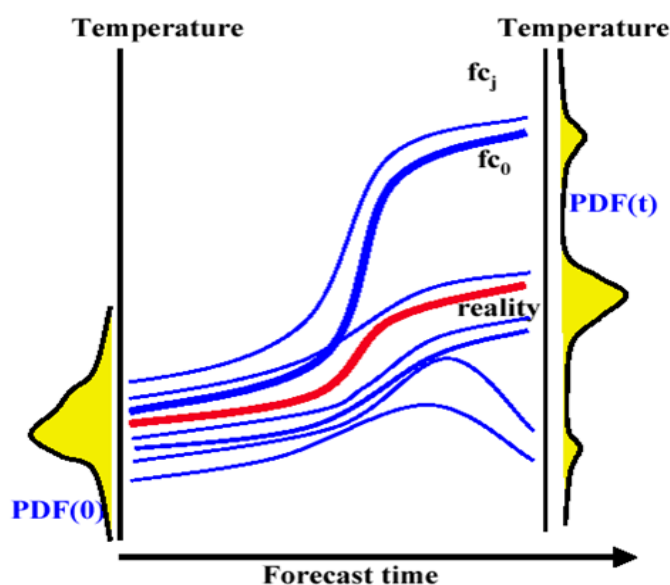


La previsione probabilistica

L'atmosfera è per natura un sistema caotico, pertanto la sua evoluzione nel tempo dipende sensibilmente dalle condizioni iniziali: variazioni infinitesime di queste possono dar luogo a grandi variazioni nel comportamento a lungo termine del sistema.

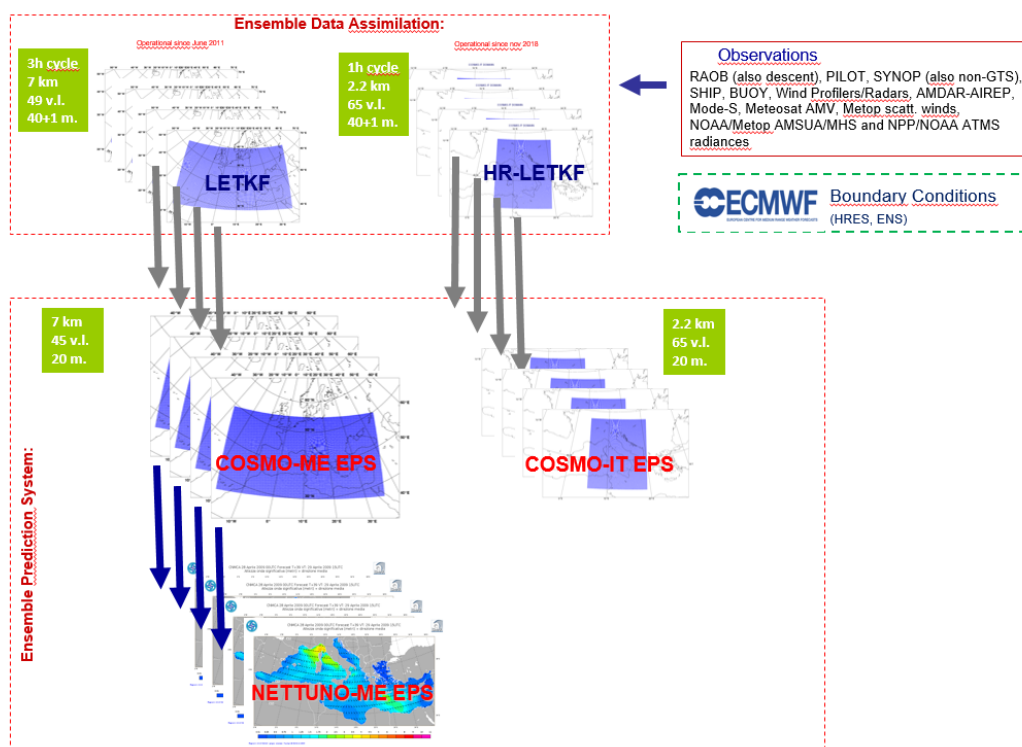
Non si conoscono con esattezza le condizioni iniziali del sistema atmosfera, in quanto si dispone soltanto di osservazioni disomogenee, frammentarie e asincrone, dalle quali attraverso elaborati algoritmi si ricava lo stato iniziale, detto analisi, che viene poi fatto evolvere nel tempo con l'ausilio di un modello numerico per la previsione dell'evoluzione del sistema atmosferico alle varie scadenze temporali. Una minuscola variazione nelle condizioni iniziali di un sistema può farlo evolvere in un modo completamente diverso da quello atteso, il che può contemplare anche lo sviluppo di fenomeni estremi. Se a questi errori si sommano altri fattori, insiti nella metodologia numerica stessa, è evidente che il carattere caotico del sistema atmosfera può proiettare l'errore dell'analisi in una errata valutazione dell'evoluzione del tempo atmosferico. Pertanto accanto agli usuali sistemi di previsione meteorologica detti "deterministici", cioè che forniscono la "migliore" previsione dello stato futuro dell'atmosfera, sono stati sviluppati sistemi di previsione probabilistica. Sulla scia di questo cambio di paradigma negli ultimi decenni la comunità internazionale ha investito risorse in una nuova generazione di metodi di previsione basati su tecniche di *ensemble*.

Il concetto di *ensemble* si concretizza nella valutazione di un insieme di possibili previsioni. Partendo dalla consapevolezza che lo stato iniziale è un'approssimazione di quello reale dell'atmosfera, si genera un insieme di N stati iniziali all'interno del quale ci si aspetta ricada anche lo stato reale dell'atmosfera. A questo punto, le equazioni del moto sono applicate a ciascuno degli N membri dell'insieme degli stati iniziali, ottenendo quindi N evoluzioni diverse, all'interno dei quali dovrebbe ricadere lo stato finale reale. Dall'analisi statistica sugli N stati finali si otterrà l'evoluzione meteorologica più probabile e la sua incertezza.



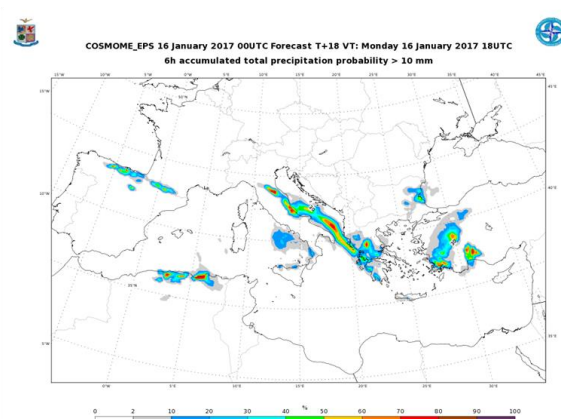
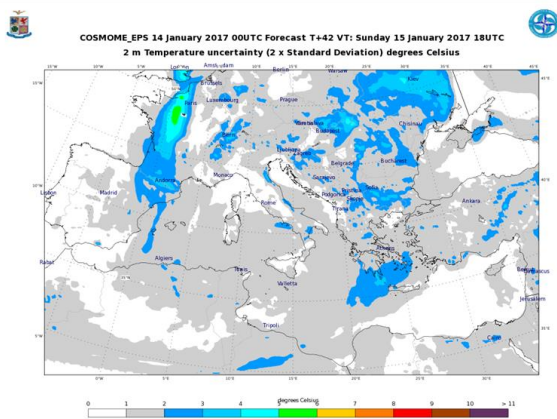
Avendo a disposizione uno schema di analisi probabilistico (LETKF, vd approfondimento [approfondimento_assimilazione.doc](#) [1,2]) l'implementazione di un sistema di previsione probabilistico (*Ensemble Prediction System* - EPS), seppur dispendiosa dal punto di vista computazionale, è diretta. L' *ensemble* delle previsioni può essere ottenuto integrando, fino alla scadenza desiderata, la previsione del modello COSMO (configurazione COSMO-ME o COSMO-IT), partendo dalle diverse condizioni iniziali (*ensemble di analisi*). Da maggio 2014 è stato implementato presso il Servizio Meteorologico dell'AM il sistema di previsione probabilistico dell'atmosfera a scala regionale COSMO-ME EPS e più recentemente (dicembre 2018) il sistema di previsioni probabilistico ad alta risoluzione sullo scenario Italiano COSMO-IT EPS. Il sistema LETKF è utilizzato, in entrambi i sistemi, per rappresentare l'incertezza delle condizioni iniziali, ma particolare sforzo è stato dedicato all'implementazione di nuove tecniche perturbative per una migliore rappresentazione del cosiddetto *model error*, con impatto positivo sulla determinazione delle condizioni iniziali e sulla distribuzione dell'ensemble di previsione.

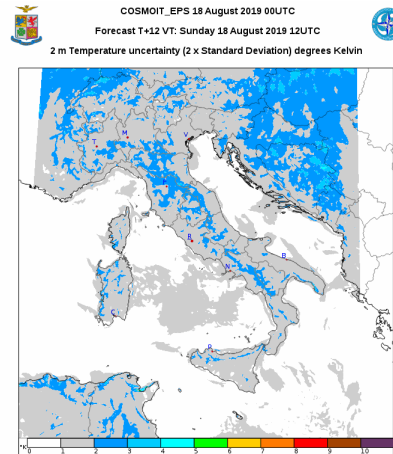
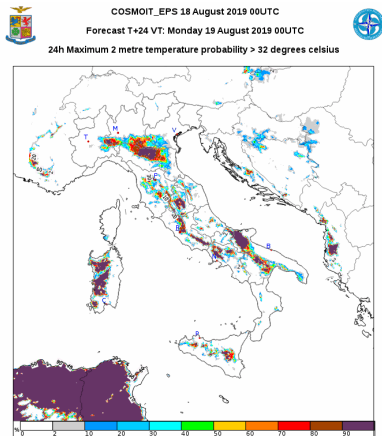
Nella versione operativa sullo scenario Euro-Mediterraneo sono stati implementati il metodo di inflazione “moltiplicativo” Relaxation-to-prior spread” (Whitaker et al. 2012 [3]), il metodo cosiddetto “additivo”, che utilizza le perturbazioni del sistema EPS-ECMWF opportunamente scalate, la perturbazione stocastica della SST (*sea surface temperature*) e la tecnica Stochastic Physics Perturbation Tendencies (Buizza et al, 1999 [4]; Palmer et al, 2001 [5]), che agisce durante l'integrazione del modello. Trattandosi inoltre di un modello a scala regionale, le condizioni al contorno, che per il modello COSMO-ME sono ricavate dalla previsione deterministica del modello IFS (ECMWF), vengono anch'esse perturbate utilizzando il sistema di previsioni probabilistico EPS dell'ECMWF. La versione attuale del sistema COSMO-ME EPS consiste di 20 membri integrati fino a 72 ore due volte al giorno (00 e 12 UTC) su una griglia con passo di 7 km (0.0625°) e 45 livelli verticali ed estensione di COSMO-ME. COSMO-ME EPS usa una selezione delle condizioni iniziali prodotte dal sistema LETKF e condizioni al contorno dall'EPS di ECMWF.



Nel corso del 2014 è stata effettuata la validazione del sistema COSMO-ME EPS e le verifiche stagionali delle previsioni dei parametri al suolo. I sistemi COSMO-ME EPS e COSMO-IT EPS vengono utilizzati per la produzione operativa dei prodotti probabilistici relativi ai parametri più significativi. Per la temperatura a 2 metri, il vento al suolo e la precipitazione (anche a carattere nevoso) vengono quotidianamente calcolate la probabilità che il parametro superi delle soglie prefissate e l'incertezza associata alla previsione, quest'ultima derivata dalla varianza dell'insieme di previste nei vari punti di griglia del dominio. Le soglie nello specifico sono state stabilite sulla base delle condizioni di avviso dettate nelle direttive in uso presso la sala previsioni operativa dell'AM. La probabilità di precipitazione alle diverse scadenze viene visualizzata sia nei meteogrammi disponibili sul sito www.meteoam.it per tutti i comuni italiani, sia nelle previsioni per località consultabili dalla APP del Servizio Meteorologico dell'AM.

E' stato implementato anche un sistema di previsioni probabilistiche ad alta risoluzione (COSMO-IT EPS), operativo da novembre 2018, costituito da 20 membri integrati fino a 48 ore due volte al giorno (00 e 12 UTC) sulla griglia di COSMO-IT (2.2 km e 65 livelli verticali). COSMO-IT EPS usa una selezione delle condizioni iniziali prodotte dal sistema LETKF ad altissima risoluzione (HR-LETKF) e condizioni al contorno dall'EPS di ECMWF. Nello schema sono stati implementati il metodo di inflazione "moltiplicativo" Relaxation-to-prior perturbation" (Zhang et al, 2004 [6]) in combinazione con "adaptive multiplicative covariance inflation", il metodo cosiddetto "additivo" di tipo climatologico, la perturbazione stocastica delle variabili SST, WSO e TSO (*sea surface temperature, soil moisture and temperature*) e la tecnica Stochastic Physics Perturbation Tendencies (Buizza et al, 1999 [4]; Palmer et al, 2001 [5]), che agisce durante l'integrazione del modello.





Parallelamente, in collaborazione con ISMAR-CNR, è stato implementato un sistema di previsione probabilistica dello stato del mare (vedi approfondimento_previ_mare.doc) basato sul sistema NETTUNO [7,8,9,10,11,12] e sul COSMO-ME EPS (NETTUNO-ME EPS [13]). La previsione probabilistica dello stato del mare è ottenuta forzando il modello delle onde con le 20 previste orarie del vento in superficie di COSMO-ME EPS. NETTUNO-ME EPS consiste pertanto di 20 membri, integrati fino a 48 ore, una volta al giorno (00UTC), nel bacino Mediterraneo.

Referenze

- [1] Bonavita M, Torrisi L, Marcucci F. 2008. The ensemble Kalman filter in an operational regional NWP system: Preliminary results with real observations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 134, 1733-1744.
- [2] Bonavita M, Torrisi L, Marcucci F. 2010. Ensemble data assimilation with the COMET regional forecasting system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 136, 132-145.
- [3] Whitaker, J. S. and Hamill, T. M. 2012. Evaluating methods to account for system errors in ensemble data assimilation. *Mon. Wea. Rev.* 140, 3078_3089.
- [4] Palmer, T. N. (2001). A nonlinear dynamical perspective on model error: A proposal for non-local stochastic-dynamic parametrization in weather and climate prediction models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 127, 279–304
- [5] Buizza, R., Miller, M., and Palmer, T. N. (1999). Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF ensemble prediction system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 125, 2887–2908
- [6] Zhang F, Snyder C, Sun J. (2004). Impacts of initial estimate and observation availability on convective-scale data assimilation with an ensemble Kalman filter. *Mon. Weather Rev.* 132: 1238–1253,
- [7] Bertotti, L., Cavaleri L., Loffredo L., and Torrisi L., (2013) “Nettuno: analysis of a wind and wave forecast system in the Mediterranean Sea”. *Monthly Weather Review*, 141, No.9, 3130-3141. doi: 10.1175/MWR-D-12-00361.1
- [8] Bertotti L., Cavaleri L., De Simone C., Torrisi L., Vocino A., (2010) "Il sistema di previsione del mare "Nettuno". *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, pag. 25.
- [9] Wamdi group (1988), “The WAM model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model”, *Journal of Physical Oceanography*, 18, 1775-1810.
- [10] Peter Janssen (2004), “The Interaction of Ocean Waves and Wind”, Cambridge University Press.

[11] Komen et al. (1994), "Dynamics and Modelling of Ocean Waves", Cambridge University Press.

[12] Holthuijsen, L.H. (2007), "Waves in Oceanic and Coastal Waters", Cambridge University Press.

[13] Pezzutto, P., A. Saulter, L. Cavaleri, C. Bunney, F. Marcucci, L. Torrisi, S. Sebastianelli(2016), Performance comparison of meso-scale ensemble wave forecasting systems for Mediterranean sea states, Ocean Modeling, 104, pp 171-186