

INCERTEZZA E PREDICIBILITÀ DEI FENOMENI METEOROLOGICI

LA PREVISIONE METEO A BREVE TERMINE AD AREA LIMITATA È ESSENZIALE PER PREANNUNCIARE EVENTI CON L'ANTICIPO NECESSARIO PER I SISTEMI DI ALLERTA E INTERVENTO, MA SI DEVE CONFRONTARE CON L'AFFIDABILITÀ DEI MODELLI OGGI DISPONIBILI. IL PASSAGGIO ALLE PREVISIONI PROBABILISTICHE È AUSPICABILE, MA COMPLESSO.

È nozione oramai comune come l'atmosfera del nostro pianeta (ma in realtà l'intero sistema climatico globale atmosfera-oceano-terra-ghiacci) sia un sistema caotico, un sistema quindi deterministico nella sua evoluzione nel tempo, ma a predicibilità limitata, a causa della sua super-sensibilità ai dettagli, anche minimi, delle condizioni di partenza. Ciononostante, la *figura 1* mostra in maniera molto convincente come la qualità delle previsioni meteorologiche a grande scala (quelle che distinguono bene il nord Italia dal centro, ma non il mio giardino dal vostro, per intendersi) sia migliorata notevolmente negli ultimi 30 anni, e continui a migliorare per la concorrenza di molte ragioni, tra le quali molto importante la sempre crescente disponibilità di dati osservativi e di supercalcolo digitale.

Premesso, dunque, che le previsioni meteorologiche a grande scala forniscono risposte accettabili anche per molti giorni nel futuro prossimo, è lecito chiedersi se ci troviamo in situazione analoga nel caso della predicibilità dei fenomeni idro-meteo intensi e molto intensi di scala più piccola, del tipo, per esempio, di quelli accaduti nel passato recente in Liguria (Centro funzionale Liguria, 2011). Questo equivale a chiedersi se si è in grado di prevedere la localizzazione spaziale, la tempistica e l'intensità di sistemi temporaleschi che scaricano precipitazioni dell'ordine di 500 mm in pochissime ore e su territori di poche decine di chilometri quadrati. Per affrontare questo tema bisogna prima chiarire che cosa si intenda per previsione del fenomeno.

Se il "target" a cui si tende è una vera e propria previsione a breve e brevissimo termine (a 6, 12, 24 o 36 ore) puntuale e dettagliata, nel tempo e nello spazio, di eventi molto intensi e localizzati su piccolissime aree (qualche decina di chilometri quadrati, appunto), allora è bene ammettere subito, coerentemente

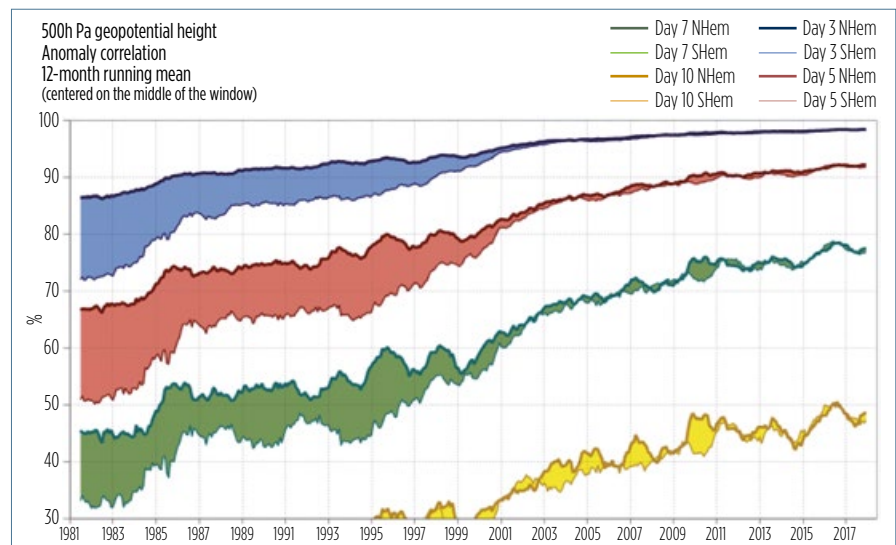


FIG. 1 EVOLUZIONE DELLE PREVISIONI

La figura illustra come il coefficiente di correlazione tra previsione e realtà dell'altezza del geopotenziale al livello di 500hPa (circa 5 km di altezza) sia molto cresciuto durante i trascorsi decenni, a partire dagli anni '80, e come il modello dell'Ecmwf di Reading (ancora oggi il migliore al mondo) sia oggi in grado di prevedere con ragionevole accuratezza (correlazione dell'ordine del 50%) l'evoluzione della situazione meteorologica a grande scala fino a quasi 10 giorni. Le previsioni a 7 giorni sorpassano il 75% e quelle a 3 giorni il 90% (dati e grafica sul sito Ecmwf).

con la natura caotica della nostra atmosfera, che per ora siamo ancora lontani da questo obiettivo. Se si parla invece di previsione di *nowcasting* (da 1/2 ora, a 1-3 ore prima dell'occorrenza dei fenomeni) allora il target è più a portata di mano. Le nubi temporalesche e i sistemi precipitanti possono essere individuati con successo e seguiti con buona approssimazione nella loro evoluzione da strumenti come i satelliti, i radar meteorologici e le reti al suolo, reti queste ultime, che sono state negli ultimi decenni potenziate nel nostro paese sino ad avere una eccellente copertura a scala nazionale. Ma si pone, poi, il problema di come dispiegare un eventuale sistema di intervento di protezione civile con un così breve tempo di preannuncio. In realtà il *nowcasting* è oggi particolarmente utile, e anzi fondamentale, per il monitoraggio di un evento in atto, quando il sistema di intervento è già stato attivato.

La previsione meteo a breve termine, per il suo orizzonte temporale sino a 12-24-

36 ore, rimane quindi l'unica previsione in grado di preannunciare i fenomeni meteo intensi con un anticipo tale da permettere prima di tutto la realizzazione di una adeguata modellistica idrologico-idraulica in cascata e quindi poi un eventuale intervento per contrastare l'evento atteso. Ma è necessario fare i conti con i limiti oggettivi di questo tipo di catena previsionale. Oggi per ottenere previsioni meteo dettagliate, anche in termini di previsioni quantitative (ad esempio le stime di precipitazione), si usano in primo luogo i modelli ad area limitata (*Lam, Limited-Area Model*) ad alta risoluzione, usati in modalità deterministica e/o di ensemble (Cacciamani, 2012). Gli standard attuali di questi modelli utilizzano risoluzioni orizzontali che vanno da 1 a 10 km. In particolare, in Italia viene utilizzato il modello Cosmo-Lami (*Limited Area Model Italy*), gestito anche da Arpa Emilia-Romagna nell'ambito dell'accordo Lami (tra Aeronautica militare, Arpa e Arpa Piemonte), e per conto del

Dipartimento di Protezione Civile, vedi sitografia) in due versioni, a 5 km e a 2,2 km di risoluzione orizzontale.

La domanda che ci si pone è se, con questi modelli a disposizione, si riesca ad avere sempre un quadro affidabile della possibile occorrenza di eventi catastrofici generati dai fenomeni idro-meteo intensi, con un orizzonte temporale anche breve (12-24-36 ore).

L'incertezza dei modelli ad area limitata

Il problema principale di tutti i modelli ad area limitata è che l'esatta localizzazione, con appunto 12-24-36 ore di anticipo, di un evento molto intenso ma anche molto limitato spazialmente e di durata molto breve, è decisamente difficile da ottenere (un temporale organizzato ha una dimensione approssimativa di $5-10 \times 5-10=25-100 \text{ km}^2$ e una durata temporale da una a pochissime ore). Una previsione affidabile è possibile, e non in tutte le situazioni, solo per areali dell'ordine di 50 km di dimensioni lineari ($1.000-2.000 \text{ km}^2$). Soprattutto nel caso di fenomeni precipitanti spazialmente molto limitati, ma comunque in grado di produrre intensità di precipitazioni molto elevate (anche 400-500 mm in 6-12 ore), sono purtroppo frequenti errori di localizzazione, di esatta tempistica o di intensità dei fenomeni previsti (che si traducono localmente in sottostime o sovrastime, anche rilevanti). Abbiamo a che fare con fenomeni fisici che per dimensioni e per dinamiche proprie sfuggono talvolta alle capacità dei nostri migliori sistemi osservativi e modelli operativi e forse non potranno mai essere previsti con la precisione desiderata, anche con risoluzioni spaziali oggi inaffrontabili operativamente a causa dei costi computazionali (10-100 metri?). Non è quindi possibile (e forse non lo sarà nemmeno in un prossimo futuro) essere certi sulla quantità e sulla localizzazione dei massimi di precipitazione prodotti da questi strumenti modellistici, e il rischio che il previsore corre è quello di produrre spesso "falsi allarmi" o "mancati allarmi", che devono poi essere gestiti operativamente in maniera ottimale. È poi comprensibile come l'incertezza generata dalle previsioni meteo si vada a comporre con quella (di solito, ma non sempre) minore generata in cascata dalla modellistica idrologico-idraulica, step successivo per prevedere le portate

dei corsi d'acqua, e quindi i fenomeni di inondazione alle varie scale temporali, da quella delle *flash-flood* a quella degli eventi idrologico-idraulici più lenti e a scala più grande.

Le cause di tutti questi errori sono varie: oltre alla caoticità intrinseca della fisica dei fenomeni meteorologici, una imperfetta caratterizzazione delle condizioni iniziali da cui partono le simulazioni, una non realistica descrizione della microfisica delle nubi all'interno dei modelli, imperfette condizioni al "contorno" che guidano le integrazioni modellistiche ad area limitata e che provengono da modelli a scala più grande (globali) a loro volta affetti da errori. Il "combinato disposto" di tutti questi errori produce quella che sempre di più viene indicata con il termine di "incertezza della previsione". L'incertezza della previsione si può quindi, con molta buona scienza, talvolta ridurre, ma non si può completamente rimuovere. Tutto ciò che si può fare è imparare a gestirla correttamente e a neutralizzarne gli effetti perniciosi sul successivo utilizzo delle previsioni.

Ensemble e probabilità

Ma cosa significa "gestire correttamente l'incertezza"? Innanzitutto non si deve assumere che una previsione sia perfetta (utilizzandola come se lo fosse), sapendo benissimo che potrebbe non esserlo. Partendo dal presupposto che la previsione ha in sé una quota di incertezza, a ogni previsione dovrebbe essere sempre associata una stima quantitativa dell'errore probabile. Il "problema dell'incertezza" è una delle principali ragioni della progressiva transizione, già da tempo in atto nelle sale operative dei più importanti servizi idro-meteorologici europei, dalle cosiddette previsioni deterministiche alle previsioni di *ensemble* o in probabilità.

Che cosa si intende per previsione deterministica? È una sola previsione elaborata da un unico modello che, a partire da una sola condizione iniziale, produce un'unica previsione quantitativa, per l'osservabile richiesto alla scadenza richiesta. Vi può essere associata una stima dell'errore, che è però una stima fissa e invariabile, di natura del tutto statistica. Una caratteristica importante delle previsioni deterministiche è che ogni dato osservabile previsto supera o non supera una data soglia: il modello deterministico non ha mai dubbi. Può

sbagliare talvolta (magari spesso e anche di molto) ma non ha mai dubbi e, in apparenza, non trasmette dubbi all'utilizzatore/decisore, malgrado il suo errore sia essenzialmente ignoto. Ma, come già più volte accennato, l'atmosfera è un sistema caotico in senso fisico, quindi piccoli errori nelle condizioni iniziali di una previsione possono (possono, non è detto che debbano necessariamente farlo subito o anche soltanto presto) crescere moltissimo, fino a diventare errori così grandi da rendere la previsione priva di valore e quindi anche potenzialmente fuorviante. Poiché non c'è un modo semplice di prevedere come e quanto rapidamente la crescita degli errori si realizzerà in una particolare situazione, la sola (sola nel senso di unica) previsione deterministica può essere affetta da errori enormi e totalmente imprevedibili, perché noi abbiamo a disposizione soltanto una stima statistica e vaga del suo errore, uguale tutti i giorni, uguale sia nel giorno in cui la previsione sarà quasi perfetta, sia nel giorno in cui sarà totalmente sbagliata. Una stima quantitativa di questo errore è, invece, prodotta dalle previsioni probabilistiche, che permettono di rendere più gestibile la quota d'incertezza, stimandola a priori.

La previsione probabilistica, o in probabilità, viene oggi generalmente prodotta da sistemi cosiddetti di *ensemble* (*Ensemble forecasting*, Wikipedia, vedi sitografia, ma anche Ecmwf, 2007; Marsigli et al., 2005). Con un sistema di *ensemble* si genera un numero variabile di previsioni (10, 50, 100 o più in funzione della potenza di calcolo disponibile), che possono essere raggruppate in scenari, a ciascuno dei quali si associa una probabilità di realizzazione (*figura 2*). In altri termini, la previsione probabilistica fornisce una probabilità di superamento di una soglia data per ogni osservabile da prevedere alle varie scadenze temporali.

La modellistica di *ensemble* permette, dunque, di calcolare la probabilità di occorrenza di eventi, anche estremi, in una data area, facendo "correre" (come si dice in gergo) svariate volte un modello, globale o ad area limitata, partendo da condizioni iniziali leggermente diverse tra loro (ma quasi equiprobabili) e/o perturbando durante le integrazioni modellistiche le parametrizzazioni dei processi microfisici. L'idea è quindi che le previsioni di *ensemble* generano tanti "mondi" possibili e vanno a verificare se e come si realizza l'evento che vogliamo prevedere in tutti questi "mondi". Dalla frequenza di accadimento

dell'evento nell'ensemble modellistico si ottiene così una stima della probabilità condizionata di accadimento dell'evento reale, "contando" se l'evento si realizza nella maggioranza o nella minoranza dei casi, se non si realizza mai, o se si realizza in tutti o quasi i "mondi". In Italia sono da tempo disponibili operativamente due sistemi di ensemble, quello globale dell'Ecmwf (18 km di risoluzione orizzontale, vedi sitografia Ecmwf, ma anche Barkmeijer et al., 2012) e quello ad area limitata Cosmo-Leps, gestito da Arpa Emilia-Romagna sui sistemi dell'Ecmwf (con una risoluzione orizzontale di 5 km). Presto sarà disponibile anche un terzo sistema nazionale di ensemble a più alta risoluzione (2,2 km, Cosmo-It-Eps, vedi sitografia Cosmo e Cosmo-Leps).

Previsioni probabilistiche e gestione delle allerte

Appare subito evidente la superiorità teorica di un sistema previsionale che, invece di una singola previsione deterministica con un errore conosciuto soltanto in una sua stima molto approssimativa, fornisce un insieme di previsioni raggruppate in scenari e a ognuno di essi associa una stima della probabilità di accadimento. Ma un siffatto sistema è davvero il migliore anche nella pratica reale? È davvero migliore per la Sala situazione della Protezione civile, cioè può essere utilizzato al meglio in una situazione reale di sala operativa per prendere decisioni di allertamento e poi di intervento?

Va detto fin da subito che affinché la previsione probabilistica diventi effettivamente lo strumento previsionale privilegiato anche nella pratica quotidiana (e nella catena operativa del sistema di allertamento) è necessario superare una certa "resistenza culturale" alla sua diffusione, e questo è un processo già avviato in altri paesi (ad esempio negli Stati Uniti e in Gran Bretagna). Elemento fondamentale di questo processo è una pianificazione concertata tra i vari attori coinvolti nelle valutazioni idro-meteorologiche e nelle decisioni operative, che metta in condizioni l'intero sistema di utilizzare correttamente la previsione probabilistica, più ricca da un punto di vista informativo, ma potenzialmente più complessa da elaborare, da comunicare e da utilizzare operativamente. L'univocità della previsione deterministica ha fatto sì che fino a ora sia stata preferita, anche perché più confacente alle logiche di

comunicazione mediatica (per la sua semplicità e brevità) e alle esigenze di facilità di comprensione del pubblico e di immediatezza degli stessi decisori finali. Alla transizione completa verso la previsione probabilistica devono quindi concorrere anche altri saperi, oltre a quelli meteorologici e idrologico-idraulici: le valutazioni economiche dei rapporti costi-benefici degli interventi, le

scienze della comunicazione, le scienze sociali oltre che il sistema educativo, per creare l'indispensabile cornice culturale favorevole a questo indispensabile passo avanti.

Stefano Tibaldi

Centro euro-mediterraneo sui cambiamenti climatici (Cmcc)

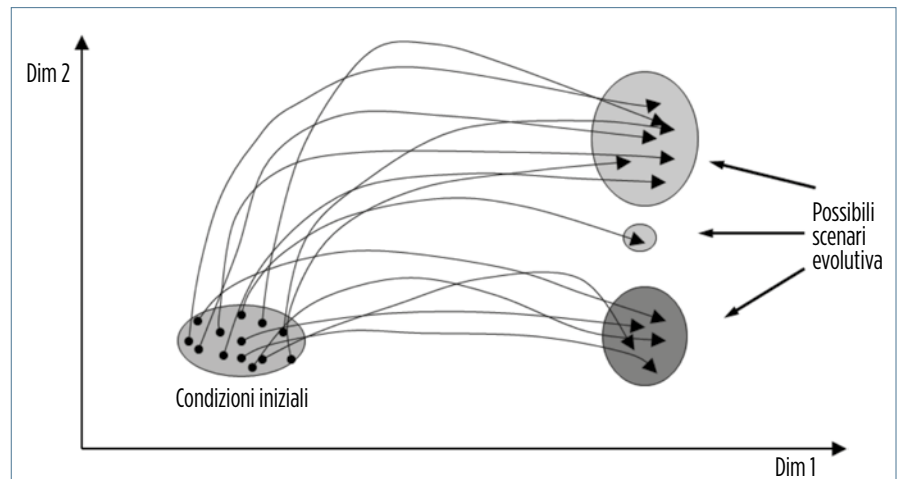


FIG. 2 PREVISIONI DI ENSEMBLE

È rappresentato, in uno "spazio delle fasi (Sdf) semplificato dell'atmosfera" lo schema di una previsione di ensemble, fornita da un modello numerico di previsione meteorologica. A partire da condizioni iniziali quasi equiprobabili, il modello evolve nel tempo "disegnando" diverse possibili "traiettorie". In tale Sdf le diverse soluzioni finali tendono a raggrupparsi all'interno di uno o più scenari futuri. Il numero più o meno grande dei membri dei diversi scenari può essere collegato con la "probabilità", più o meno elevata, di occorrenza di quel dato scenario meteorologico (Ensemble forecasting, Wikipedia, vedi sitografia; Ecmwf, 2007; Marsigli et al., 2005; Barkmeijer et al., 2012; Cosmo e Cosmo-Leps, vedi sitografia).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFIA

Barkmeijer J., R. Buizza, E. Kallen, F. Molteni, R. Mureau, T. Palmer, S. Tibaldi, J. Tribbia, 2012, "20 years of ensemble prediction at Ecmwf", *Ecmwf Newsletter*, No. 134, Winter 2012/13, disponibile su: www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2012/14577-newsletter-no134-winter-201213.pdf

Cacciamani C., 2012, "La scienza del meteo", *Linx Magazine* 11, http://media.pearsonitalia.it/0.83572_1413206855.pdf

Centro funzionale meteo-idrologico di protezione civile, Regione Liguria, 2011, "Alluvioni in Liguria, i fattori meteo e gli effetti", *Ecoscienza*, 5/6-2011, 6-10, www.arpae.it/cms3/documenti/_cerca_doc/ecoscienza/ecoscienza2011_5e6/arpa_liguria_es5e6_2011.pdf

Cosmo (Consortium for small-scale modeling), www.cosmo-model.org

Cosmo-Leps, Limited Area Ensemble Prediction System of Consortium for Small-scale Modeling, www.cosmo-model.org/content/tasks/operational/leps/default.htm http://www.cnrm.meteo.fr/icam2007/ICAM2007/extended/manuscript_118.pdf

Ecmwf, European Centre for Medium-range Weather Forecasts, www.ecmwf.int

Ecmwf, 2007, *Proceedings of the ECMWF Workshop on Ensemble Forecasting*, disponibile su www.ecmwf.int/en/learning/workshops-and-seminars/past-workshops/2007-ensemble-prediction

Ensemble Forecasting (o Previsioni di Ensemble), Descrizione delle Previsioni di ensemble, http://en.wikipedia.org/wiki/Ensemble_forecasting

Marsigli C., A. Montani, T. Paccagnella, D. Sacchetti, A. Walsler, M. Arpagaus, T. Schumann, 2005, *Evaluation of the Performance of the Cosmo-Leps System*, *Cosmo Technical Report* n. 8, disponibile su www.cosmo-model.org/content/model/documentation/techReports/docs/techReport08.pdf

Tibaldi S., 2012, "Catena di responsabilità e catena decisionale: problemi irrisolti", Atti dell'Incontro-Dibattito "Cosa non funziona nella difesa dal rischio idrogeologico nel nostro paese? Analisi e rimedi", Roma, 23 marzo 2012, Atti dei Convegni Lincei n. 270, pp 77-95.