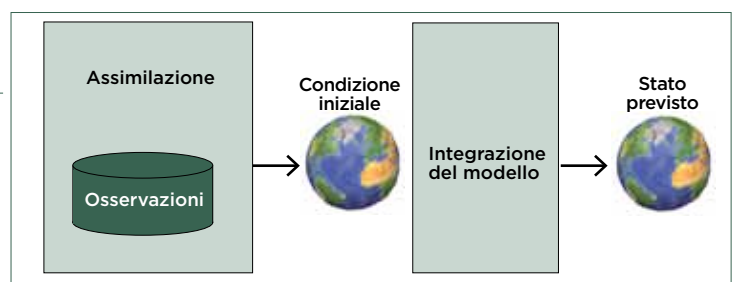
Se consideriamo un modello globale, quale ad esempio quello del Centro meteorologico europeo di Reading (vedi articolo di Roberto Buizza a pag. 38), bisogna pensare che è necessario aspettare che tutte le osservazioni del globo siano disponibili sui computer del Centro. Osservazioni in questo caso significa: osservazioni a terra, da radiosondaggio, da satellite, da navi, da aerei, da radar meteorologici, da Gps ecc. Tutte queste informazioni, che viaggiano attraverso il *Global Telecommunication System* dell'Organizzazione meteorologica mondiale, devono poi essere pre-elaborate, sottoposte a un controllo di qualità e infine utilizzate per fornire un quadro coerente e idoneo a rappresentare lo stato dell'atmosfera dal quale il modello possa partire (avviare cioè l'integrazione numerica delle sue equazioni). Questo processo, storicamente denominato *analisi oggettiva*, è oggi più propriamente chiamato *assimilazione dati* (figura 1).

I dati non possono infatti essere usati brutalmente; devono essere resi assimilabili dal modello, in quanto sono rappresentativi di una realtà non totalmente consistente con quanto il modello è in grado di riprodurre. Il dato, anche se non fosse affetto da errori, deve comunque essere inserito nel processo previsionale in modo tale da rappresentare sì la realtà ma, allo stesso tempo, da non produrre effetti “indesiderati” sulla previsione. La presenza degli errori osservativi, e la diversa rappresentatività delle varie tipologie di dati, rendono tutto il processo di assimilazione estremamente complesso e, devo dire, interessante. Torniamo al *modello*. Un modello deriva dalla nostra capacità di osservare un fenomeno, di costruire uno schema concettuale che lo descriva, di tradurre questo schema in termini fisici tramite l'uso di equazioni appropriate (di equazioni basate sulle leggi fisiche). Nel caso di un sistema complesso quale l'atmosfera, includendo inoltre i processi di interazione e scambio con la superficie della Terra, queste equazioni non sono risolvibili in modo semplice, ma necessitano di una traduzione numerica che le renda risolvibili grazie all'utilizzo dei supercomputer.

La *numerica*, cioè la traduzione e soluzione numerica delle equazioni, implica però un processo di approssimazione al quale, sfortunatamente ma ineluttabilmente, è associato un errore. L'approssimazione si basa su una discretizzazione attraverso la quale i parametri meteorologici (temperatura, vento, umidità ecc.)

FIG. 1  
PREVISIONE NUMERICA

I dati vengono pre-elaborati nella fase di assimilazione. Il modello viene poi integrato numericamente producendo i campi previsti per le ore e giornate successive.



vengono definiti su un grigliato tridimensionale che ricopre l'intera superficie terrestre (modelli globali) o parte di essa (modelli ad area limitata o regionali)<sup>1</sup>. La figura 2, nella quale viene schematizzato uno dei possibili grigliati tridimensionali, è presa dal sito web dell'Agenzia meteorologica giapponese (Jma).

Per effettuare la simulazione, il numero di operazioni per ogni punto di questo grigliato è veramente enorme e questa è la ragione per la quale la meteorologia moderna, basata sull'utilizzo dei modelli, è iniziata solo quando abbiamo avuto a disposizione i primi calcolatori elettronici negli anni cinquanta (Peter Lynch 2011; Charney, Fjörtoft e von Neumann, 1950). Da allora, la qualità delle previsioni numeriche è costantemente aumentata anche grazie al fatto che, essendo i calcolatori sempre più potenti, il grigliato utilizzato per risolvere le equazioni è diventato progressivamente sempre più raffinato. Pensate che una ventina di anni fa i modelli globali avevano una maglia con risoluzione (distanza tra due punti di griglia, lato del cubetto nel grigliato) dell'ordine delle centinaia di chilometri mentre ora il Centro europeo ha una risoluzione di circa 16 km.<sup>2</sup>

Perché la risoluzione è importante? Durante il processo di simulazione, il modello calcola come cambieranno i parametri meteorologici (temperatura, vento, umidità ecc.) in ognuno dei punti (e "solo" sui punti) del grigliato a seguito dei vari moti e processi fisici in atto. Questo significa che, se la risoluzione è di circa 100 km, all'interno di ogni singolo cubetto possono essere presenti nella realtà caratteristiche fisiografiche e topografiche completamente differenti (figura 3) e la previsione di vento, temperatura, precipitazione ecc. dovranno forzatamente essere rappresentative di una situazione estremamente eterogenea. Andando quindi a verificare localmente i valori previsti, si potranno trovare condizioni osservate molto diverse. È ovvio che, all'aumentare della risoluzione, ogni cubetto sarà caratterizzato da condizioni sempre più omogenee e i valori previsti tenderanno a essere rappresentativi di una visione del modello sempre più prossima alla realtà. Bisogna poi considerare che tutti i processi che avvengono su scale spaziali inferiori alla dimensione del cubetto non possono, per definizione, essere descritti in maniera esplicita. Questi processi devono essere rappresentati in modo approssimativo ribaltandone l'effetto

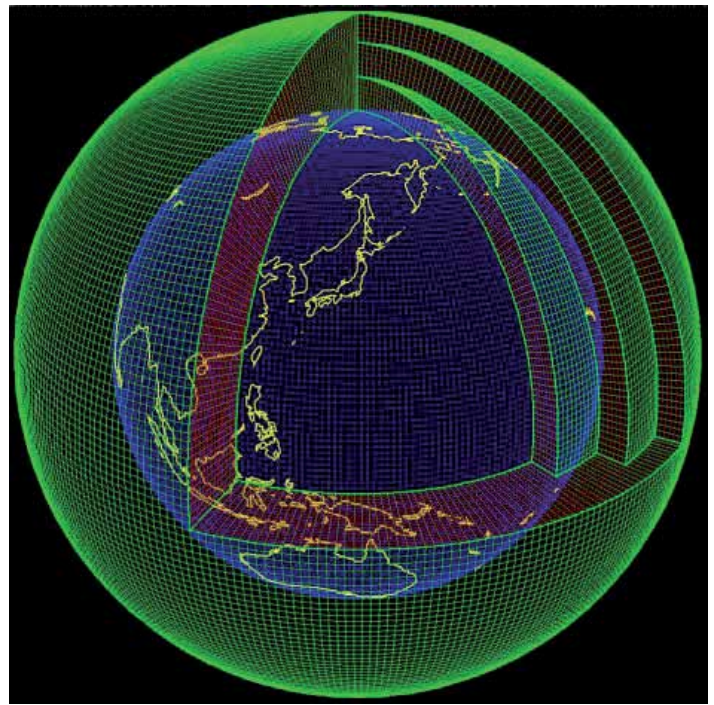


FIG. 2  
MODELLI GLOBALI

Esempio di grigliato tridimensionale sul quale vengono definiti i parametri meteorologici, tratto dal sito web dell'Agenzia meteorologica giapponese (Jma).

su variazioni dei parametri sui punti di griglia (tecnicamente questa parte dei modelli è denominata *parametrizzazioni fisiche*). Anche in questo caso, è evidente come la possibilità di aumentare la risoluzione consenta di descrivere esplicitamente un numero maggiore di processi e fenomeni aumentando, di conseguenza, l'accuratezza della previsione nel suo complesso. A titolo di esempio, le catene previsionali operative Lami del Servizio IdroMeteoClima di Arpa Emilia-Romagna (basate sul Modello Cosmo, sviluppato dal Consorzio internazionale Cosmo al quale Arpa-Simc partecipa grazie a un accordo con Usam di Aeronautica militare), denominate Cosmo-I7 e CosmoI2, coprono tutto il territorio nazionale e hanno

rispettivamente una risoluzione di circa 7 e 2,8 km ([www.arpa.emr.it/sim/?mappe\\_numeriche](http://www.arpa.emr.it/sim/?mappe_numeriche)).

L'attività che Arpa-Simc conduce nel settore della modellistica numerica operativa viene svolta nell'ambito appunto di un accordo con Usam, di Aeronautica militare, e Arpa Piemonte. Le risorse di supercalcolo necessarie sono rese disponibili dal centro di supercalcolo Cineca, tramite apposita convenzione, e grazie al supporto del Dipartimento di protezione civile nazionale, che ha nominato Arpa-Simc Centro di competenza nazionale per la modellistica previsionale e la radarmeteorologia. La qualità della modellistica previsionale non migliora comunque solo grazie alla risoluzione, ma anche grazie alla ricerca, alle sempre maggiori capacità osservative

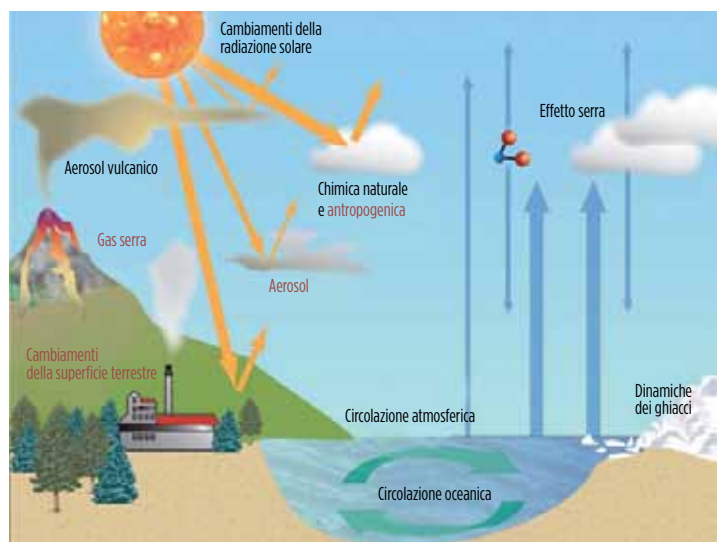


FIG. 3  
MODELLI NUMERICI

Processi fisici che bisogna rappresentare tramite schemi di parametrizzazione in ogni elemento del grigliato tridimensionale.

Fonte: <http://ucanr.org>

e alla capacità di comprendere sempre meglio i fenomeni fisici che osserviamo. L'osservare e comprendere permette di descrivere con più accuratezza i vari processi fisici all'interno dei modelli, di compiere una migliore diagnostica degli errori e, quindi, di indirizzare con più precisione l'attività di chi sviluppa i modelli stessi.

Non mi dilungo sulla determinazione della qualità e il valore delle previsioni ma, nonostante gli enormi progressi, le previsioni sono comunque affette da errori. Come già detto, il problema di base è difficile, le procedure sono complicate e l'atmosfera è un sistema "caotico". Sistema caotico significa che tutti le piccole e grandi imprecisioni che inevitabilmente commettiamo, nel definire lo stato e dell'atmosfera e la sua evoluzione, si amplificano e propagano durante la simulazione e introducono errori nella previsione che variano nello spazio e nel tempo e da giorno a giorno. La consapevolezza della natura caotica dell'atmosfera, e l'ulteriore consapevolezza degli errori che inevitabilmente commettiamo, ha portato allo sviluppo di una branca della modellistica previsionale basata su un concetto di probabilismo: l'*ensemble forecasting*. Lo strumento di base è sempre il modello, ma, anziché produrre un solo scenario previsionale (approccio deterministico) se ne prevedono altri alternativi e teoricamente equiprobabili. L'insieme di questi scenari dovrebbe dare un quadro della possibile variabilità della previsione e, contemporaneamente, una stima della sua incertezza (o errore). L'utilizzo dell'*ensemble forecasting* implica un cambio drastico di mentalità, in quanto si passa da: "domani poveranno 50 mm in 24 ore" a: "c'è una probabilità del 60% che domani piova più di 50 mm nelle 24 ore". Il ruolo dell'utente del prodotto modellistico, previsore incluso, diventa quindi più complicato e sottile e spesso implica valutazioni costo/beneficio a volte non facili.

La modellistica previsionale sta progressivamente migliorando, ma quali sono gli sviluppi che dovrebbero giocare un ruolo rilevante nel futuro?

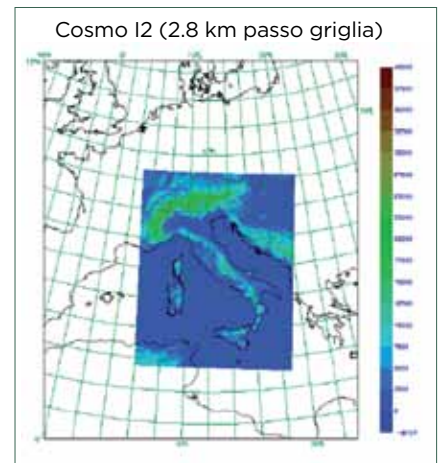
Il migliore utilizzo delle varie tipologie di osservazioni esistenti è un settore di ricerca molto attivo che dovrebbe produrre ottimi risultati. L'elenco sarebbe lungo, ma un buon esempio è costituito dagli sviluppi per l'assimilazione dei dati radar e dai nuovi sensori satellitari. Sono attualmente in fase di sviluppo nuove tecniche di assimilazione, basate sull'utilizzo dell'*ensemble forecasting*, che dovrebbero aiutare a risolvere

alcuni dei principali problemi legati all'assimilazione ad altissima risoluzione. La possibilità di caratterizzare meglio la superficie della terra (tipi di suolo, vegetazione e fasi vegetative, corpi idrici, aree urbane ecc.) e lo stato del suolo, soprattutto in termini di umidità. Una migliore descrizione del suolo, e lo sviluppo di schemi di scambio tra superficie e atmosfera più sofisticati, dovrebbero migliorare la previsione soprattutto a scala locale.

L'ulteriore aumento della risoluzione sarà anche in futuro un elemento determinante. I modelli globali (almeno alcuni di essi) hanno come obiettivo abbastanza prossimo i 10 km, mentre i modelli ad area limitata raggiungeranno nel giro di pochi anni risoluzioni dell'ordine del km. Questo implica un notevole investimento sia nello sviluppo di alcune parti dei modelli, che non sono ancora idonee a rappresentare i processi atmosferici con un dettaglio così elevato, sia delle procedure di assimilazione dati che richiedono lo sviluppo di metodologie innovative.

Il progressivo consolidamento dell'approccio probabilistico dovrà essere esteso anche all'interpretazione dei modelli deterministici ad altissima risoluzione. È chiaro che la capacità di prevedere in modo accurato, in termini di localizzazione spazio-temporale, cala con la diminuzione della scala spaziale (aumento della risoluzione). È irrealistico pensare di riuscire a prevedere, oltre le poche ore, l'occorrenza di fenomeni localizzati con precisione. Bisogna adeguare il nostro modo di pensare a questa consapevolezza e imparare a integrare strumenti deterministici con strumenti e interpretazioni probabilistici. Questo richiederà un grosso sforzo sia a livello tecnico-scientifico, per lo sviluppo dei sistemi e delle metodologie, ma anche a livello di formazione del pubblico e dell'utenza.

In conclusione, le capacità osservative, la ricerca, lo sviluppo della tecnologia e lo sviluppo dei *modelli numerici previsionali* hanno consentito di progredire nella capacità di prevedere il tempo alle varie



scale spaziali e, come descritto in altri articoli di questo numero, alle varie scadenze temporali. C'è comunque ancora tanto da fare e, in questo settore forse più che in altri, la collaborazione è fondamentale perché il problema scientifico e tecnologico è veramente complesso e oneroso. È necessario investire come Paese nella collaborazione tecnico-scientifica, ma è senza dubbio vero che, come comunità, dobbiamo investire molto nella presentazione dei prodotti, nella loro specializzazione, nella comunicazione e nella divulgazione, per consentire all'utenza di crescere con noi, di orientarsi meglio e di scegliere la professionalità in un settore che per il pubblico è ancora abbastanza confuso.

**Tiziana Paccagnella**

Servizio IdroMeteoClima,  
Arpa Emilia-Romagna

#### NOTE

<sup>1</sup> La discretizzazione a cui mi riferisco, sulla quale si basano i metodi alle differenze finite, è una delle possibili metodologie di traduzione numerica delle equazioni di base.

<sup>2</sup> Negli anni Ottanta, la risoluzione del modello del Centro europeo era tale che, a causa dell'operazione di media dell'orografia, Milano si trovava a una quota di circa ottocento metri e la Val Padana era praticamente inesistente.

#### BIBLIOGRAFIA

Carlo Cacciamani e Tiziana Paccagnella, 1999, "La previsione meteorologica", ArpaRivista, 6/1999, pp 23-27.

Charney, Fjörtoft e von Neumann, 1950, "Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation", *Tellus*, 2, 237-254.

Lynch Peter, 2011, *The Emergence of Numerical Weather Prediction: Richardson's Dream*, Cambridge University Press.