

Relazione sull'attività didattico-scientifica di fine anno (secondo)

Dottorato di Ricerca in Fisica – XXXI ciclo

Dottorando: Andrea **Tateo**

Tutor: prof. Roberto **Bellotti**

Co-tutor: dr. Micaela **Menegotto**, dr. Mario Marcello **Miglietta**

Titolo provvisorio della tesi di dottorato: “**Sviluppo di modelli di previsione meteo su scala regionale**”

INDICE

1. Attività scientifica

1.1 Introduzione	2
1.2 Sistemi Caotici	2
1.3 Descrizione analisi	4
1.4 Risultati	6
1.4.1 Approccio categorico	6
• GFS	6
• ECMWF	6
1.4.2 Approccio probabilistico – GEFS	6
• Percentuale di Ensemble	7
• Percentili della distribuzione di Ensemble	8
• PDF (funzione densità di probabilità) degli <i>Ensemble</i>	9
1.5 Conclusione analisi <i>Ensemble</i>	10
1.6 Sviluppi Futuri	10
2. Partecipazione a Congressi	10
3. Pubblicazioni	11
 <i>Riferimenti bibliografici</i>	 11

1. Attività scientifica

1.1 Introduzione

L'argomento proposto per la ricerca riguarda lo studio delle dinamiche fisiche della bassa troposfera, all'interno del PBL (Planetary Boundary Layer), nel territorio pugliese. L'analisi è stata effettuata con l'utilizzo del modello numerico di previsioni meteorologiche "Weather Research and Forecasting" (WRF). L'atmosfera è, per sua natura, un sistema dinamico non lineare, nel senso che può essere descritta da un sistema di equazioni differenziali non lineari (le variabili non compaiono solo al primo ordine) con un numero finito di gradi di libertà che evolve nel tempo secondo una legge deterministica. Sistemi del genere presentano una critica dipendenza da variazioni delle condizioni iniziali, anche piccole, che rende l'evoluzione temporale del sistema imprevedibile. Questa caratteristica è ciò che fa assegnare a un sistema deterministico l'appellativo "deterministico-caotico".

1.2 Sistemi Caotici

Abbiamo parlato di sistemi caratterizzati da un determinismo caotico come di quei sistemi la cui evoluzione temporale è fortemente dipendente dalle condizioni iniziali. Si pensi ad una matita posta in posizione verticale su una superficie piana; se la lasciassimo cadere, lungo quale direzione cadrà? È evidente come, sebbene la caduta della matita è governata dalle leggi della dinamica sotto l'azione della forza di gravità, delle reazioni vincolari e delle forze di attrito, sarà difficile predire l'esatta direzione. Sappiamo che se la matita cade è perché non è esattamente in posizione "verticale" e, quindi, la sua posizione differirà dalla posizione di equilibrio di pochissimo verso una particolare direzione che però "non conosciamo". Se la conoscessimo, prevedere la direzione di caduta sarebbe sicuramente più fattibile.

Allo stesso modo, l'atmosfera, sebbene governata da equazioni deterministiche, come dimostrato da Edward Norton Lorenz, matematico e meteorologo statunitense, nel suo famoso trattato "*The essence of chaos*" [1], presenta carattere caotico.

Nel suo lavoro, Lorenz ha realizzato un toy model costituito da un set di tre equazioni differenziali più semplice di quelle che descrivono l'atmosfera. Il modello ideato da Lorenz nel 1963 voleva riprodurre il moto di una cella convettiva e lo fece considerando solo tre variabili: la velocità di rotazione (x), la differenza di temperatura orizzontale alle estremità della cella (y) e la variazione della temperatura nel caso di una stratificazione verticale stabile (z).

Il set di equazioni considerate fu:

$$\frac{dx}{dt} = \sigma(y - x)$$

essendo σ , r , e b delle costanti che Lorenz, nel suo lavoro fissò paria $\sigma = 10$, $b = 8/3$, $r = 28$.

$$\frac{dy}{dt} = rx - y - xz$$

Lorenz osservò che, in corrispondenza di questi valori, le soluzioni del sistema risultavano fortemente dipendenti dalle condizioni iniziali: partendo da due stati iniziali che differivano di un $d\epsilon$ piccolo a piacere, questa differenza cresceva nel tempo fino a rendere gli stati molto diversi tra loro.

$$\frac{dz}{dt} = xy - bz$$

In fig. 1 riporto i risultati ottenuti riproducendo il toy model di Lorenz in

ambiente Matlab.

La stima dell'evoluzione temporale è stata eseguita per 100 unità di tempo.

Dalla fig. 2 si evince come, nella prima fase dell'evoluzione, le due traiettorie sono vicine tra loro ma dalla quattordicesima unità di tempo cominciano a discostarsi fino ad oscillare in maniera opposta.

In fig. 3 riporto invece lo spazio delle fasi, rappresentativo delle tre variabili. Da qui si può evincere che le due traiettorie nel complesso sembrano quasi sovrapporsi.

In fig. 4 riporto lo spazio delle fasi e l'evoluzione delle due traiettorie solo nelle prime venti unità temporali. In questa rappresentazione si evince come le due traiettorie risultano separarsi nel tempo. Infatti all'istante 20 la traiettoria "blu" la si vede isolata.

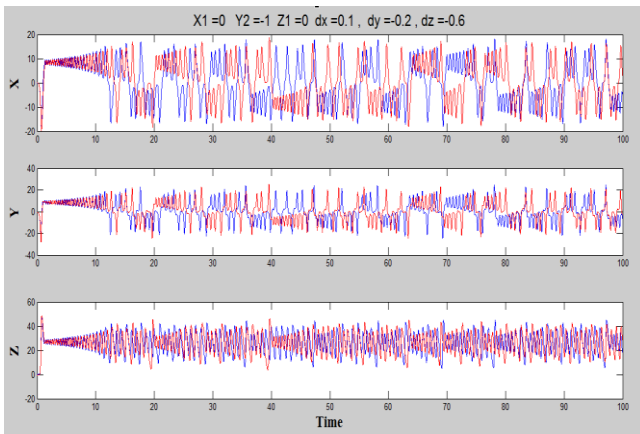


Fig. 1: Evoluzione temporale delle tre variabili nel toy model di Lorenz in 100 unità di tempo (simulazione eseguita in ambiente Matlab).

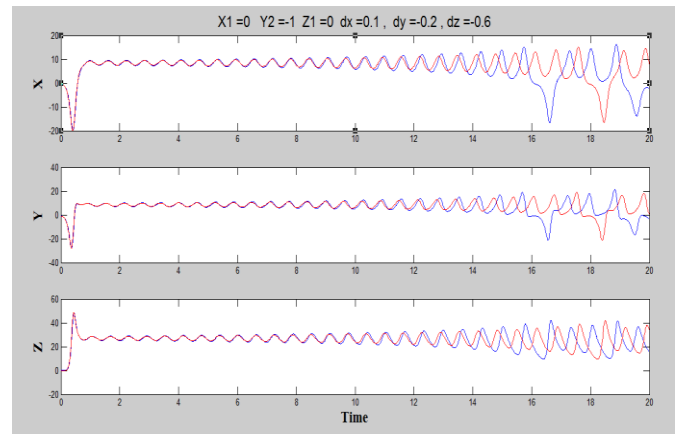


Fig. 2: Dettaglio dell'evoluzione temporale delle tre variabili nel toy model di Lorenz relativa alle prime 20 unità di tempo (simulazione eseguita in ambiente Matlab).

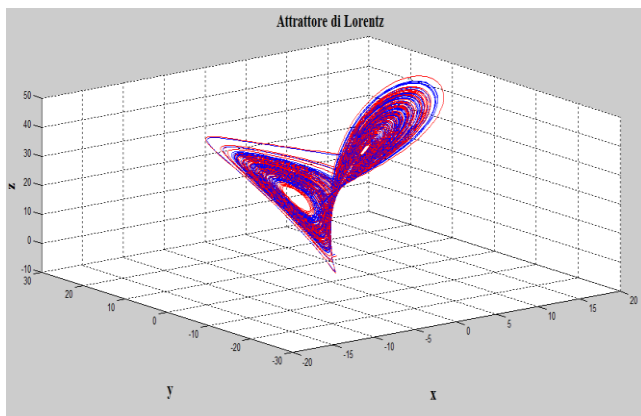


Fig. 3: Spazio delle fasi del sistema considerato da Lorenz con le due particolari traiettorie evolutive per 100 unità di tempo (simulazione eseguita in ambiente Matlab).

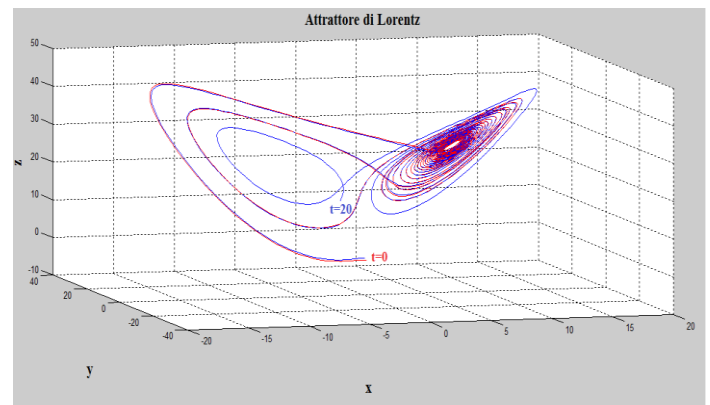


Fig. 4: Spazio delle fasi del sistema considerato da Lorenz con le due particolari traiettorie evolutive nelle prime 20 unità di tempo (simulazione eseguita in ambiente Matlab).

Quando Lorenz osservò le soluzioni del suo modello si accorse che l'evoluzione di due stati inizialmente vicini tra loro lo restavano solo per un breve periodo. Dopo un certo tempo, le traiettorie si separano significativamente. Le due atmosfere diventano sensibilmente diverse: **si tratta della dipendenza sensibile alle condizioni iniziali**. A tali sistemi, Lorenz attribuì il carattere di **“caotico”**. Nel 1972 Edward Norton Lorenz doveva presentare i suoi studi a un prestigioso congresso ma tardava a mandare i suoi lavori; fu l'organizzatore del convegno che scelse il titolo: «Predicibilità: può il battere d'ali di una farfalla in Brasile provocare un tornado nel Texas? Fu la nascita dell'effetto farfalla» [2].

Il concetto di caotico assume un importante significato nell'ambito delle previsioni meteorologiche se si pensa che fare previsione significa stimare a un tempo futuro le variabili prognostiche, cioè quelle indipendenti (la temperatura al suolo e in quota, la pressione al suolo, l'umidità e le due componenti orizzontali della velocità del vento al suolo e in quota) noto il loro valore agli istanti passati e all'istante presente.

Il problema risiede nel fatto che il valore attuale delle variabili viene acquisito mediante misurazioni dirette e indirette e in quanto tali inevitabilmente affette da incertezza o errore. Quindi avremo i valori reali che individueranno un punto nello spazio delle fasi e i valori stimati che invece individueranno un punto distante un $d\epsilon$ dal punto reale. Per quanto già detto, è possibile che l'evoluzione stimata del sistema atmosfera, diverga rispetto all'evoluzione temporale del sistema reale; la traiettoria stimata è differente dalla traiettoria reale.

A tal proposito, i diversi centri mondiali di previsione meteorologica hanno elaborato un metodo di previsione che tiene conto anche della natura stocastica dell'evoluzione dell'atmosfera, in

associazione alla previsione deterministica.

Tale metodo di previsione è conosciuto come *Ensemble Prediction System* (EPS), ed è basato sull'analisi di crescita dell'errore in un "ensemble" di previsioni opportunamente perturbate, in modo da ottenere una stima della realizzabilità della previsione deterministica imperturbata (previsione di controllo, "control member" - c_{00}).

Lo scopo delle perturbazioni iniziali è quello di riuscire a campionare le funzioni di densità di probabilità dell'errore (PDFs) dello stato dell'atmosfera per rappresentare l'incertezza dell'analisi. In questo modo, invece di fare affidamento sulla sola previsione deterministica si potrebbe associare una previsione su basi statistiche [3; 4].

In pratica, quello che si fa è procedere ad una integrazione multipla delle equazioni atmosferiche inserendo piccole perturbazioni alle condizioni iniziali, in modo da riprodurre sia l'incertezza delle misurazioni che l'inesattezza del modello.

L'errore introdotto dalla misura delle condizioni iniziali non è l'unica fonte di errore nella previsione dello stato finale. Infatti si deve tener conto anche degli eventuali errori dovuti ad altri fattori: **incertezza sulla conoscenza dello stato iniziale**, errori dovuti al modello, tra cui quelli **dovuti a parametrizzazioni imprecise**, quelli dovuti ad una **risoluzione spaziale troppo bassa**.

Durante il primo anno di dottorato è stata analizzata la dipendenza delle previsioni meteo dalle parametrizzazioni [5] invece durante il secondo anno è stata analizzata la dipendenza dalle *condizioni iniziali* e dalla *risoluzione spaziale di griglia*.

1.3 Descrizione analisi

Il National Center for Environmental Information del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ha implementato il GEFS (Global Ensemble Forecast System) che in maniera operativa, 4 volte al giorno (00, 06, 12, 18), fornisce la previsione per 16 giorni di 20 membri perturbati rispetto al membro di controllo. I primi 8 giorni sono ad una risoluzione spaziale di circa 50km mentre per i successivi 8 giorni la risoluzione spaziale si riduce a circa 70km. Per limiti di spazio di memoria, il centro di previsione non conserva tutti i 20 membri dei 4 run giornalieri ma solamente 10 del run della mezzanotte, mettendoli a disposizione di chiunque volesse effettuare dei propri studi (la totalità dei 20 membri è disponibile solo per una settimana circa). I 10 membri vanno a costituire il dataset Reforecast Version 2 che ho utilizzato per le mie analisi.

L'analisi è stata effettuata su 34 casi studio selezionati opportunamente nel contesto dei Wind Days relativo all'inquinamento da polveri sottili che affligge la città di Taranto sotto particolari condizioni meteorologiche con l'obiettivo di questa analisi rientra in un piano per migliorare la previsione dei Wind Day.

In questa analisi ho valutato se l'informazione estraibile dagli ensemble potesse apportare un valore aggiunto alla previsione dei Wind Day. Mi sono concentrato solo sulla predicibilità del modulo in relazione alla velocità e alla persistenza temporale. Questa scelta è stata dovuta all'ampio intervallo di variabilità della direzione del vento nella definizione di Wind Day.

Con l'intento di valutare la dipendenza delle previsioni del modello WRF dalle condizioni iniziali, utilizzando le parametrizzazioni ottimali come individuate nell'analisi dello scorso anno [5], ho eseguito la simulazione del modello con diverse tipologie di condizioni iniziali:

- i GFS deterministici caratterizzati da una risoluzione spaziale di circa 50km;
- i dati forniti dal modello globale ECMWF caratterizzati da una risoluzione spaziale di circa 16km;
- i GEFS (10 membri perturbati) con risoluzione spaziale di circa 50km.

Per valutare la dipendenza delle previsioni dalla risoluzione spaziale e cioè se una maggiore risoluzione spaziale può migliorare la previsione del Wind Day, tutti i run sono stati eseguiti considerando 3 domini innestati con risoluzione spaziale rispettivamente di 16, 4 e 1km (fig. 5).

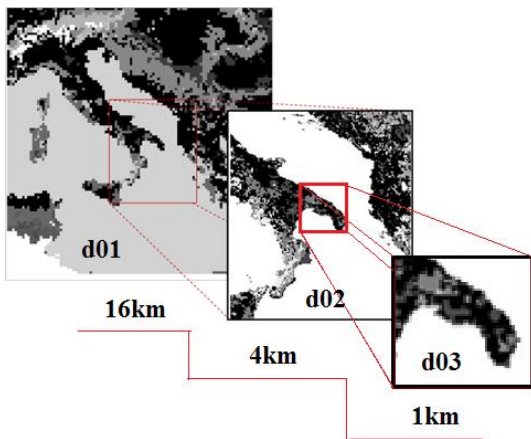


Fig. 5: Rappresentazione dei 3 domini implementati nel run del modello WRF.

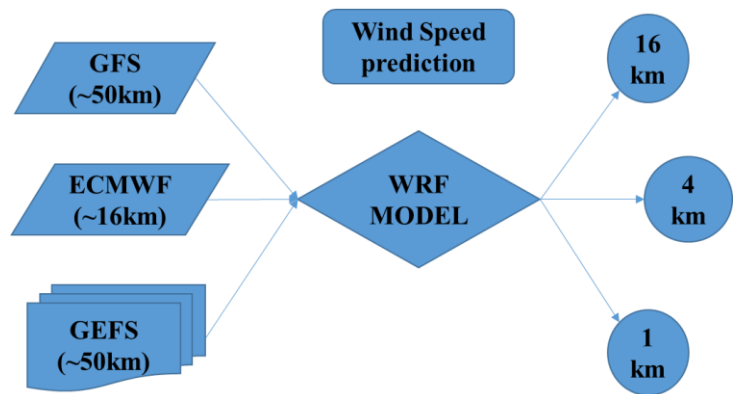


Fig. 6: Work flow analisi.

I 34 casi studio sono stati selezionati tra i giorni caratterizzati da vento proveniente dal quadrante nord-ovest lungo l'intero anno 2016. Nello specifico ho selezionato 16 giorni di Wind Day osservato e 18 giorni di non Wind Day (tab. 1).

La valutazione della bontà di previsione è stata eseguita utilizzando i dati misurati da una stazione meteo a terra sita sulla costa del golfo di Taranto (bandierina celeste nella fig. 7).

34 case studies - 2016	
Wind Days	NO Wind Days
16	18

Tab. 1: Descrizione database casi studio.



Fig. 7: (bordo blu) perimetro ILVA; (area blu) stoccaggio minerali; (bordo giallo) quartiere tamburi; (bandierina blu) postazione stazione meteo.

Per quanto detto nei paragrafi precedenti è chiaro come, utilizzando in input il modello globale GFS e quello implementato dall'ECMWF, si può ottenere una previsione categorica di Wind Day. Invece, utilizzando gli ensemble del sistema GEFS è possibile avere una previsione probabilistica di Wind Day (una previsione con una probabilità associata). Per quanto riguarda l'approccio probabilistico, sono stati investigati nel presente studio e proposti alla conferenza internazionale organizzata dal European Meteorological Society (EMS), che si è tenuta nel mese di settembre a Dublino, tre diversi approcci: il primo basato sulla percentuale di membri che predicono il Wind Day, il secondo sui percentili della distribuzione di ensemble, il terzo sulla distribuzione degli ensemble considerata come la Probability Density Function (PDF) dell'errore associato al membro di controllo.

Gli indici di valutazione utilizzati sono quelli costituenti la tabella di contingenza e l'accuratezza così come definite in fig. 9.

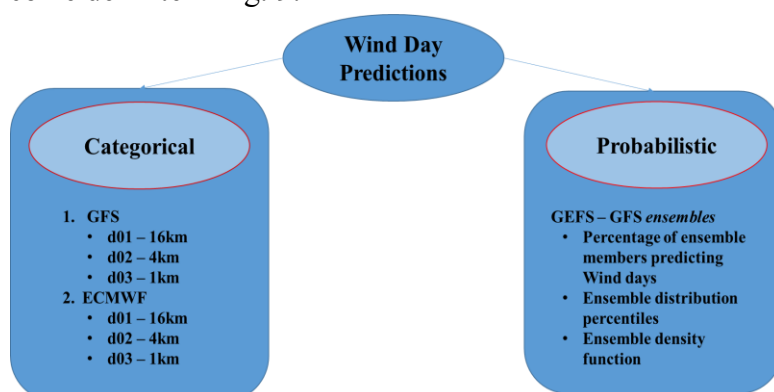


Fig. 8: Schema degli approcci implementati.

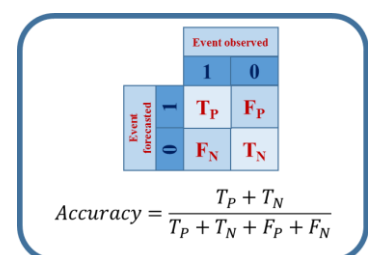


Fig. 9: Tabella di contingenza e definizione di accuratezza.

1.4 Risultati

1.4.1 Approccio categorico

- GFS

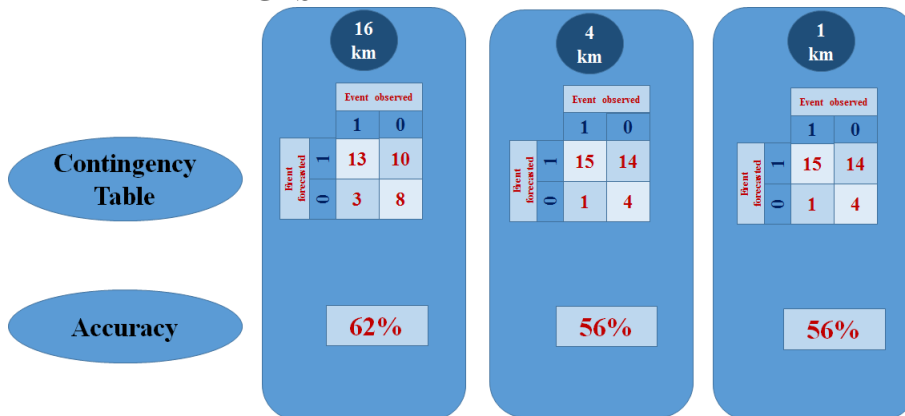


Fig. 10: Tabelle di contingenza e rispettive accurattezze per i tre domini relativi alle previsioni WRF con i GFS per input.

Dai risultati riportati in fig. 10 possiamo concludere che all'aumentare della risoluzione spaziale corrisponde un peggioramento della previsione del Wind Day (WRF forzato con GFS). Questo effetto dipende dall'aumento del bias positivo caratteristico del WRF con l'aumentare della risoluzione spaziale. Infatti, all'aumentare della risoluzione spaziale

aumentano i falsi positivi, e si riducono quasi completamente i

falsi negativi. Per questo motivo le migliori performance in termini di accuratezza si ottengono usando il dominio a più bassa risoluzione.

- ECMWF



Fig. 11: Tabelle di contingenza e rispettive accurattezze per i tre domini relativi alle previsioni WRF con gli ECMWF per input.

Dalle tabelle di contingenza e dai valori di accuratezza riportati in fig. 11 si può concludere che, anche utilizzando i dati forniti dall'ECMWF, all'aumentare della risoluzione spaziale si assiste a un peggioramento in termini di accuratezza. Questo significa che il bias positivo nella previsione del vento è una caratteristica del modello

WRF indipendente dalle condizioni iniziali. Quindi, ancora

una volta, le performance migliori si ottengono con il dominio a risoluzione più bassa.

1.4.2 Approccio probabilistico – GEFS

Nei paragrafi precedenti sono state esposte le caratteristiche degli ensemble e il loro utilizzo. Abbiamo detto che la loro dispersione (spread) è esplicitiva dell'affidabilità nella previsione del membro di controllo. Quindi ci si aspetta che a un maggiore spread corrisponda un maggiore errore mentre a piccole dispersioni degli ensemble corrisponda un ridotto errore. Abbiamo inoltre detto che potrebbe capitare che gli ensemble non comprendano il dato osservato; in questo caso abbiamo concluso che l'errore non è dovuto all'incertezza sul dato iniziale ma a una inadeguata rappresentazione dei campi a grande scala che per qualche motivo sono stati trascurati già nel run del modello globale. Esempio di quanto detto lo si può osservare nelle figure da 19 a 22 relative ad alcuni dei casi studio considerati in questa analisi.

In particolare, nelle figure 12 e 13 sono riportati due esempi in cui si assiste a una proporzionalità tra spread ed errore nella previsione.

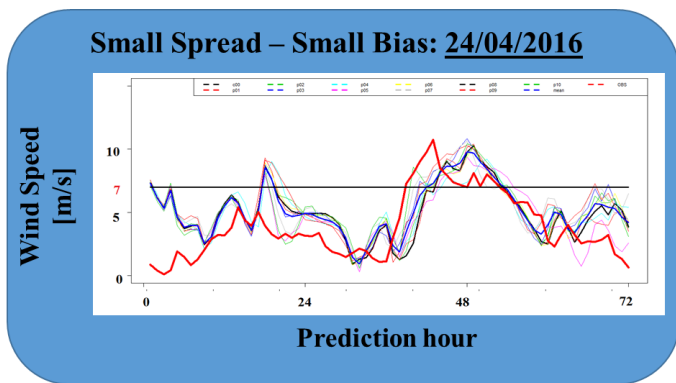


Fig. 12: Caso in cui si evince proporzionalità tra spread ed errore. La line Rossa è l'osservato, linea nera è il membro di controllo, linea blu è la media degli ensemble, tutte le altre si riferiscono ai singoli membri di ensemble.

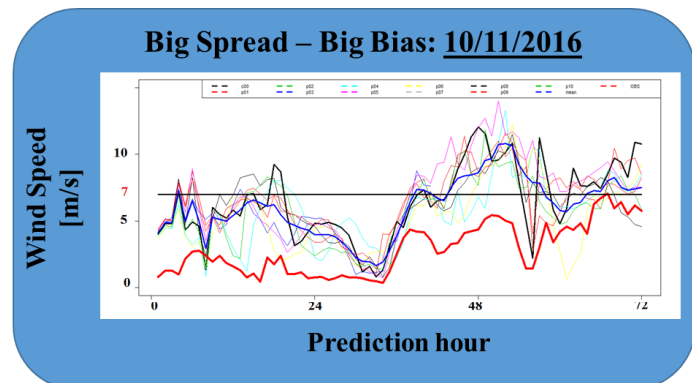


Fig. 13: Caso in cui si evince proporzionalità tra spread ed errore. La line Rossa è l'osservato, linea nera è il membro di controllo, linea blu è la media degli ensemble, tutte le altre si riferiscono ai singoli membri di ensemble.

Sfortunatamente non è sempre così. Infatti, nelle fig. 14 e 15 questa proporzionalità viene a perdersi e si osserva un grande spread in corrispondenza di un piccolo errore e un piccolo spread in corrispondenza di un grande errore.

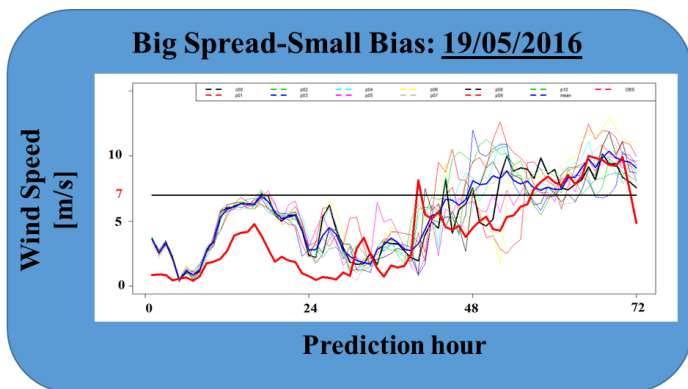


Fig. 14: Caso in cui non si evince proporzionalità tra spread ed errore. La line Rossa è l'osservato, linea nera è il membro di controllo, linea blu è la media degli ensemble, tutte le altre si riferiscono ai singoli membri di ensemble.

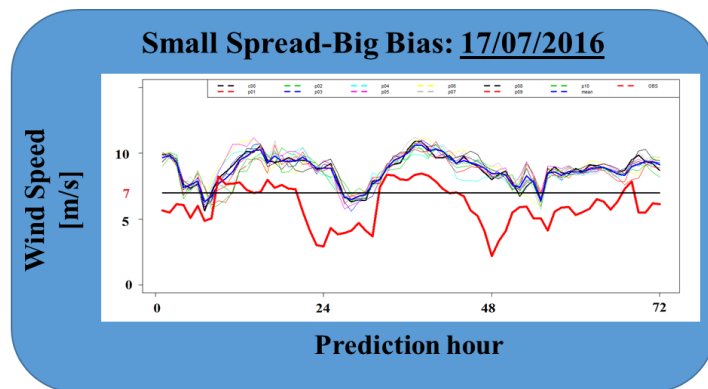


Fig. 15: Caso in cui non si evince proporzionalità tra spread ed errore. La line Rossa è l'osservato, linea nera è il membro di controllo, linea blu è la media degli ensemble, tutte le altre si riferiscono ai singoli membri di ensemble.

Un'altra osservazione che si deve fare è che in entrambi i casi di proporzionalità e di non proporzionalità tra spread ed errore, può capitare che i membri di ensemble non comprendano il vero stato dell'atmosfera, quello misurato (figure 13 e 15).

Di seguito esporrò i tre diversi approcci statistici usati per la valutazione delle simulazioni di ensemble e ne mostrerò i risultati.

- **Percentuale di Ensemble**

Questo metodo consiste nel valutare la percentuale di ensemble che prevedono il Wind Day. Uno specifico studio è stato condotto per individuare la soglia ottimale al fine di stabilire la presenza di Wind Day o No-Wind Day.

Percentage \leq Cut-off
→ No Wind Day

Percentage $>$ Cut-off
→ Wind Day

Dalle tabelle di contingenza e dai valori di accuratezza riportati in fig. 16 si evince che le migliori previsioni in termini di accuratezza si ottengono con il dominio a 4km di risoluzione spaziale. Sebbene si sia ridotto il numero dei veri positivi si osserva un migliore bilanciamento tra i falsi positivi e i falsi negativi (cosa che, per un servizio operativo, potrebbe risultare di notevole rilevanza).

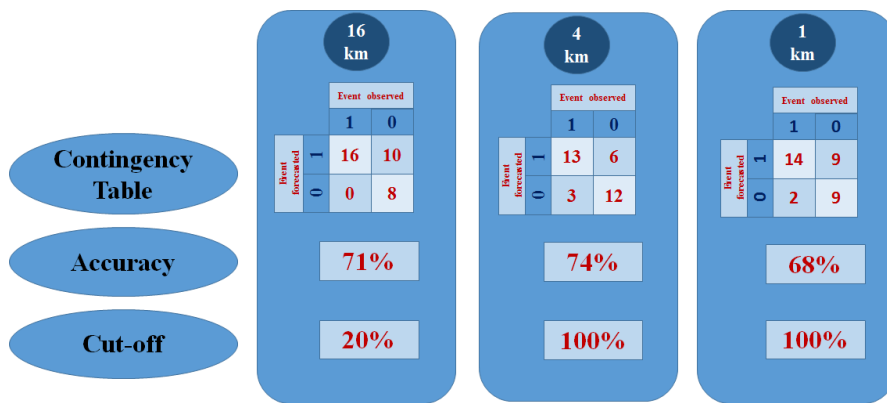


Fig. 16: Tabelle di contingenza e rispettive accuratze per i tre domini relativi alle previsioni WRF con i GEFS per input utilizzando le percentuali di ensemble.

• **Percentili della distribuzione di Ensemble**

Il secondo metodo implementato si basa sui percentili della distribuzione. La probabilità di Wind Day viene stimata in base al più basso percentile della distribuzione che predice il wind day. Facendo riferimento alla fig. 17 relativa al 28/12/2016 si osserva che il 20° percentile è quello più basso a predire il wind day; a questo giorno verrà associata una probabilità dell'80% di essere wind day. Anche in questo caso è stato eseguito uno studio per individuare la soglia ottimale per stabilire se sarà o meno wind day.

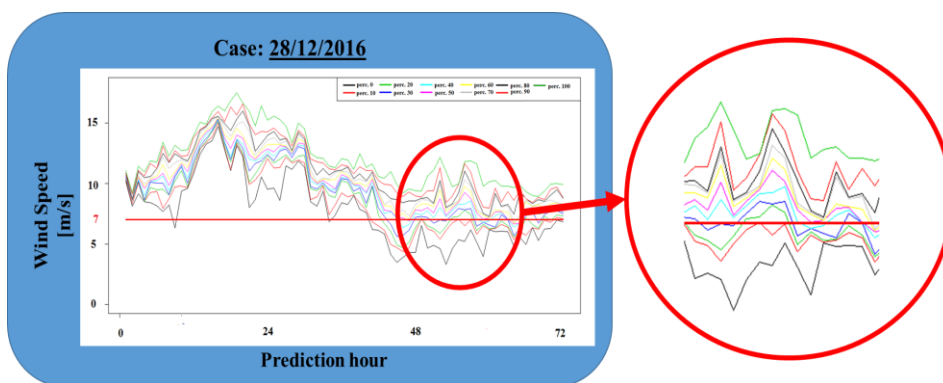


Fig. 17: Schema esplicativo del metodo dei percentili. Il 20° percentile è il più basso a predire il wind day quindi a tale giorno si assegnerà una probabilità dell'80% di essere wind day.

I risultati riportati in fig. 18 mostrano che mediante il dominio a più alta risoluzione si ottengono i migliori risultati in termini di accuratezza. Anche in questo caso a una riduzione dei veri positivi corrisponde un miglior bilanciamento tra falsi positivi e falsi negativi. In questo metodo, a differenza del primo metodo in cui l'informazione deriva da tutti i membri considerati individualmente, l'informazione è ottenuta combinando tra loro tutti i membri.



Fig. 18: Tabelle di contingenza e rispettive accuratze per i tre domini relativi alle previsioni WRF con i GEFS per input utilizzando i percentili della distribuzione degli ensemble.

- **PDF (funzione densità di probabilità) degli Ensemble**

Abbiamo già osservato che ci sono situazioni in cui i membri degli ensemble non comprendono il valore osservato. Per questo motivo in questo metodo non si considerano i valori effettivamente predetti dagli ensemble. Si fa l'assunzione che la distribuzione degli ensemble sia simile alla distribuzione dell'errore di predizione. In questo modo, conoscendo la distribuzione degli ensemble è possibile stimare la distribuzione dell'errore associato al membro di controllo.

Nel dettaglio, stimiamo per ogni membro la distanza dalla media. La distribuzione di queste distanze è assunta essere simile alla distribuzione dell'errore associato al membro di controllo. A questo punto possiamo stimare la probabilità di avere valori superiori al valore di riferimento.

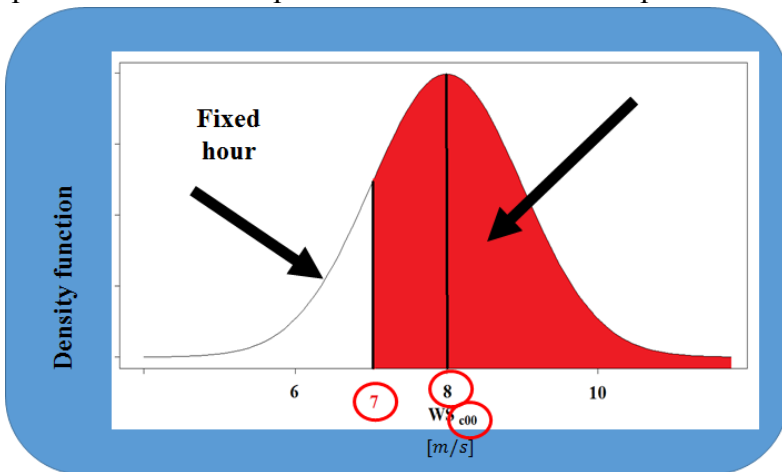


Fig. 19: Schema metodo PDF degli ensemble.

Facendo riferimento alla fig. 19, se all'ora "h", il membro di controllo predice una velocità del vento di 8m/s, la probabilità di avere un valore maggiore di 7m/s all'ora "h" è dato dall'area rossa sotto la curva, dove la curva è la funzione di probabilità delle distanze dei singoli membri di ensemble dalla loro media. In prima approssimazione, assumendo indipendenti i valori delle velocità a due ore consecutive, la probabilità di avere valori superiori ai 7m/s per almeno tre ore consecutive sarà data dal prodotto di ogni

consecutiva sarà data dal prodotto di ogni

singola probabilità stimata per ogni ora. La probabilità di wind day associata all'intera giornata sarà allora data dal massimo delle probabilità stimare per ogni set di tre ore consecutive tra la 49^a e la 72^a ora di previsione.

$$P_h = P_h \cdot P_{h+1} \cdot P_{h+2}$$

$$P_{WD}(daily) = \max_{h=49}^{70} (P_h)$$

I risultati riportati in fig. 20 mostrano che mediante il dominio a più alta risoluzione si ottengono:

- ✓ i migliori risultati in termini di accuratezza;
- ✓ il miglior numero di veri positivi;
- ✓ un migliore bilanciamento tra veri falsi positivi e falsi negativi.

Si osservi che mentre nei metodi precedenti venivano usati in maniera esclusiva o i membri degli ensemble o il membro di controllo (quello deterministico), in questo approccio di ensemble viene combinata l'informazione del membro puramente deterministico con l'informazione probabilistica.



Fig. 20: Tabelle di contingenza e rispettive accuratezze per i tre domini relativi alle previsioni WRF con i GEFS per input utilizzando la PDF degli ensemble per stimare l'errore del controllo.

1.5 Conclusione analisi *Ensemble*

Nella fig. 21 vengono confrontati i migliori risultati per ognuno degli approcci, sia categorici che probabilistici. Possiamo allora concludere che il metodo basato sulla PDF degli ensemble nella risoluzione spaziale più alta, a 1km, presenta le migliori prestazioni di previsione in termini di accuratezza.

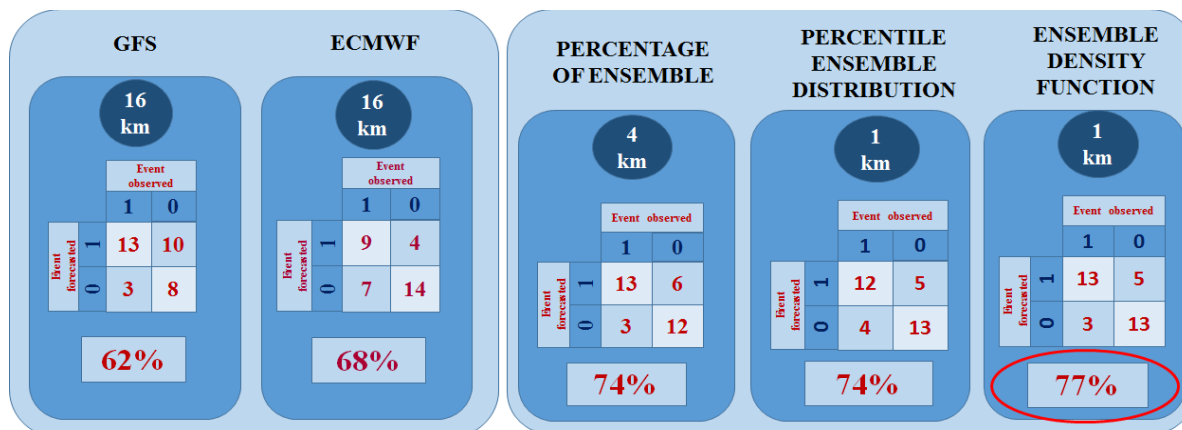


Fig. 21: Confronto tra le migliori configurazioni in termini di accuratezza ottenuti con ogni metodo.

1.6 Sviluppi Futuri

Al fine di realizzare una procedura operativa giornaliera, sarebbe opportuno validare i metodi discussi su un dataset più ampio. Per questo motivo ho già cominciato il download giornaliero dei 20 membri messi a disposizione quotidianamente dal NOAA. Avere un data set più ampio permetterebbe, inoltre, di eseguire l'analisi sugli ensemble indipendentemente dalla previsione dei wind days.

L'aspetto principale sul quale si investigherà durante il terzo anno, a completamento dell'analisi avviata lo scorso anno, riguarderà una procedura aggiuntiva di *Data Assimilation*.

L'incertezza nelle condizioni iniziali sorge nella fase di Analisi, la fase in cui viene stimato lo stato reale dell'atmosfera su tutto il globo terrestre. La procedura utilizzata per questo scopo è il *Data Assimilation*. In questi ultimi anni, questa procedura, opportunamente adattata, viene utilizzata per introdurre informazione aggiuntiva dello stato iniziale da misurazioni locali, che non rientrano nell'Analisi globale.

2.1 Partecipazione a Congressi

In questo secondo anno di dottorato ho partecipato al 17Th Convegno Internazionale (4-8 settembre 2017) organizzato dalla EMS a Dublino presentando una ricerca dal titolo: "WRF model simulations forced with GEFS: an ensemble approach for the prediction of wind speed near a complex coastline", attraverso un Abstract e un **Oral Presentation**.

Questa manifestazione prevede la sottomissione di un lavoro più esteso che è già in fase di scrittura.



Lavoro presentato: La partecipazione alla conferenza è avvenuta attraverso la presentazione di un abstract e una *presentazione orale* tenuta il 4 settembre nella sessione "Applications of Meteorology and oceanography in the coastal zone".

3.1 Pubblicazioni (durante il secondo anno)

Tateo, A., Miglietta, M. M., Fedele, F., Menegotto, M., Monaco, A., and Bellotti, R.: Ensemble using different Planetary Boundary Layer schemes in WRF model for wind speed and direction prediction over Apulia region, *Adv. Sci. Res.*, 14, 95-102, <https://doi.org/10.5194/asr-14-95-2017>, 2017.

Riferimenti bibliografici

- [1] Lorenz, Edward N., and K. Haman. "The essence of chaos." *Pure and Applied Geophysics* 147.3 (1996): 598-599.
- [2] Lorenz, Edward Norton. "Predictability: Does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas? Address at the 139th Annual Meeting of the American Association for the Advancement of Science." Sheraton Park Hotel, Boston, Mass (1972).
- [3] Epstein, Edward S. "Stochastic dynamic prediction." *Tellus* 21.6 (1969): 739-759.
- [4] Leith, C. E. "Theoretical skill of Monte Carlo forecasts." *Monthly Weather Review* 102.6 (1974): 409-418.
- [5] Tateo, A., Miglietta, M. M., Fedele, F., Menegotto, M., Monaco, A., & Bellotti, R. (2017). Ensemble using different Planetary Boundary Layer schemes in WRF model for wind speed and direction prediction over Apulia region. *Advances in Science and Research*, 14, 95.