

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

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: “**Tecniche modellistiche e statistiche a supporto delle previsioni dei Wind Days**”

INDICE

1. Attività scientifica

1.1 Introduzione	2
1.2 Sistemi Caotici	2
1.3 Descrizione analisi	3
1.4 Risultati	7

2. Partecipazione a Congressi **13**

3. Pubblicazioni **13**

4. Attività didattica **13**

Riferimenti bibliografici **14**

1. Attività scientifica

1.1 Introduzione

L'argomento proposto per la ricerca riguarda lo studio delle dinamiche fisiche della bassa troposfera (Planetary Boundary Layer) nel territorio pugliese. L'analisi è stata effettuata con l'utilizzo del modello numerico di previsioni meteorologiche su scala regionale "Weather Research and Forecasting" (WRF) e con modelli su scala globale quali GFS e ECMWF. 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. Sebbene l'atmosfera sia governata da equazioni deterministiche, come dimostrato da Edward Norton Lorenz, matematico e meteorologo statunitense, nel suo famoso trattato "*The essence of chaos*" [1; 2], presenta carattere caotico.

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 noto il loro valore reale agli istanti passati e presente. Tale informazione viene acquisita mediante misurazioni dirette e indirette e in quanto tali inevitabilmente affette da incertezza e distanti di un δ dal valore 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: **Ensemble Prediction System** (EPS) 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].

L'errore introdotto dalla misura delle condizioni iniziali non è l'unica fonte di errore nella predizione dello stato finale. Oltre agli errori di previsione dovuti all' **incertezza sulla conoscenza dello stato iniziale** si deve tener conto di altri fattori come errori dovuti al modello, tra cui quelli **dovuti a parametrizzazioni imprecise** e 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

L'analisi presentata a fine secondo anno riguardò 34 casi studio selezionati opportunamente nel contesto della previsione dei Wind Days relativo all'inquinamento da polveri sottili che affligge la città di Taranto sotto particolari condizioni meteorologiche.

Con l'intento di valutare la dipendenza delle previsioni del modello WRF dalle condizioni iniziali,

fissate le parametrizzazioni ottimali come individuate nell'analisi del primo anno [5], il modello WRF è stato inizializzato 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 + 1 di controllo non perturbato) con risoluzione spaziale di circa 50km.

L'analisi fu finalizzata anche a valutare la dipendenza delle previsioni dalla risoluzione spaziale e cioè, se a una maggiore risoluzione spaziale consegue una migliore previsione dei Wind Day. Per tale motivo tutte le simulazioni furono eseguite considerando 3 domini innestati con risoluzione spaziale rispettivamente di 16, 4 e 1km (fig. 1).

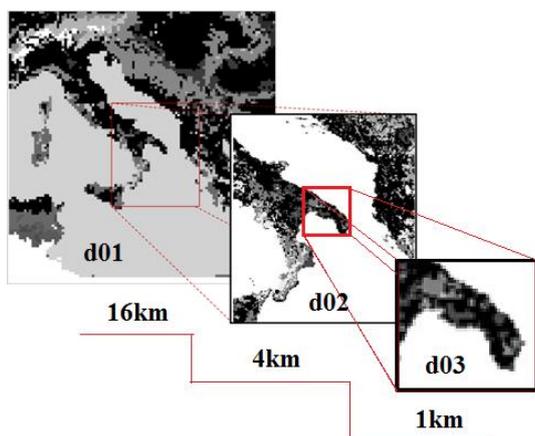


Fig. 1: Rappresentazione dei 3 domini implementati nel run del modello WRF.

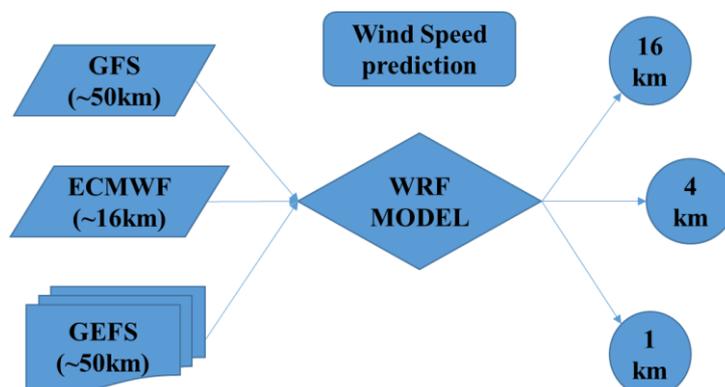


Fig. 2: Work flow analisi.

I 34 casi studio furono selezionati tra i giorni caratterizzati da vento proveniente dal quadrante N-NW nell'anno 2016 (16 giorni di Wind Day osservato e 18 giorni di non Wind Day - tab. 1).

Le performance di previsione furono stimate confrontando le previsioni con i wind day osservati in base alle misurazioni della stazione meteo sita sulla costa del golfo di Taranto (fig. 3).

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

Tab. 1: Descrizione database casi studio.



Fig. 3: (bordo blu) perimetro ILVA; (area blu) stoccaggio minerali; (bordo giallo) quartiere tamburi; (bandierina blu) postazione stazione meteo.

Furono confrontati due approcci: quello categorico applicato ai GFS e tre probabilistici ai GEFS. In particolare per gli approcci probabilistici si considerarono due classici e un nuovo approccio innovativo (per la sua descrizione si rimanda alla relazione di fine secondo anno).

In fig. 4 si riporta l'analisi eseguita lo scorso anno mentre in fig. 5 la definizione dell'accuracy, l'unico indice di valutazione che fu considerato. In fig. 6 si riportano i risultati che si ottennero dall'analisi e si concluse che il nuovo approccio probabilistico proposto, nella più alta risoluzione spaziale, presentava le migliori prestazioni di previsione in termini di accuratezza.

Durante la presentazione di fine secondo anno, la commissione espone delle osservazioni che hanno portato a un perfezionamento del nuovo metodo probabilistico. In particolare, nella versione precedente si assumeva che due successive velocità orarie fossero indipendenti, cosa che permetteva di stimare la probabilità congiunta per le tre ore consecutive mediante prodotto diretto delle due probabilità:

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

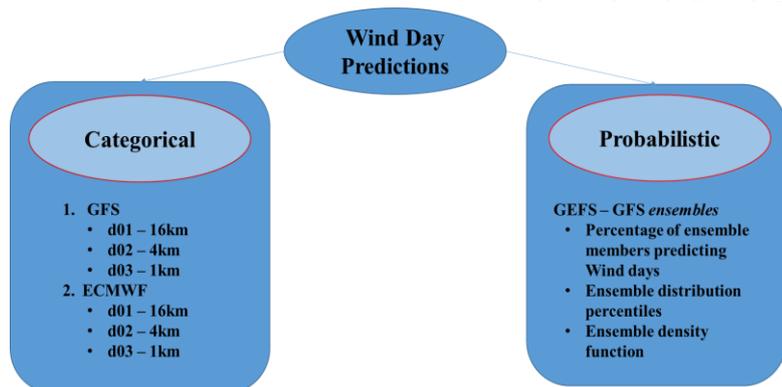


Fig. 4: Schema degli approcci implementati.

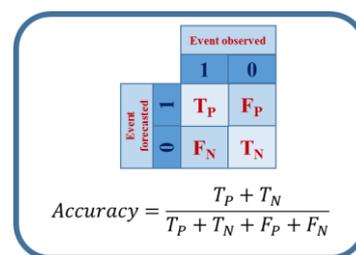


Fig. 5: Tabella di contingenza e definizione di accuratezza.

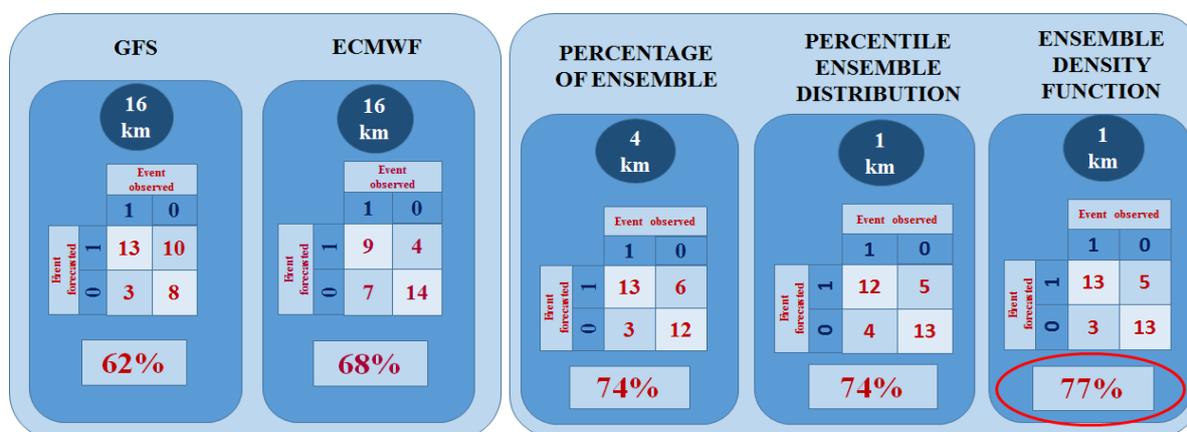


Fig. 6: Confronto tra le migliori configurazioni in termini di accuratezza ottenuti con ogni metodo durante l'analisi del secondo anno di dottorato.

Questa forte assunzione di indipendenza oraria destò dei dubbi. Effettivamente, una analisi della correlazione tra le velocità di due ore consecutive ha chiaramente evidenziato una forte correlazione tra esse. In fig. 7 è riportato lo scatter plot tra le velocità orarie successive con una correlazione (in termini di coefficiente di correlazione di Pearson) pari al 93% e un p-value < 2.2e-16.

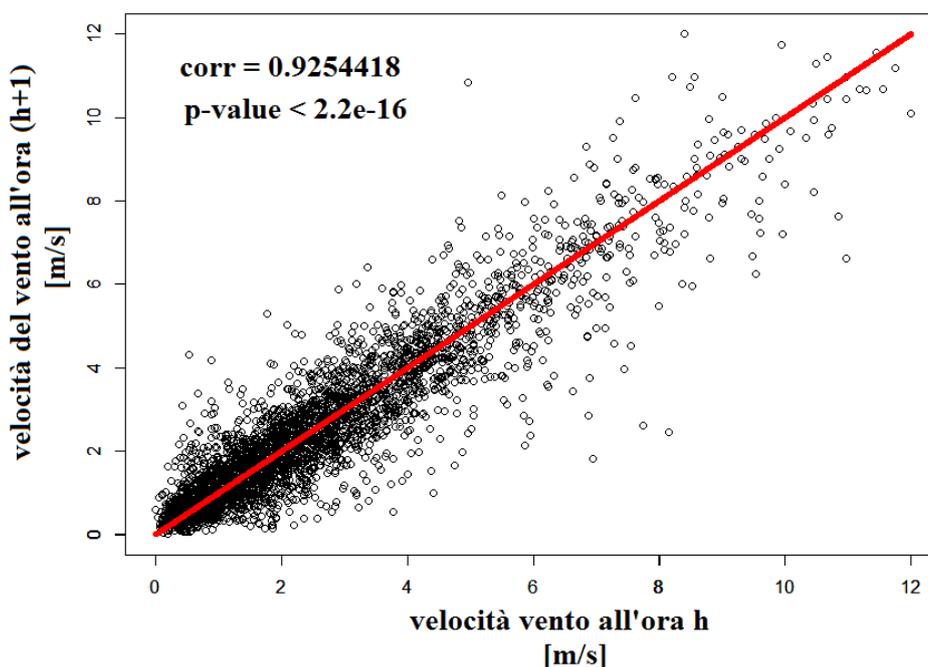


Fig. 7: Scatter plot delle velocità del vento di due ore consecutive.

Questa osservazione ha chiaramente richiesto una modifica al metodo.

Innanzitutto, per ogni ora di previsione abbiamo considerato una distribuzione empirica dell'errore simile alla distribuzione degli ensemble e di valor medio coincidente con la stima del valore atteso (valore di riferimento). In questo modo la probabilità di osservare un valore maggiore o uguale a un valore di soglia \tilde{x} all'ora fissata h sarà:

$$P(E_h) = 1 - C_h(\tilde{x})$$

essendo $C_h(\tilde{x})$ la CDF (Funzione Cumulativa di distribuzione) riferita alla distribuzione empirica stimata nel punto \tilde{x} .

La probabilità congiunta di avere valori più grandi di \tilde{x} per tre ore consecutive $h, h+1, h+2$, $P(E_h \cap E_{h+1} \cap E_{h+2})$ la si ottiene dalla teoria delle probabilità e in particolare dalla definizione di probabilità condizionata:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

da cui

$$P(A \cap B) = P(A|B) \cdot P(B)$$

Si ottiene allora:

$$P(E_h \cap E_{h+1} \cap E_{h+2}) =$$

$$\begin{aligned} &P((E_h \cap E_{h+1}) \cap E_{h+2}) = \\ &P(E_{h+2}|E_h \cap E_{h+1}) \cdot P(E_h \cap E_{h+1}) = \\ &P(E_{h+2}|E_h \cap E_{h+1}) \cdot P(E_{h+1}|E_h) \cdot P(E_h) \end{aligned}$$

In definitiva:

$$P(E_h \cap E_{h+1} \cap E_{h+2}) = P(E_{h+2}|E_h \cap E_{h+1}) \cdot P(E_{h+1}|E_h) \cdot P(E_h)$$

La stima della probabilità congiunta richiede allora la conoscenza delle probabilità condizionate $P(E_{h+2}|E_h \cap E_{h+1})$ e $P(E_{h+1}|E_h)$. Per la loro stima si propone un approccio empirico.

La $P(E_{h+2}|E_h \cap E_{h+1})$ è la percentuale di membri di ensemble che hanno superato la soglia all'ora $h+2$ tra quelli che hanno superato la soglia per entrambe le due ore precedenti (h e $h+1$). Allo stesso modo la probabilità $P(E_{h+1}|E_h)$ è la percentuale di membri che superano la soglia all'ora $h+1$ tra quelli che superano la soglia all'ora precedente h .

A questo punto, una volta stimata la probabilità per ogni gruppo di tre ore consecutive tra la 49^{ma} e la 72^{ma} ora, possiamo calcolare la probabilità di Wind Day come

$$WDP_{pdf} = \max_{h=49}^{70} [P(E_{h+2}|E_h \cap E_{h+1}) \cdot P(E_{h+1}|E_h) \cdot P(E_h)]$$

In questa versione rivisitata del nuovo metodo proposto oltre a correggere la stima della probabilità congiunta è stata ampliata e perfezionata l'analisi.

Nella versione precedente, come valore di riferimento per la distribuzione empirica, si era considerato il valore di previsione del membro di controllo (deterministico non perturbato a bassa risoluzione) utilizzando la sola informazione proveniente dalle previsioni probabilistiche GEFS. Al fine di combinare l'informazione probabilistica e deterministica si è valutata la possibilità di usare come valori di riferimento anche:

- deterministico GFS;
- media tra deterministico GFS e membro di controllo (c00);
- media tra deterministico GFS e media degli ensemble.

Inoltre, nella versione precedente, la distribuzione empirica era stata approssimata con una gaussiana (nella teoria degli errori si prevede che i valori si distribuiscano normalmente intorno al valore vero). Poiché dai dati si osserva che, spesso, i membri di ensemble di distribuiscano in maniera asimmetrica rispetto al loro valor medio, oltre che la forma gaussiana è stata presa in considerazione la forma Gamma che, come le velocità del vento non prevede valori negativi e può riprodurre e riproduce l'eventuale asimmetria dei dati.

Un altro upgrade all'analisi dello scorso anno ha riguardato la valutazione dell'approccio categorico

applicato, non solo alle previsioni deterministiche (precedente analisi), ma anche ai dati probabilistici (c00 e media degli ensemble).

Quanto detto è stato applicato alle previsioni del modello WRF nei tre domini annidati. Dall'analisi è emerso che le previsioni deterministiche presentano performance migliori al dominio con più bassa risoluzione spaziale. Questo mi ha suggerito di valutare le performance di previsione dei modelli globali sia deterministiche che probabilistiche con i diversi approcci. L'analisi è stata, quindi, ripetuta esattamente allo stesso modo per i modelli deterministici ECMWF e GFS e per gli ensemble GEFS senza rescaling del WRF. Poiché i Wind Day riguardano le previsioni orarie e i modelli globali hanno una risoluzione temporale di tre ore, a monte dell'analisi, le previsioni globali sono state interpolate mediante spline al fine di ottenere delle previsioni orarie anche per i modelli globali.

L'analisi fin qui presentata ha come obiettivo quello di ridurre l'errore dovuto all'incertezza delle condizioni iniziali ma non riguarda eventuali errori sistematici dovuti al modello stesso. Per questo motivo è stata valutata la possibilità di definire in maniera alternativa il Wind Day solo per l'aspetto previsionale andando a variare e a valutare i valori ottimali per la threshold di superamento della velocità del vento e il numero consecutive di ore per tale superamento (con ottimale si intende quei valori che permettono delle migliori performance in termini di previsione del Wind Day).

Un altro aspetto che sembrò critico durante la presentazione dello scorso anno ha riguardato le ridotte dimensioni del dataset. A tal riguardo si fa presente che il numero annuo di Wind Day è di circa 30; pertanto utilizzare le previsioni giornaliere di un intero anno significherebbe basare l'analisi su un dataset non bilanciato (tanti VN rispetto ai VP che, d'altro canto, sono quelli di nostro interesse). Inoltre, tra i casi di Wind Day osservati ci sono quelli facili da prevedere per via delle loro caratteristiche e altri, invece, definibile borderline. Al fine di eseguire l'analisi su un dataset bilanciato (numero di VP circa uguale al numero di VN) e su casi realmente di difficile previsione furono selezionati 34 borderline, caratterizzati da situazioni prossime alla definizione di wind day. Tra questi abbiamo sia casi con superamento di soglia per sole due ore consecutive che casi con superamento per più di tre ore ma con valori prossimi alla soglia.

Non potendo ampliare il dataset riferito ai dati del 2016, al fine di rendere l'analisi più robusta, lo studio è stato effettuato in training, in test e in validation. L'analisi in training consiste nell'utilizzo di tutti i 34 casi del 2016 per la stima dei parametri. L'analisi in test è stata eseguita in leave-one-out sui 34 casi del 2016. Per l'analisi in validation sono stati considerati 66 casi studio selezionati dal 2017 (29 VP e 37 VN). Per la loro selezione sono stati applicati gli stessi criteri tenuti per il 2016 in modo da presentare le stesse difficoltà nella previsione dei Wind Day. Per l'analisi in validation sono stati utilizzati i parametri stimati dai 34 casi del 2016 (i parametri dell'analisi in training).

Per la valutazione delle performance, in aggiunta all'accuracy, sono stati valutati altri indicatori statistici delle performance: il BIAS, la probability of detection (POD), il false allarme ratio (FAR), il threat score (TS chiamato anche Critical Success Index, CSI), l'equitable threat score (ETS). Solo per gli approcci probabilistici, è stata stimata la soglia che massimizza l'indice di accuratezza ed è stato considerato il Brier Score (BS noto anche come il Mean Square Probability Error) e l'area sotto la curva ROC (AUC). In tab. 2 sono riportate le loro definizioni.

<i>BIAS</i>	<i>POD</i>	<i>FAR</i>	<i>TS</i>	<i>ETS</i>	<i>Accuracy</i>
$\frac{T_p + F_p}{T_p + F_n}$	$\frac{T_p}{T_p + F_n}$	$\frac{F_p}{T_p + F_p}$	$\frac{T_p}{T_p + F_p + F_n}$	$\frac{T_p + H_z}{T_p + F_p + F_n - H_z}$	$\frac{T_p + T_n}{T_p + T_n + F_p + F_n}$
				$H_z = \frac{(T_p + F_n)(T_p + F_p)}{T_p + T_n + F_p + F_n}$	

<i>Brier Score</i>
$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (p_i - o_i)^2$

Tab. 2: Definizione degli indicatori statistici utilizzati: bias (BIAS), probability of detection (POD), false alarm ratio (FAR), threat score (TS), equitable threat score (ETS), accuracy, and Brier Score.

Per un confronto grafico più immediato, ho considerato il Performance Diagram [6]. Esso permette di confrontare graficamente le performance di più modelli sulla base di quattro indicatori: BIAS, TS, POD e il SR (definito come 1-FAR).

Riassumendo, le innovazioni apportate in questa nuova analisi rispetto a quella presentata lo scorso anno sono:

- 1) nuovo approccio per la stima della probabilità congiunta nel metodo;
- 2) combinazione dell'informazione probabilistica e deterministica considerando differenti valori di riferimento;
- 3) approssimazione della distribuzione dell'errore con le distribuzioni Gamma e Gauss;
- 4) applicazione dell'approccio categorico alle previsioni di ensemble (c00 e media degli ensemble);
- 5) valutazione delle previsioni globali oltre che regionali;
- 6) stima di nuovi parametri statistici per la valutazione delle performance previsionali;
- 7) valutazione di una nuova definizione previsionale di Wind Day per la riduzione della componente sistematica dell'errore.

1.4 Risultati

La nuova analisi in training relativa alle previsioni del modello WRF ha portato dei risultati diversi solo per quanto riguarda il nuovo metodo proposto e per l'approccio categorico applicato al membro di controllo degli ensemble e alla media degli ensemble.

Accuracy [%]	d01	d02	d03
GFS	62	56	56
ECMWF	68	65	59
c00	62	56	56
meanEns	65	62	56

Tab. 3: Accuracy relative all'approccio categorico

Accuracy [%]	d01	d02	d03
Perc	71	74	71
Quant	71	71	74
PDF	73	79	79

Tab. 4: Accuracy relative agli approcci probabilistici.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti col nuovo metodo proposto (PDF) sono stati presentati sono i risultati relativi al valore di riferimento che ha ottenuto il risultato migliore. In particolare per il dominio *d03* il miglior risultato è stato ottenuto utilizzando come valore di riferimento la media tra il GFS e la media degli ensemble (meanEns) e la distribuzione di Gauss. Per il dominio *d02*, il GFS puro e la distribuzione Gamma. Per il dominio *d01* il GFS puro e la distribuzione di Gauss.

Si osserva subito che le modifiche apportate hanno contribuito a un miglioramento delle performance per il nuovo metodo proposto di almeno 2 punti percentuale.

Come già osservato i modelli deterministici presentano performance migliori al dominio a più bassa risoluzione. Ciò equivale a dire che le previsioni della wind speed alle risoluzioni più basse risultano migliori (questo risultato è giustificato dal fatto che la velocità del vento è una variabile sinottica).

Come conseguenza a questo risultato si è pensato di applicare il metodo alle previsioni globali non riscalate su scala regionale dal modello WRF.

La tab. 5 riporta i risultati ottenuti in training dalle previsioni globali (GFS, ECMWF, c00 e media degli ensemble) con l'approccio categorico in termini di BIAS, POD, FAR, TS, ETS e accuracy (nell'ultima riga della tabella è riportato il valore dell'indicatore nel caso di previsioni ottimali).

Si osserva subito che sia la media degli ensemble che il GFS presentano un POD pari a 1 il che equivale a dire che non ci sono FN e che, quindi, tutti i Wind Day sono stati correttamente predetti. Tuttavia, rispetto alle altre predizioni, presentano un più alto valore di FAR e questo significa un alto numero di FP. In particolare, il GFS presenta un BIAS di 1.88 e quindi il numero di Wind Day predetti è quasi il doppio di quelli effettivamente osservati. Si fa presente che, in generale, un valore del BIAS maggiore di 1 non significa necessariamente assenza di FN. Infatti, il membro di controllo presenta un BIAS di 1.50 ma allo stesso tempo un POD di 0.94 minore di 1 (presenza di FN).

<i>DATA</i>	<i>BIAS</i>	<i>POD</i>	<i>FAR</i>	<i>TS</i>	<i>ETS</i>	<i>accuracy</i>
<i>GFS</i>	1.88	1.00	0.47	0.53	0.12	0.59
<i>ECMWF</i>	0.75	0.50	0.33	0.40	0.16	0.65
<i>control member (GEFS)</i>	1.50	0.94	0.38	0.60	0.27	0.71
<i>ensemble mean (GEFS)</i>	1.69	1.00	0.41	0.59	0.23	0.68
<i>expectation value</i>	1	1	0	1	1	1

Tab. 5: Indicatori per le previsioni con i dati globali dell'approccio categorico.

Nonostante la presenza di FN, il run del c00 è caratterizzato da una migliore prestazione in termini di accuracy dovuta al minor numero di eventi miss classificati rispetto agli altri run.

Dalla tab. 5 si può concludere che, considerando l'approccio categorico, il modello GEFS presenta le migliori performance sia usando il c00 che la media degli ensemble. Tale risultato può essere rappresentato graficamente col Performance Diagram in fig. 8; poiché il metodo con prestazioni migliori è quello più vicino all'angolo alto destro, risulta confermato che il c00 presenta le migliori prestazioni in maniera generale (non solo in termini di accuracy).

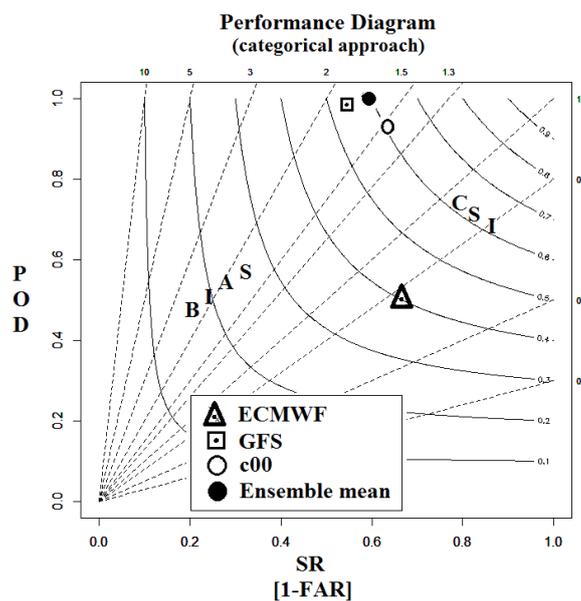


Fig. 8: Performance Diagram di 4 modelli con l'approccio categorico: ECMWF, GFS, c00 (membro di controllo dei GEFS) e la media degli ensemble (GEFS).

Si osserva inoltre che, rispetto alle previsioni riscalate su scala regionale, le previsioni su scala globale presentano performance migliori solo per le previsioni probabilistiche (GEFS), invece per le deterministiche sembra che l'operazione di downscaling mediante WRF abbia degli effetti positivi. Le tabelle 6 e 7 riportano gli indicatori statistici per i tre approcci probabilistici applicati alle previsioni globali GEFS. In particolare, la tab. 6 mostra i risultati per l'approccio basato sulla percentuale e sui quantili mentre la tab. 7 mostra i risultati per l'approccio basato sulla PDF degli ensemble riferita a differenti valori di riferimento (GFS, c00, media tra il d GFS e il c00, e la media tra GFS e la media degli ensemble). Per ognuno dei valori di riferimento, per rappresentare la distribuzione dell'errore ho considerato sia la distribuzione Gamma che gaussiana.

<i>Probabilistic method</i>	<i>BIAS</i>	<i>POD</i>	<i>FAR</i>	<i>TS</i>	<i>ETS</i>	<i>accuracy</i>	<i>BS</i>	<i>AUC</i>
<i>percentile</i>	1.31	0.94	0.29	0.68	0.42	0.79	0.24	0.80
<i>quantile</i>	1.19	0.88	0.26	0.67	0.42	0.79	0.22	0.78
<i>expectation value</i>	1	1	0	1	1	1	0	1

Tab. 6: Indici statistici di valutazione per due degli approcci statistici: quello basato sulle percentuali e quello sui quantili.

<i>reference of true value</i>	<i>distribution</i>	<i>BIAS</i>	<i>POD</i>	<i>FAR</i>	<i>TS</i>	<i>ETS</i>	<i>accuracy</i>	<i>BS</i>	<i>AUC</i>
<i>deterministic GFS</i>	Normal	1.63	1.00	0.38	0.62	0.27	0.71	0.33	0.69
<i>deterministic GFS</i>	Gamma	1.19	0.75	0.37	0.52	0.22	0.68	0.35	0.69
<i>control member (c00)</i>	Normal	1.31	0.94	0.29	0.68	0.42	0.79	0.25	0.77
<i>control member (c00)</i>	Gamma	1.25	0.94	0.25	0.71	0.48	0.82	0.25	0.80
<i>Average(GFS,c00)</i>	Normal	1.56	1.00	0.36	0.64	0.32	0.74	0.29	0.73
<i>Average(GFS,c00)</i>	Gamma	1.44	1.00	0.30	0.70	0.43	0.79	0.29	0.78
<i>Average(GFS,ensMean)</i>	Normal	1.50	1.00	0.33	0.67	0.37	0.76	0.30	0.73
<i>Average(GFS,ensMean)</i>	Gamma	1.38	0.94	0.32	0.65	0.37	0.76	0.27	0.75
<i>expectation value</i>	// //	1	1	0	1	1	1	0	1

Tab. 7: Indici di valutazione per l'approccio probabilistico basato sulla PDF, per le due distribuzioni e per diversi valori di riferimento. La miglior configurazione è quella in grassetto.

Dal confronto dei risultati riportati nelle tabelle 5, 6 e 7 si evince che, in generale, gli approcci probabilistici risultano migliori rispetto a quelli ottenuti con l'approccio categorico. Infatti, ad eccezione del caso riportato alla seconda riga della tab. 7, TS e accuracy sono migliori per gli approcci probabilistici rispetto all'approccio categorico (c00), cosa che evidenzia un più basso numero di eventi erroneamente predetti e di un numero più alto di eventi correttamente predetti. Si osservi inoltre che, sebbene l'approccio categorico applicato all'ECMWF presenti un FAR confrontabile con gli approcci probabilistici, il valore del POD risulta il peggiore di tutte le simulazioni. Questo significa che le previsioni dell'ECMWF presentano pochi FP ma molti FN.

Tra gli approcci probabilistici il miglior risultato (sia in termini di accuracy che per gli altri indici considerati) è ottenuto col nuovo metodo qui proposto quando si usa come valore di riferimento il c00 e la distribuzione Gamma. In particolare i valori del FAR e del POD risultano un compromesso tra i risultati del metodo basato sulla percentuale e quello sui quantili. In effetti, il metodo sulla percentuale mostra un buon POD mentre il metodo sui quantili presenta un buon FAR.

In figura 9 è riportato il Performance Diagram per i tre approcci probabilistici (per quello sulla PDF è riportato solo quello che ha presentato le migliori performance).

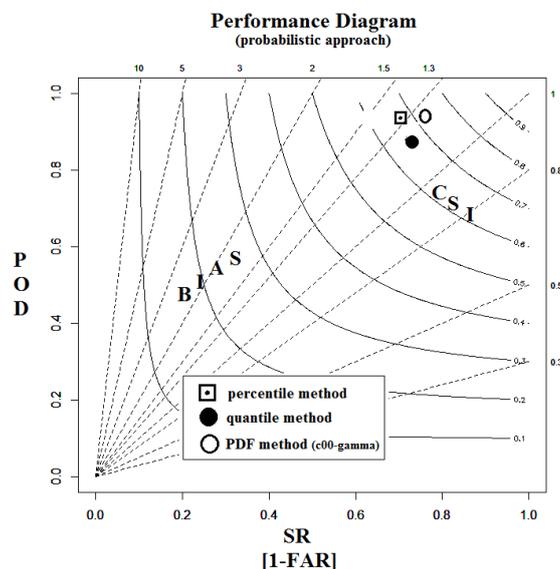


Fig. 9: Performance Diagram dei tre approcci probabilistici considerati: metodo basato sulle percentuali di ensemble, quelli sui quantili e quello sulla PDF. Per l'ultimo metodo è stata riportata solo la configurazione con le migliori performance.

La previsione dei WD dipende fortemente dalla capacità dei modelli di simulare correttamente le velocità del vento. A tal proposito, considerando la tab. 5 si evince che il modello ECMWF presenta un BIAS e un POD inferiore rispetto agli altri; quindi i WD predetti sono inferiori rispetto a quelli osservati. Tuttavia l'accuracy dell'ECMWF è confrontabile con gli altri casi e quindi l'ECMWF ha un minor numero di VP e di FP ma un grande numero di VN.

Tale risultato è una conseguenza della sottostima della velocità del vento che riguarda le previsioni dell'ECMWF come evidenziato dai boxplot riportati in figura 10 (distribuzione degli errori di previsione della velocità del vento tra l'ora 49^{ma} e 72^{ma}).

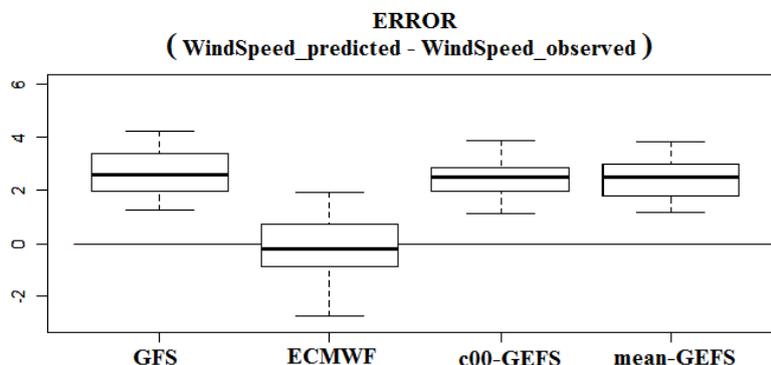


Fig. 10: Boxplots delle differenze tra la wind speed predetta e osservata per le ore tra la 49^{ma} e 72^{ma} dei modelli GFS, ECMWF, per il membro c00, e la media degli ensemble.

Un errore medio positive ha come conseguenza un più alto numero di VP e di FP mentre un errore medio negative ha come conseguenza maggiori VN ma meno FP (il caso dell'ECMWF).

Al fine di tener conto nella previsione dei Wind Day l'errore sistematico nella previsione della velocità del vento per ogni modello, ho pensato di cambiare la threshold e il numero di ore consecutive usate nella definizione di Wind Day nell'ambito della previsione (non per le osservazioni). Con questo obiettivo, ho valutato diverse threshold (tra 5 m/s e 9 m/s) e ho valutato diverse persistenze orarie (da 1 a 5 ore consecutive). La tab. 8 mostra le migliori performance in termini di accuratezza ottenuti da ogni approccio. Si osserva che, come conseguenza del bias medio positivo dei modelli rispetto alla predizione della wind speed, per migliorare le performance i modelli necessitano di threshold più grandi di 7 m/s (tranne l'ECMWF che invece va meglio con una threshold più bassa del valore operativo). Il fatto che, nonostante questo approccio, le performance dell'ECMWF non siano alte quanto quelle degli altri dipende dalla maggiore ampiezza del relativo boxplot di fig. 10.

data or method		accuracy 7m/s-3h	new threshold [m/s]	new # hours	Best accuracy	accuracy gain [%]
GFS		0.59	9	4	0.82	39
ECMWF		0.65	6	3	0.76	17
control member (GEFS)		0.71	8	5	0.88	24
Ensemble mean (GEFS)		0.68	8	3	0.85	25
percentile		0.79	8	3	0.88	11
quantile		0.79	9	5	0.88	11
PDF-deterministic GFS	Normal	0.71	9	3	0.88	24
PDF-deterministic GFS	Gamma	0.68	9	4	0.88	29
PDF-control member (c00)	Normal	0.79	8	5	0.88	11
PDF-control member (c00)	Gamma	0.82	9	2	0.88	7
PDF-Average(GFS,c00)	Normal	0.74	8	5	0.94	27
PDF-Average(GFS,c00)	Gamma	0.79	8	5	0.94	19
PDF-Average(GFS,ensMean)	Normal	0.76	8	5	0.94	24
PDF-Average (GFS,ensMean)	Gamma	0.76	9	5	0.91	20

Tab. 8: Per tutti i metodi e i modelli considerati: l'accuratezza relativa alla definizione classica di WD e quella quando viene utilizzata una nuova definizione operativa di Wind Day.

Anche per questa analisi, il metodo basato sulla PDF degli ensemble presenta le migliori prestazioni, con una accuracy del 94% (con valore di riferimento ottenuto mediando il GFS con il c00 oppure con la media dei GEFS). I Performance Diagram di fig. 11 e fig. 12 mostrano il miglioramento di tutti gli approcci indagati dopo aver opportunamente modificato la threshold e la persistenza oraria concordemente con i valori riportati in tab. 8. In particolare, la fig. 12 si riferisce ai metodi basati sulla percentuale degli ensemble, sui quantili e le tre migliori configurazioni riportate in tab. 8 per il metodo basato sulla PDF. Tutti i modelli mostrano prestazioni notevolmente migliori dopo aver apportato queste modifiche.

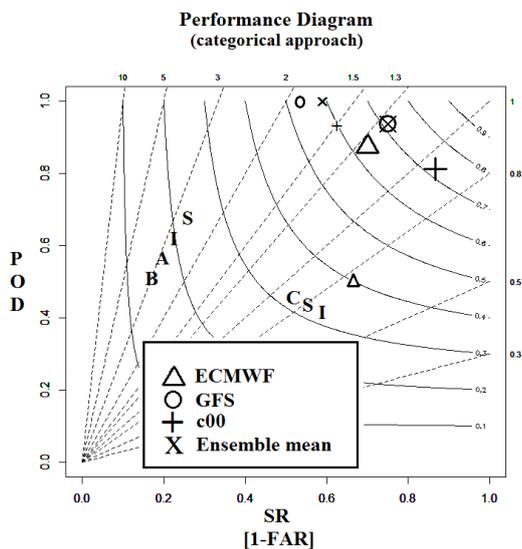


Fig. 11: Nel Performance Diagram vengono confrontate le performance prima e dopo la modifica della definizione operativa di Wind Day per l'approccio categorico. I simboli più piccoli si riferiscono ai risultati precedenti mentre i simboli più grandi si riferiscono ai risultati successivi alla modifica.

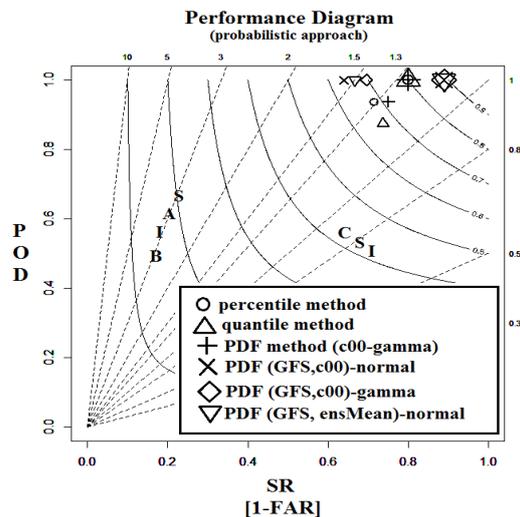


Fig. 12: Nel Performance Diagram vengono confrontate le performance prima e dopo la modifica della definizione operativa di Wind Day per gli approcci probabilistici. I simboli più piccoli si riferiscono ai risultati precedenti mentre i simboli più grandi si riferiscono ai risultati successivi alla modifica.

Poiché il nuovo approccio qui proposto necessita della valutazione di uno o più parametri (il cut-off che stabilisce la soglia di probabilità oltre la quale si può predire il Wind day), è prassi consolidata valutare il metodo in test e in validation. Come precedentemente detto, per l'analisi in test, abbiamo adottato il "leave-one-out". Questa strategia consiste nel valutare i parametri esterni su tutti i dati tranne uno sul quale, invece, si valuterà il metodo utilizzando i parametri appena. In altri termini, abbiamo fissato il cut-off da 33 casi e abbiamo stimato l'occorrenza del WD nel caso restante. In questo modo, il risultato è più affidabile perché il cut-off viene scelto indipendentemente dai dati di convalida. Per l'analisi in validation, abbiamo considerato un data set indipendente di 66 casi studio relativi al 2017 di casi selezionati (situazioni difficili da prevedere). In questa analisi il cut-off è stato stimato su tutti i 34 casi del 2016.

Visti i risultati in training l'analisi in test e validation è stata effettuata solo per i GFS e i GEFS confrontando gli approcci categoriali e probabilistici (non abbiamo considerato i dati ECMWF).

La tab. 9 riporta i risultati in termini di accuracy sia per la definizione di WD classica che per quella opportunamente modificata permettendo di confrontare i risultati in training, test e validation. Come atteso, le prestazioni in test sono simili (anche se non uguali) alle prestazioni in validation ed entrambe risultano peggiori rispetto alle prestazioni in training.

Ancora una volta, i risultati in tab.9, confermano che, in generale, le prestazioni degli approcci probabilistici sono migliori rispetto a quelle dell'approccio categorico. Tra gli approcci probabilistici, il miglior risultato è ottenuto utilizzando il metodo basato sulla PDF degli ensemble, utilizzando come valore di riferimento la combinazione del deterministiche (GFS) e del probabilistiche (media degli ensemble o c00).

La procedura è stata valutata anche rispetto alla capacità di prevedere il Wind Day con 48 ore di anticipo. Si sono trovate prestazioni simili che pertanto evito di mostrare.

data or method	Accuracy 7m/s-3h (classical WD definition)			Best accuracy (no classical WD definition)		
	Training (34 case studies - 2016)	Test (Leave- one-out 2016)	Validation (66 case studies - 2017)	Training (34 case studies - 2016)	Test (Leave-one- out 2016)	Validation (66 case studies - 2017)
GFS	0.59	0.59	0.68	0.82	0.82	0.79
control member (GEFS)	0.71	0.71	0.70	0.88	0.88	0.79
Ensemble mean (GEFS)	0.68	0.68	0.68	0.85	0.85	0.80
Percentile	0.79	0.72	0.71	0.88	0.82	0.79
Quantile	0.79	0.74	0.77	0.88	0.85	0.80
PDF-deterministic GFS	Normal	0.71	0.68	0.76	0.88	0.85
PDF-deterministic GFS	Gamma	0.68	0.64	0.74	0.88	0.82
PDF-control member (c00)	Normal	0.79	0.79	0.80	0.88	0.85
PDF-control member (c00)	Gamma	0.82	0.79	0.80	0.88	0.85
PDF-Average(GFS,c00)	Normal	0.74	0.75	0.79	0.94	0.85
PDF-Average(GFS,c00)	Gamma	0.79	0.77	0.79	0.94	0.85
PDF-Average(GFS,ensMean)	Normal	0.76	0.75	0.80	0.94	0.85
PDF-Average (GFS,ensMean)	Gamma	0.76	0.75	0.80	0.91	0.88

Tab. 9: Accuracy per tutti gli approcci considerati (categorici e probabilistici) e per tutti i modelli (eccetto l'ECMWF) ottenuta in training, in test e in validation, sia con la definizione classica di Wind Day che con una opportunamente modificata.

Di seguito (in tab. 10), per completezza, riporto l'analisi in test cambiando la definizione previsionale di Wind Day per le previsioni riscalate sui tre domini spaziali mediante il modello WRF.

Accuracy [%]	d01	d02	d03
GFS	71	73	71
ECMWF	76	73	71
c00	73	73	73
meanEns	71	76	85

Accuracy [%]	d01	d02	d03
Perc	73	73	79
Quant	73	79	79
PDF	79	76	76

Th - h	d01	d02	d03
GFS	6-3	7-3	7-3
ECMWF	5-5	9-2	8-5
c00	8-4	9-1	9-4
meanEns	6-5	8-4	9-2

Th - h	d01	d02	d03
Perc	9-1	9-3	9-4
Quant	9-1	9-4	9-2
PDF	9-1	6-3	8-4

Tab. 10: Accuracy per tutti gli approcci (categorico e probabilistici) applicate alle previsioni regionali riscalate dal WRF sui tre domini cambiando la definizione previsionale di Wind Day. Nella parte alta è riportato il valore della accuracy, mentre nella parte bassa le soglie utilizzate (quelle più ricorrenti) in leave-on-out.

Si noti come, anche questa analisi evidenzia la necessità di aumentare la threshold per la wind speed nella definizione di WD; ricordiamo che questo dipende dalla presenza di un bias medio positivo nella previsione delle velocità del vento. Si noti come, per l'ECMWF, a bassa risoluzione (16 Km) è richiesta una threshold inferiore a quella della definizione operativa (caratteristica dell'ECMWF) mentre per le risoluzioni più alte (4 e 1 Km) è richiesta una threshold più alta. Questo significa che il WRF interviene sulla previsione dell'ECMWF aggiungendo un bias medio positivo. In generale le prestazioni ottenute col rescaling del WRF risultano inferiori a quelle che si ottengono utilizzando le previsioni su scala globale.

2.1 Partecipazione a Congressi

In questo terzo anno di dottorato ho partecipato:

1. 11th HyMeX Workshop, 29 May - 2 June 2018, Lecce, Italy presentando una ricerca dal titolo: “A statistical method based on Ensemble probability density function for the prediction of “Wind Days”, attraverso un Poster.

Workshops



11th HyMeX Workshop, 29 May - 2 June 2018, Lecce, Italy

The 11th HyMeX workshop took place from Tuesday 29 May to Saturday 2 June 2018 in Lecce, Italy, at the Grand Hotel Tiziano e dei Congressi (www.grandhoteltiziano.it). It was organized by the Institute of Atmospheric Sciences and Climate of the Italian National Research Council (ISAC-CNR) in collaboration with the University of Salento and the Euro-Mediterranean Center on Climate Change (CMCC).

2. Intermediate Meeting nell’ambito del Progetto EphaStat di cui faccio parte presentando l’analisi effettuata mediante un Oral presentation.

EphaStat PROJECT INTERMEDIATE MEETING

EphaStat PROJECT

2018 INTERMEDIATE MEETING

Dipartimento di Economia e Finanza – Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Centro polifunzionale studenti, Piazza Cesare Battisti, 1

3.1 Pubblicazioni (durante il terzo anno)

2018 (IN PRINT)

A. TATEO, M. M. Miglietta, F. Fedele, M. Menegotto, A. Pollice, R. Bellotti, *A new statistical approach based on Ensemble probability density function for the prediction of meteorological events, Atmospheric Research.*

(Poster)

A. TATEO, M. M. Miglietta, F. Fedele, M. Menegotto, A. Pollice, R. Bellotti, A statistical method based on Ensemble probability density function for the prediction of “Wind Days”, 11th HyMeX Workshop, 29 May - 2 June 2018, Lecce, Italy

4.1 Attività didattica (durante il terzo anno)

1. Cultore della materia e parte della Commissione d’esame per il corso di “Scienze e gestione attività marittime (SGAM)” presso il Dipartimento Ionico (dal 2016 ad oggi).
2. Affiancamento per Laboratorio di Fisica Generale per Scienze Biologiche (referente del corso prof.ssa Ligonzo Teresa)

Bari, 08/10/2018



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.
- [6] Roebber, P. J. (2009). Visualizing multiple measures of forecast quality. *Weather and Forecasting*, 24(2), 601-608.