

Relazione finale del primo anno di dottorato

Dipartimento Interateneo di Fisica “Michelangelo Merlin”

Dottorato di Ricerca in Fisica XXXI ciclo

Dottorando: Andrea Tateo

Tutor: Prof. Roberto Bellotti

Co-tutor: dr. Micaela Menegotto

Attività di Ricerca

Introduzione

L'argomento proposto per la ricerca riguarda lo studio delle dinamiche fisiche della bassa troposfera, nel PBL (Planetary Boundary Layer), tipiche del territorio pugliese. L'analisi è stata effettuata con l'utilizzo del modello numerico di previsioni meteorologiche “Weather Research and Forecasting” (WRF). Durante la fase iniziale di questo dottorato, l'analisi poteva essere eseguita solo utilizzando una versione del software gestita e installata dall'ARPA Puglia (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione dell'Ambiente) sul data Center ReCas della Sezione INFN di Bari e della Università degli Studi di Bari. Il data Center ReCaS è costituito da oltre 180 server per un totale di 12000 core e offre circa 3.5PB di spazio su disco e 2.5PB di spazio su tape library. Comprende anche un cluster HPC tipico con 20 nodi connessi con la rete InfiniBand a bassa latenza. Ogni server ospita 40 core di CPU ciascuna con 4 GB di memoria e una GPGPU NVIDIA K40. Tra i servizi offerti vi è anche la possibilità di eseguire lavori basati su libreria MPI, fondamentale per l'implementazione di modelli numerici come per esempio quelli atmosferici. L'ARPA, usando 64 core, ottiene la previsione per un solo giorno a +72h nell'arco di circa 4-6 ore. Per l'analisi, argomento di questo dottorato, dovendo, a differenza dell'ARPA, eseguire il modello per più giorni, si è scelto di parallelizzare su 4 core per ogni singolo giorno. Ogni job ha una durata di circa 12 ore ma l'esecuzione distribuita dei job ha permesso di ottenere i risultati su tutto il periodo di indagine (8 mesi equivalenti a 244 jobs) in circa 3 giorni (questo tempo comprende i tempi di attesa delle code). Al fine di rendermi indipendente, è risultato fondamentale installare una nuova e personale versione. Questa fase ha riguardato i primi mesi del primo anno di dottorato.

L'atmosfera è, per sua natura, un sistema caotico, pertanto la sua evoluzione dipende sensibilmente dalle condizioni iniziali: variazioni infinitesime di queste possono dar luogo a grandi variazioni nel comportamento a lungo termine del sistema. Già nel 1963 Edward Norton Lorenz affermò che non è

teoricamente possibile fare previsioni oltre 15 giorni, ma in pratica tale limite è più limitato in quanto lo spazio delle soluzioni dipende in maniera non lineare dai valori iniziali.

I valori iniziali sono quelli provenienti dai modelli a scala globale inizializzati a loro volta con i dati osservativi provenienti da stazioni di vario tipo dislocate su tutto il globo e da strumenti di "remote sensing". Tali valori sono quelli detti al "tempo $t = 0$ ", e vengono detti in matematica "condizioni iniziali" (se riferite al tempo t) oppure "al contorno" (se riferite a istanti temporali successivi sui bordi del dominio di simulazione). Pertanto una delle fonti di incertezza è legata all'incertezza nelle condizioni iniziali. Inoltre, poiché i modelli discretizzano sia lo spazio che il tempo, lo stesso dominio di lavoro non risulta continuo ma discretizzato e costituito da una "griglia" spazio-tempo dalle cui dimensioni dipende la risoluzione del modello stesso. Le condizioni iniziali devono essere fornite su tutto il dominio, quindi su ognuno dei punti griglia. Si capisce allora come sia inimmaginabile conoscere le condizioni iniziali, seppur affette da incertezza di misura, su tutto il dominio dato che si dispone di osservazioni, in numero ridotto rispetto ai punti griglia, disomogenee, frammentarie e asincrone. Il fatto che le misure siano tra loro eterogenee comporta che i valori non possano essere tra loro direttamente confrontati. Si pensi per esempio alla temperatura in quota che in alcuni punti viene misurata da palloni sonda mentre in altre zone attraverso misure indirette satellitari certamente meno accurate. Questi problemi legati all'assimilazione dei dati vengono trattati e risolti da elaborati algoritmi che permettono di estrapolare lo stato iniziale. Terminata la fase di estrapolazione dello stato iniziale, denominata "*analisi*", un modello numerico globale (per esempio il GFS - *Global Forecast System*) permette di stimare l'evoluzione nel tempo su tutto il dominio spaziale. I modelli globali, a differenza di quelli regionali, hanno risoluzioni più basse (il GFS, per esempio ha un passo temporale di 3 ore mentre quello spaziale è di 25 km).

Oltre alle incertezze di misura, esistono altre problematiche come per esempio quelle legate all'ambiente computazionale che è di tipo discreto. L'intero problema, che in realtà è di tipo continuo, deve essere discretizzato. Quindi, riassumendo, anziché un insieme continuo di valori, le variabili atmosferiche assumono solo valori campionati nello spazio e nel tempo a passi regolari. L'evoluzione del sistema fisico dipende fortemente dalle condizioni iniziali e piccole variazioni di esse possono confluire in stati differenti tra loro e in alcuni casi anche molto differenti se venissero a svilupparsi fenomeni estremi.

Quindi, risolvendo il sistema per differenti valori all'interno di questo intervallo di incertezza delle condizioni iniziali si ottengono risultati diversi tra loro. Questa dispersione di valori, dovuta alle piccole variazioni delle condizioni iniziali, si evidenzia maggiormente al crescere dell'intervallo di previsione.

I modelli teorici che meglio descrivono questi tipi di fenomeni ricadono nella teoria del Caos introdotta da Edward Lorenz. Questa teoria si occupa dello studio dei sistemi fisici che esibiscono una sensibilità esponenziale rispetto alle condizioni iniziali attraverso modelli matematici. I sistemi fisici di questo tipo, sebbene governati da leggi deterministiche, sembrano mostrare una empirica casualità nell'evoluzione temporale delle variabili che lo descrivono. Questa casualità è solo apparente dato che, al tendere a zero della distanza tra le condizioni iniziali, si manifesta un andamento asintotico delle condizioni finali (la teoria del Caos non sarà argomento di questa relazione).

Se a questi errori si sommano altri fattori, insiti nella metodologia numerica stessa, è evidente che il carattere caotico dell'atmosfera può proiettare l'errore dell'analisi, cioè delle condizioni iniziali, in una errata valutazione dell'evoluzione nel tempo.

Nel corso degli ultimi anni le previsioni meteorologiche sono sensibilmente migliorate. L'affidabilità che si aveva vent'anni fa per il giorno successivo (+24h), oggi si è in grado di averla per il terzo giorno (+72h).

Negli ultimi anni, accanto agli usuali sistemi di previsione meteorologica detti "deterministici", i quali forniscono un'unica soluzione dello stato futuro dell'atmosfera, sono stati sviluppati sistemi di

previsione “probabilistici”. 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*, le quali rispondono al tentativo di stimare l'incertezza nella previsione del modello anche per valori di tempo grandi per i quali altrimenti, a fronte di piccole variazioni nelle condizioni iniziali, si osserva una grande dispersione dei risultati. A differenza dei metodi deterministici, i metodi di *Ensemble* associano alla previsione una probabilità di accadimento che assegna al valore predetto anche un grado di affidabilità.

Materiali e Metodi

Metodi di *Ensemble*

Il concetto di *Ensemble* si concretizza nella valutazione di un insieme di possibili previsioni. Per esempio, partendo dalla consapevolezza che lo stato iniziale è un'approssimazione di quello reale, è possibile generare un insieme di N stati iniziali all'interno del quale ci si aspetta ricada anche lo stato reale dell'atmosfera. In questo quadro, le equazioni del moto sono applicate a ciascuno degli N membri dell'insieme degli stati iniziali, ottenendo quindi N evoluzioni diverse, all'interno delle quali dovrebbe ricadere lo stato finale reale. Il metodo degli *Ensemble* viene usato sia per valutare la stabilità delle condizioni atmosferiche (più restano simili le previsioni al variare delle condizioni iniziali più i campi meteorologici generati dal modello risulteranno attendibili) sia per ottenere l'evoluzione meteorologica più probabile, e dall'analisi statistica sugli N stati finali, quella meno affetta da errore. Per meglio chiarire quanto appena detto si fa riferimento alla Fig. 1, in cui si riportano i tipici spaghetti degli *Ensemble* relativi alla previsione della Temperatura a una altezza di 850hPa sul territorio di Bolzano. Fino al quarto giorno non si osserva una particolare dispersione delle diverse evoluzioni il che porta a concludere che le previsioni risultano stabili fino al quarto giorno e i valori predetti risultano altamente affidabili. Dopo il quarto giorno si osserva invece una dispersione delle evoluzioni che indica la non affidabilità della previsione anche se certi valori risultano più probabili di altri (si osserva un accumulo di linee). Una analisi statistica a posteriori basata sul confronto di dati misurati potrebbe permettere di valutare se è possibile combinare opportunamente le diverse soluzioni per ottenerne una con errore ridotto.

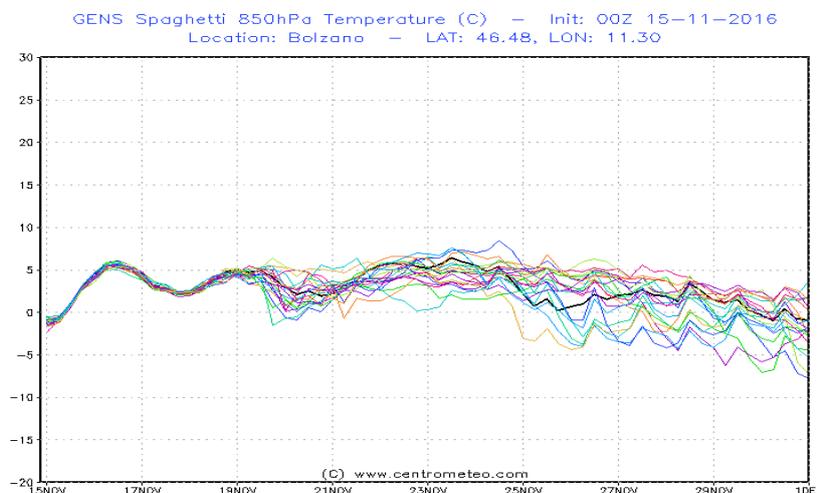


Fig. 1: Ogni linea continua rappresenta una particolare evoluzione della variabile atmosferica Temperatura al variare dello stato iniziale. La linea nera rappresenta l'evoluzione dello stato iniziale non perturbato.

In questo contesto una delle modalità per ottenere il set degli N stati iniziali è quello di perturbare lo stato iniziale fornito pubblicamente dall'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Le modalità di perturbazione dello stato iniziale esulano dagli scopi del seguente lavoro. Tale tecnica non viene applicata solo considerando le diverse condizioni iniziali ma può essere applicata anche cambiando le parametrizzazioni numeriche (o approssimazioni) all'interno di uno stesso.

Nel caso di studio della Tesi i metodi di *Ensemble* sono stati applicati per individuare un opportuno metodo di combinazione di differenti previsioni del modello WRF, derivanti da parametrizzazioni diverse, al fine di ridurre lo scarto rispetto alle misure sperimentali sulla variabile atmosferica Wind Speed a 10m. Il periodo di riferimento in cui è stata eseguita l'analisi va da agosto 2015 a marzo 2016 (per un totale di 244 giorni) e sono state considerate le previsioni a 72 ore (output da 49 a 72h) inizializzando il modello WRF con i dati GFS (*Global Forecast System* – modello globale) forniti gratuitamente dal *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e caratterizzati da una risoluzione spaziale orizzontale di circa 50 km (attualmente il passo di griglia dei campi GFS è 25 km).

Il modello WRF include numerose opzioni per la sua implementazione al fine di meglio adattare il modello al territorio, a seconda della stagione e delle variabili atmosferiche che si vogliono analizzare (predire). Numerosi sono i lavori in cui è stato dimostrato l'impatto che le diverse parametrizzazioni possono avere sui risultati [1]. L'approccio tradizionale per la selezione della combinazione delle diverse parametrizzazioni o di differenti modelli si basa sulla ricerca di quale sia il metodo che riduca l'incertezza sulle previsioni.

L'analisi di *Ensemble* eseguita e qui descritta, vede la combinazione di cinque differenti Schemi di PBL e di *Surface Layer* (SL) col fine di identificare quale tra queste presenti la predizione migliore e se il loro *ensemble* ne migliori le performance.

In Tab. 1 sono riportate le cinque configurazioni considerate.

Model	Boudary Layer Schemes	Surface Layer Schemes
1	Yonsei University with topographic correction (YSU)	Revised MM5 Monin-Obukhov (Jiménez, renamed in v3.6)
2	Mellor-Yamada-Janjic (Eta) TKE	Monin-Obukhov (Janjic Eta)
3	Mellor-Yamada Nakanishi and Niinio level 2.5 (MYNN 2.5 level TKE)	Revised MM5 Monin-Obukhov (Jiménez, renamed in v3.6)
4	Mellor-Yamada Nakanishi and Niinio level 2.5 (MYNN 2.5 level TKE)	Monin-Obukhov (Janjic Eta)
5	Mellor-Yamada Nakanishi and Niinio level 2.5 (MYNN 2.5 level TKE)	Mellor-Yamada Nakanishi and Niinio (MYNN)

Tab.1: Elenco delle cinque parametrizzazioni (combinazioni di Schemi di PBL e di Surface Layer) utilizzate per l'analisi.

Sebbene il modello WRF restituisca la previsione di numerose variabili atmosferiche, l'analisi qui presentata ha riguardato la velocità del vento al suolo. La valutazione dell'errore dei modelli è stata effettuata utilizzando una stazione meteo dell'Arpa Puglia denominata San Vito e sita a Taranto. Nel paragrafo successivo si riportano i risultati e le considerazioni relative.

Risultati Sperimentali

Analisi sulla velocità del vento al suolo (WS10)

In Fig. 2 sono riportati i valori medi orari delle cinque configurazioni e i rispettivi valori misurati.

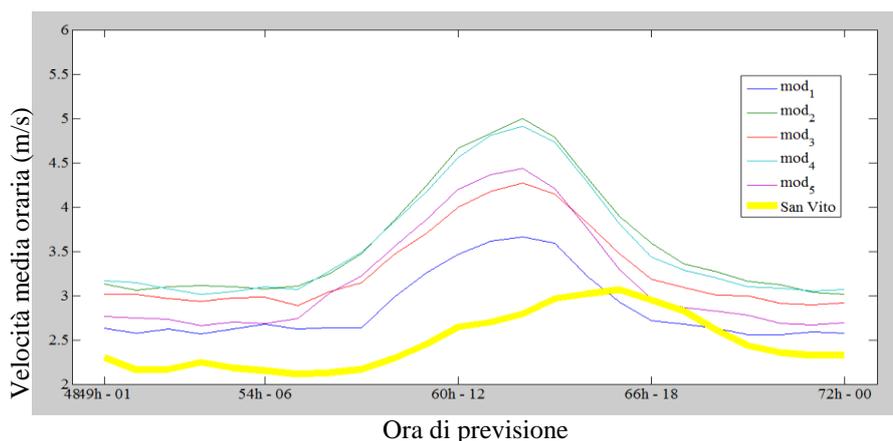


Fig.2: Confronto delle velocità medie calcolate su tutto il periodo di analisi tra i modelli WRF e la misura della stazione Meteorologica di San Vito.

Dal grafico si evince chiaramente che il WRF, indipendentemente dalla parametrizzazione considerata, presenta un scarto (WRF - Misurato) sempre positivo. Sebbene in letteratura la combinazione delle differenti parametrizzazioni viene ottenuta mediando semplicemente o con dei pesi i diversi output, è chiaro che sul dominio in esame, come si evince anche dalla Fig. 3, questo non è utile dato che tutti i metodi presentano un scarto positivo (ad eccezione della 66h di previsione per la quale il mod₁ presenta un leggero scarto negativo).

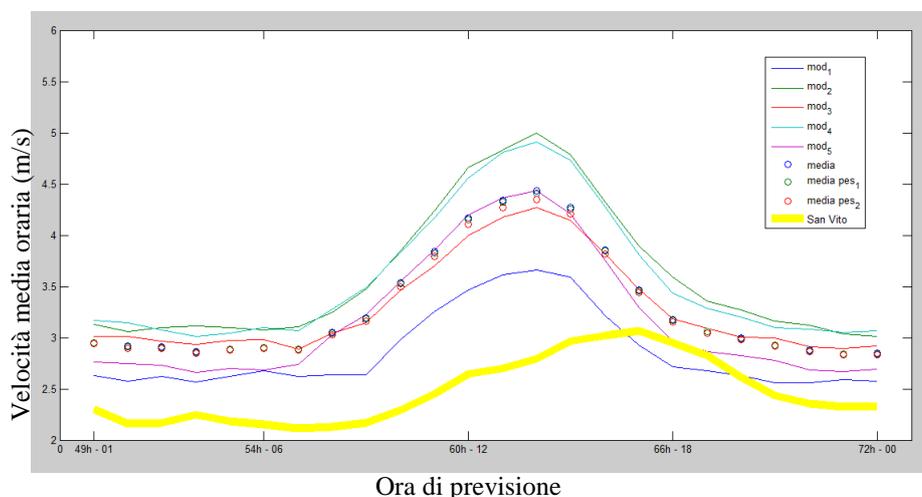


Fig. 3: Confronto delle velocità medie calcolate su tutto il periodo di analisi tra i modelli WRF, la media aritmetica, le medie pesate e la misura della stazione Meteorologica di San Vito.

Questo tipo di situazione sembra essere ben affrontabile con le Reti Neurali. Trattandosi di una analisi a lungo periodo, per combinare gli output dei cinque modelli, è stata considerata una Rete Neurale a finestra mobile.

Dai tanti test effettuati per valutare differenti input, differenti configurazioni e la larghezza della finestra mobile per il training, la migliore soluzione risultante è quella presentata in Fig. 4.

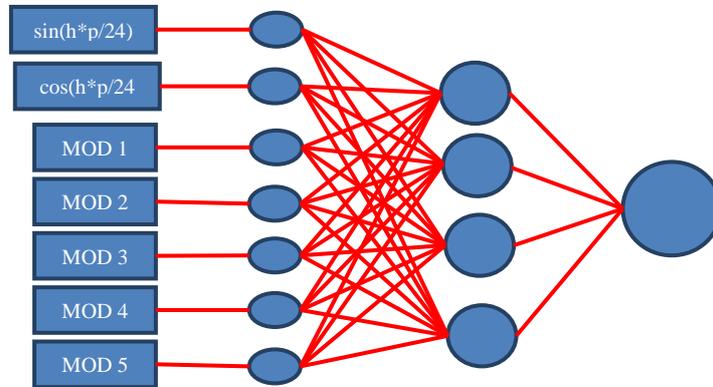


Fig.4: Schema della Rete Neurale di tipo Feed-forward multilayer perceptron che ha offerto i risultati migliori. Sette neuroni di input, uno strato nascosto con quattro neuroni.

La configurazione risultante migliore è quella con architettura di tipo feed-forward multilayer perceptron con 7 neuroni di input (le 5 predizioni dei modelli e le 2 variabili orarie cicliche), 4 nell'unico strato nascosto e 1 neurone di output.

Per valutare la dimensione della finestra mobile di training sono stati condotti dei test con dimensioni tra 3gg e 60gg. Il miglior risultato è stato ottenuto con una finestra mobile di 30gg.

La Rete Neurale risulta capace di “eliminare” lo scarto calcolato sui valori medi come si evince dai risultati riportati in Fig. 5.

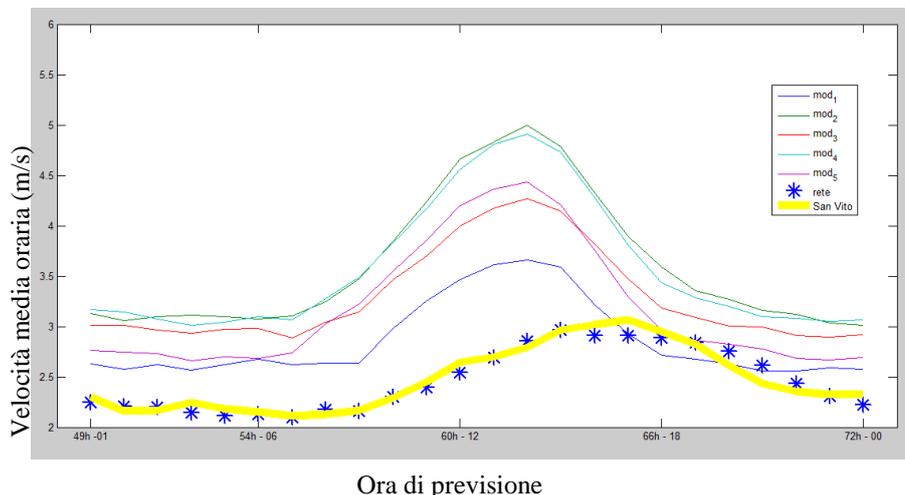


Fig. 5: Confronto delle velocità medie calcolate su tutto il periodo di analisi tra i modelli WRF, la correzione mediante Rete Neurale e la misura della stazione Meteorologica di San Vito.

Come test di confronto, oltre alle medie semplici e pesate, ho implementato altre metodologie per combinare le 5 differenti parametrizzazioni: la Regressione Lineare, il Filtro di Kalman applicato a ogni singolo metodo associato alla Stacked Generalization con Rete Neurale in uscita e stessa procedura sostituendo al Filtro di Kalman una differente Rete Neurale.

Dal grafico in Fig. 6 si evince che la Rete Neurale è quella che presenta la migliore prestazione.

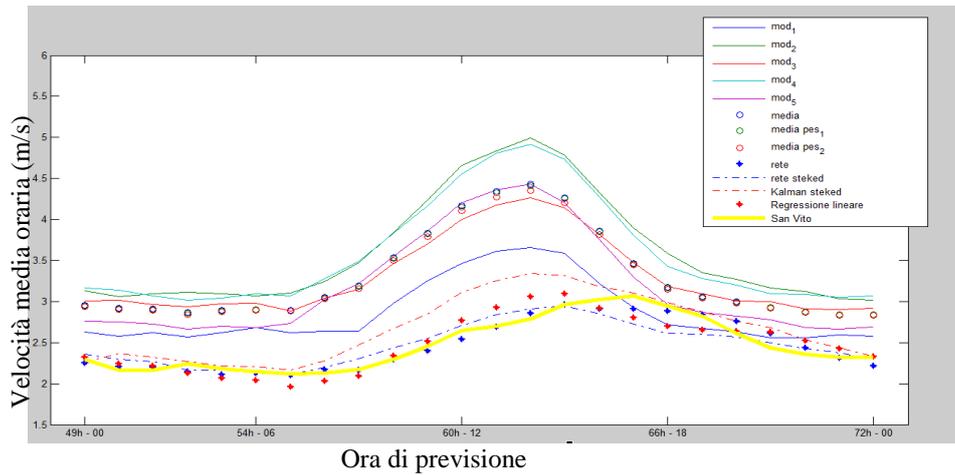


Fig. 6: Confronto delle velocità medie calcolate su tutto il periodo di analisi tra i modelli WRF, la media aritmetica, le medie pesate, il filtro di Kalman combinato con il metodo della Stecked Generalization, combinazione tra Rete Neurale e il metodo Stecked Generalization e la misura della stazione Meteorologica di San Vito.

Lo stesso risultato si può leggere dal Diagramma di Taylor riportato in Fig. 7. La correzione della Rete Neurale presenta una Centered Root Mean Square Error inferiore rispetto agli altri metodi e una correlazione leggermente migliore.

Diagramma di Taylor

Correzione Rete Neurale

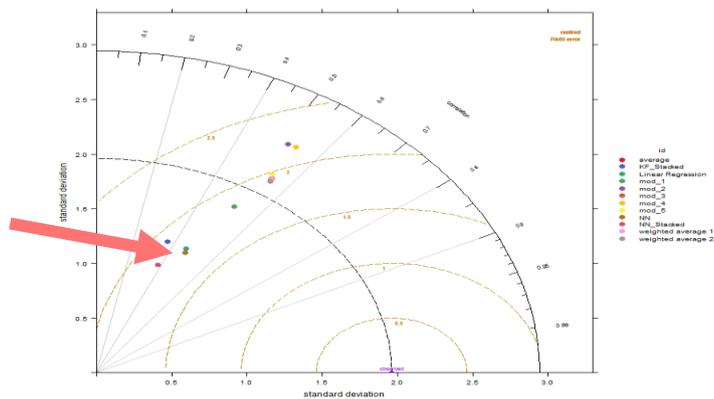


Fig. 7: Diagramma di Taylor per confrontare, su tutto il periodo di analisi, i modelli WRF con le diverse correzioni.

Un'altra rappresentazione utile per interpretare il risultato ci viene fornito dal *Conditional Quantile Plot* riportato in Fig. 8.

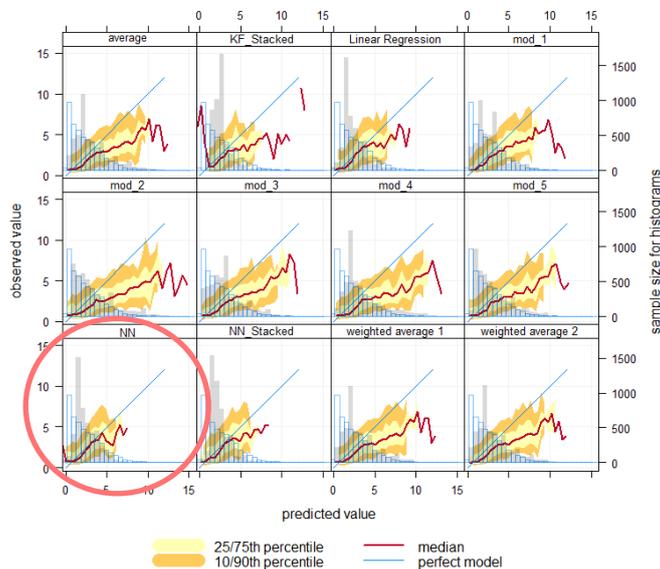


Fig. 8: Conditional Quantile Plot per confrontare, su tutto il periodo di analisi, i modelli WRF con le diverse correzioni.

1.4 Analisi sull'Altezza del *Planetary Boundary Layer (PBL)*

L'analisi qui presentata, oltre alla WS10, ha riguardato l'altezza del PBL, dello Strato Limite Planetario, un altro importante parametro atmosferico.

Il PBL è uno strato il cui spessore, alle medie latitudini, può variare dai 200 m ai 2500 m (in alcune zone può raggiungere anche i 4000 m). Esso è la porzione della Troposfera più prossima al suolo, caratterizzata da un attivo rimescolamento verticale dovuto alla turbolenza, ossia ai moti vorticosi generati da diversi fattori come per esempio gli ostacoli al suolo, l'attrito viscoso interno, oppure i moti convettivi innescati da bolle termiche (bolle di aria calda) che si sviluppano in prossimità della calda superficie terrestre. Quindi il PBL è lo strato di atmosfera prossimo alla superficie terrestre che risente della presenza del suolo e che risponde alle sollecitazioni (denominate "forcing") esercitate dalla superficie con tempi di scala dell'ordine di circa un'ora. Tali sollecitazioni includono attrito, evaporazione/traspirazione, trasferimento di calore, emissioni di inquinanti e modificazione del flusso. L'altezza del PBL varia durante la giornata, generalmente aumenta durante il giorno grazie al riscaldamento e si riduce di notte, complice la formazione dell'inversione termica.

Importante per la caratterizzazione del PBL è il gradiente termico che lo caratterizza, cioè come varia la Temperatura in quota.

Infatti lo stato di equilibrio all'interno del PBL (cioè assenza di avvezione verticale, di moto di trasporto) è raggiunto in condizioni di stratificazione termica al suolo stabili associate a inversione termica, caratterizzata da temperature alla superficie inferiori alla quota e quindi gradiente termico verticale positivo:

$$dT/dz > 0$$

Tale condizione è tipica dei regimi notturni caratterizzati da emissione da parte del suolo dell'energia termica accumulata durante il periodo di irraggiamento diurno.

Al contrario durante i regimi diurni di irraggiamento solare, la temperatura del suolo è fortemente maggiore della temperatura atmosferica, creandosi quindi un gradiente termico verticale negativo:

$$dT/dz < 0$$

Questa condizione genera moti convettivi di masse d'aria calde (meno dense) verso l'alto; si assiste a moti turbolenti. Tale turbolenza è tanto maggiore quanto maggiore è l'entità dell'irraggiamento e quindi il gradiente termico che si viene a creare e che influenza la forza di galleggiamento delle masse d'aria prossime alla superficie.

A seconda del gradiente si distinguono tre tipologie di PBL. Se la T diminuisce di circa 0.7 °C ogni 100 m si parla di PBL neutro, quando diminuisce più rapidamente si parla di PBL instabile o convettivo, mentre quando la T cade meno rapidamente oppure cresce con la quota si parla di PBL stabile (Fig. 9).

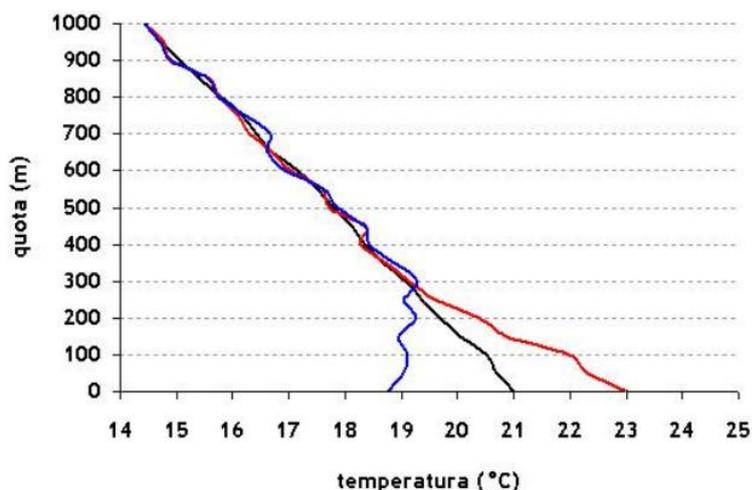


Fig. 9: Profilo di temperatura; la curva blu rappresenta un caso stabile, quella nera un caso neutro mentre quella rossa un caso instabile o convettivo.

In particolare quando la temperatura cresce con la quota si parla di inversione e un caso tipico è quella notturna dovuto al fatto che di notte il suolo si raffredda velocemente e di conseguenza l'aria vicino al suolo si raffredda, mentre l'aria al di sopra resta più calda.

Gli andamenti della temperatura rispetto alla quota hanno ricadute sulla diffusione degli inquinanti; un quadro riassuntivo viene riportato nella Fig. 10.

Da quanto detto si evince come il punto di inversione in quota, rappresentativo anche dell'altezza del PBL, rappresenta una superficie di discontinuità. Questa superficie ha un effetto tappo imprigionando al di sotto l'aria sottostante. Per questa sua caratteristica è di particolare importanza nell'ambito della diffusione degli inquinanti; più è bassa la sua altezza, maggiore sarà la concentrazione degli inquinanti al suolo.

Anche per questa analisi sono state usate le 5 configurazioni del WRF già discusse e altre cinque che vedono associata alle cinque precedenti la tecnica del *Nudging*. Si tratta di una tecnica di riallineamento ai dati del modello globale durante le prime ore di previsione (nella analisi effettuata nell'ambito della presente ricerca, per il riallineamento sono state utilizzate le prime 6 ore di previsione). Essa consiste nel forzare i campi del modello alle osservazioni.

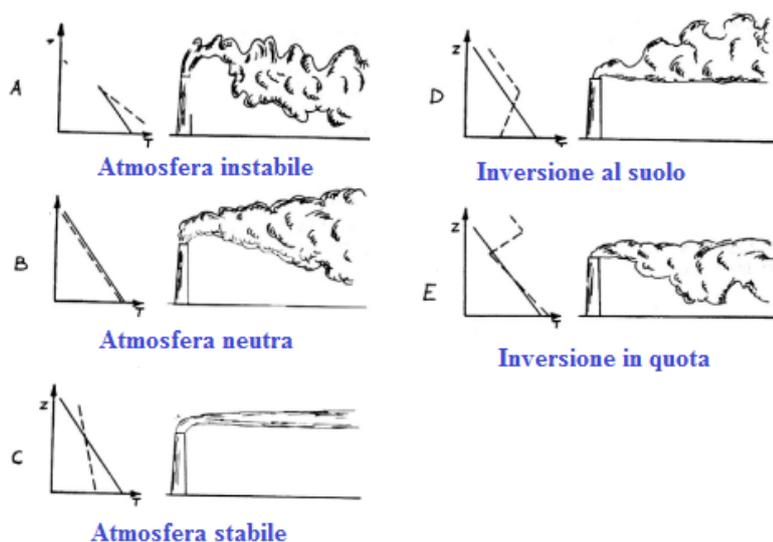


Fig. 10: La linea continua è quella che rappresenta la situazione neutra. A seconda delle pendenze avremo le differenti situazioni che hanno ricadute sugli inquinanti.

Inoltre l'analisi statistica è stata fatta sia con previsione a +72h che a +48h valutando l'output su entrambi i domini, quello a bassa risoluzione (16 km) e quello a più alta risoluzione (4 km).

Per la valutazione delle previsioni sono stati usati i dati provenienti da un Lidar, posizionato nello stabilimento industriale ILVA di Taranto, e dalla radiosonda che ogni 12h viene lanciata in prossimità di Brindisi con un pallone aerostatico (Fig. 11).



Fig. 11: (sinistra) Lidar installato in prossimità di Taranto; (destra) Pallone Sonda utilizzato a Brindisi per il Radio Sondaggio.

I dati lidar permettono di estrarre l'altezza del PBL durante tutta la giornata. Tra tutti i dati disponibili sono stati selezionati alcuni giorni in cui l'altezza del PBL era chiaramente identificabile. Nello specifico sono stati utilizzati 12 giorni anche se uno tra questi è stato scartato (molto probabilmente l'algoritmo automatico di estrazione non ha funzionato).

A titolo di esempio nelle Fig. 12 sono rappresentate otto plot ciascuno relativo a uno dei due giorni selezionati dal campione analizzato in quanto ritenuti rappresentativi dello stesso. In ciascun plot sono riportate sia le altezze orarie del PBL così come predette dalle 5 parametrizzazioni WRF sia quelle ricavate dal dato Lidar relative a due giorni analizzati ritenuti rappresentativi del campione. Per ciascun giorno si riportano le previsioni a +48h e a +72h in entrambi i domini, quello a bassa risoluzione (indicato con "d01") e quello a più alta risoluzione (indicato con "d02").

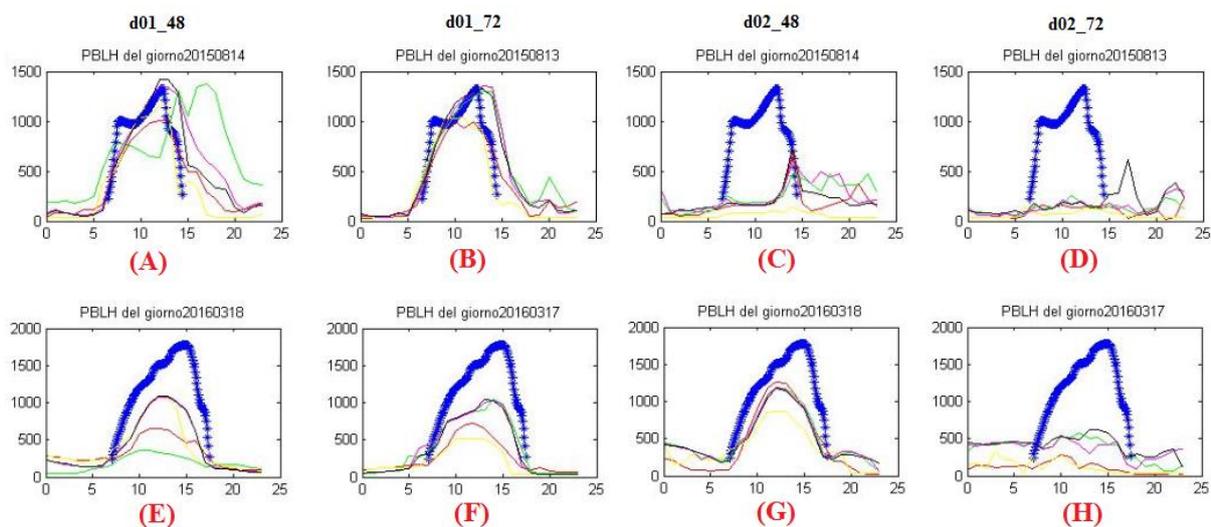


Fig. 12: Sono riportati gli andamenti dell'altezza del PBL misurati dal Lidar e quelle previste dalle cinque parametrizzazioni WRF considerate sia a +48h sia a +72h per entrambi i domini, d01, a più bassa risoluzione (16km) e d02, a più alta risoluzione (4km). I plot si riferiscono a due giorni ritenuti rappresentativi del campione analizzato.

Dal confronto del plot (A) con (C) e (B) con (D) di Fig. 12, si evince, in maniera inattesa, che la previsione dell'altezza del PBL peggiora con l'aumentare della risoluzione. Questo può essere dovuto alla complessa morfologia della costa vicino Taranto, per cui la maggiore risoluzione del modello non sempre migliora i risultati (si veda ad esempio de Tomasi et al., 2011 [2]).

Dal confronto del plot (G) con (H), come ci si aspetta, si osserva che la previsione peggiora all'aumentare dell'ora di previsione. Risultati contrastanti si ottengono dal confronto del plot (E) con (F) in cui non si evincono differenze al variare dell'ora di previsione oppure dal confronto del plot (A) con (B) in cui la previsione a +72h sembra più aderente alla realtà di quella a +48h.

Stessi risultati sono evidenti quando viene usata la tecnica del *Nudging* (per una questione di sintesi non riporto in questa relazione i relativi grafici).

Per quanto riguarda il radiosondaggio, esso fornisce il profilo verticale della temperatura due volte al giorno, a mezzanotte e a mezzogiorno. Dal profilo verticale della temperatura è possibile risalire all'altezza del PBL ricercando quella che è l'inversione termica. Di nostro interesse è solo la misura

delle ore 12h. A differenza dell'analisi con i dati Lidar in cui ho potuto confrontare pochi giorni ma a quasi tutte le ore nell'arco della giornata, nell'analisi con i dati da radiosondaggio ho avuto a disposizione tanti giorni (tutto il periodo di interesse) ma solo a mezzogiorno (alcuni giorni sono stati non considerati nell'analisi perché l'inversione termica compariva a quote non compatibili con l'altezza del PBL).

A titolo di esempio, in Fig. 13, mostro un profilo tipico di temperatura.

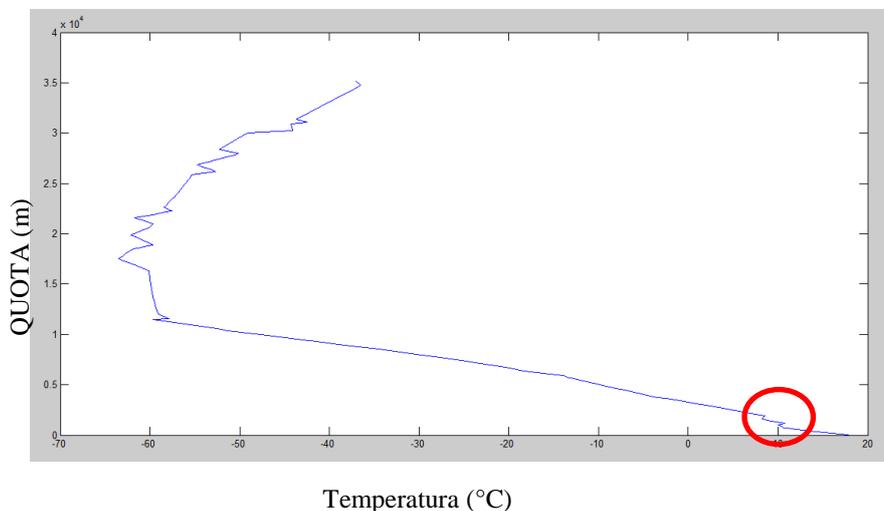


Fig. 13: Profilo verticale della temperatura misurato dal Radio Sondaggio in uno dei giorni considerato per l'analisi. Il cerchio rosso indica la regione di inversione utile per individuare l'altezza del PBL.

L'algoritmo in questo caso individua l'inversione termica come rappresentato in Fig. 14.

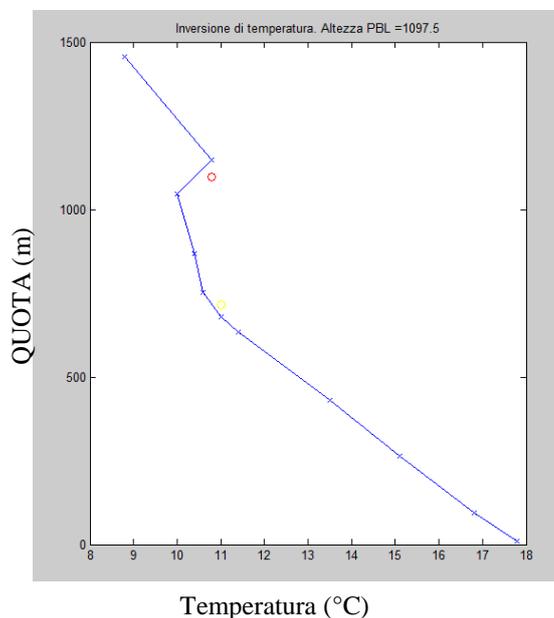


Fig. 14: Dettaglio del profilo verticale della temperatura misurato dal Radio Sondaggio in uno dei giorni considerato per l'analisi. Il cerchietto rosso rappresenta l'altezza misurata dall'individuazione dell'inversione. Il cerchietto giallo rappresenta la variazione di pendenza che nella prima fase è pari a circa $-9.81 \text{ }^\circ\text{C/m}$.

Nei grafici seguenti (Fig. 15) vengono riportate le distribuzioni degli scarti tra la misura da Radio Sondaggio e le previsioni del modello WRF:

$$[\text{Misura_RadSound} - \text{Prev_WRF}]$$

Si può concludere che non vi è sostanziale differenza né tra le cinque parametrizzazioni considerate né, tantomeno, tra le previsioni a +48h e +72h.

Si noti inoltre che, mentre per la WS10 le previsioni WRF risultavano mediamente superiori ai valori misurati, nel caso dell'altezza del PBL le previsioni WRF risultano mediamente inferiori.

Data la popolosità del campione del Radiosondaggio si ritiene statisticamente più significativo tale risultato rispetto a quello del confronto Lidar che invece ha riguardato un campione di ridotte dimensioni di casi scelti.

E' stata inoltre condotta una analisi per ricercare eventuali dipendenze tra l'errore del modello e particolari condizioni atmosferiche. Un'analisi preliminare non evidenzia alcuna dipendenza.

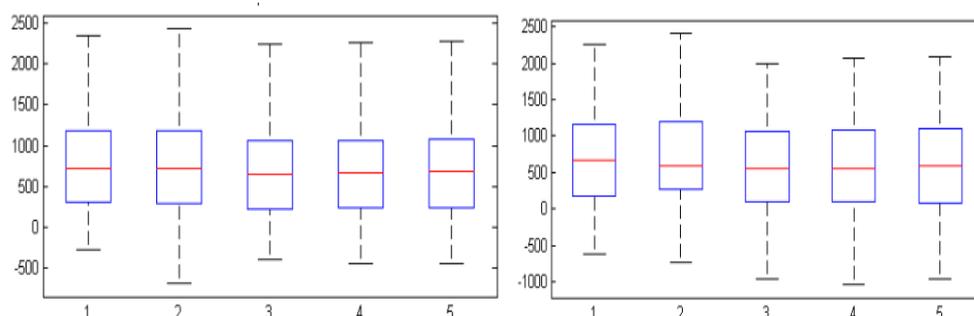


Fig. 15: (Sinistra) Distribuzione degli scarti per ognuno dei cinque modelli estratti dal dominio a più alta risoluzione per le ore di previsione tra la 25 e la 48; (Destra) distribuzione degli scarti per ognuno dei cinque modelli estratti dal dominio a più alta risoluzione per le ore di previsione tra la 49 e la 72.

Conclusioni

Dall'analisi sulla WS10 possiamo concludere che le cinque parametrizzazioni presentano tutte uno scarto positivo e che le metodologie standard per combinare i diversi metodi non sono adeguate.

Nel caso dell'altezza del PBL si riscontrano valori predetti mediamente più bassi e che tutte le parametrizzazioni si comportano mediamente allo stesso modo. Il fatto che le cinque parametrizzazioni considerate presentino mediamente lo stesso scarto e che questo non sia legato né alla stagione e né alle particolari condizioni atmosferiche ci porta a concludere che per poter migliorare le performance del modello in previsione si deve intervenire sull'approssimazione della fisica utilizzata dal modello. In effetti il territorio pugliese presenta delle caratteristiche non standard, come per esempio essere collocata tra due mari. Una prima cosa che si potrebbe immaginare di fare è cambiare il parametro di rugosità sul territorio tarantino che porterebbe a un frenamento del vento ma a tal riguardo è certamente necessaria una indagine più approfondita.

Referenze

[1] Ruiz, Juan J., Celeste Saulo, and Julia Nogués-Paegle, *WRF model sensitivity to choice of parameterization over South America: validation against surface variables*, Monthly Weather Review 138.8 (2010): 3342-3355.

[2] F. De Tomasi, M. M. Miglietta, M. R. Perrone, *The growth of the PBL in a coastal site: a case study*, Boundary Layer Meteorology, 139, 521-541, 2011; DOI: 10.1007/s10546-011-9592-6;

Corsi ed Esami Sostenuti

Come previsto dal Collegio dei Docenti e dal regolamento ho frequentato otto (8) corsi di formazione da 16 ore (2 CFU) tra quelli indicati a inizio anno, producendo un elaborato finale o sostenendo un esame finale a seconda delle richieste del docente.

In Tab. 2 sono riportate schematicamente le informazioni relative ai corsi seguiti.

Corso	Docente	CFU	Prova finale	Esito
Management and knowledge of European research model and promotion of research results	Prof.ssa Alessia D'Orazio	2	Scrittura Progetto di Ricerca: «WOLF-WRF Optimization for Local Forecast»	Idoneo
How to prepare a technical speech in English	Prof.ssa Carmela White	2	Oral presentation: «Post-processing of the Weather Research and Forecasting (WRF) mesoscale model by Artificial Neural Networks»	Idoneo
LabView introductory Course	Prof. Fabio Gargano	2	Implementazione in linguaggio LabView del metodo numerico di Runge-Kutta per la risoluzione di eq. Differenziali + Relazione	Idoneo
Python course	Prof. Domenico Diacono	2	Test finale	Idoneo
Complex Systems	Prof. Gianni Ferraro	2	Relazione: « <u>La complessità delle previsioni nella meteorologia e la tecnica degli <i>Ensamblés</i></u> »	Idoneo
Optical Sensors	Prof. Vincenzo Spagnolo	2	Presentazione: «Scattering Radiative Transfer – immagini da satellite»	Idoneo
Statistical and computational models for physical data analysis	Prof.ssa Sonia Tangaro	2	Presentazione: «La trasformata di Hough per il riconoscimento di forme in immagini digitali»	Idoneo
Experimental Data Analysis and Comparisons to Theoretical Models	Prof. Alexis Pompili	2	Generazione dati e fit dei dati con valutazione al crescere delle entries	Consegnato in attesa di revisione

Tab. 2: Tabella riassuntiva dei Corsi seguiti durante il primo anno di dottorato.

Partecipazione a Scuole di Dottorato, Corsi e Seminari

- **Partecipazione alla Scuola “Internation Summer School EUMETSAT”**

In Tab. 3 sono riportate schematicamente le informazioni relative alla Summer School seguita durante questo primo anno di dottorato.

International Summer School Bracciano	
Periodo	6-15 Giugno 2016
Durata	10 giorni
Luogo	Bracciano (Roma)
Organizzazione	Collaborazione tra Aeronautica militare e EUMETSAT (Satellite SEVIRI)
Tematiche	Riconoscimento di eventi (incendi, polveri, fumo, cenere) da immagini da satellite [SIRI (4 canali), MODIS (NASA), SEVIRI (Eumetsat)]
Discipline	Image Processing & Pattern Recognition
Applicazioni	Satellite Application Facilities (SAF) di supporto al Nowcasting
Esito prova finale (test) - votazione	Positivo - 9,7/10

Tab. 3: Tabella riassuntiva della Summer School seguita durante il primo anno di dottorato.

- **Corso intensivo sulle GPU**

Ho partecipato al corso organizzato dalla sezione di Bari dell'INFN dal titolo “**Corso intensivo di programmazione di schede grafiche utilizzando CUDA**” tenutosi nei giorni 11, 12 e 13 maggio 2016.

- **2.4 Seminario sui “Gaseous Detectors”**

Ho partecipato al seminario organizzato dalla Scuola di Dottorato dal titolo “**Gaseous Detectors**” con Relatore il Prof. Vladimir Peskov.

Partecipazione a Workshop e Conferenze

In questo primo anno di dottorato ho partecipato al 16Th Convegno Internazionale organizzato dalla EMS a Trieste presentando una ricerca dal titolo: “Ensemble of different planetary boundary layer schemes in WRF model for wind speed and direction prediction over Apulia region”, attraverso un Poster ed una Presentazione orale.

Inoltre ho partecipato ad una attività di ricerca collaterale alla mia attività di dottorato ma collegata a quanto svolto nel periodo di tesi di laurea, riguardante la fisica medica. Ho contribuito allo sviluppo dei modelli computazionali utilizzati per la partecipazione alla competizione mTOP 2016 organizzata

da MICCAI e conclusasi ad Atene durante la “International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention” il 17 ottobre.

Entrambe queste manifestazioni prevedono la sottomissione di un lavoro più esteso

- **Convegno Trieste**

**16th - EMS (European Meteorological Society) Annual Meeting & 11th European Conference on Applied Climatology (ECAC)
12-16 September 2016, Trieste, Italy**

Logo



Lavoro presentato:

EMS Annual Meeting Abstracts
Vol. 13, EMS2016-565, 2016
16th EMS / 11th ECAC
© Author(s) 2016. CC Attribution 3.0 License.



Ensemble of different planetary boundary layer schemes in WRF model for wind speed and direction prediction over Apulia region

Andrea Tateo (1), Francesca Fedele (2), Menegotto Micaela (2), Roberto Bellotti (1,3)

(1) Dipartimento Interateneo di Fisica, Università degli Studi di Bari A. Moro, Bari, Italy, (2) Apulia Region Environmental Protection Agency (ARPA Puglia), Corso Trieste 27, 70126 Bari, Italy, (3) Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Bari, Bari, Italy

article authblk

1]Tateo A. [1]Dipartimento Interateneo di Fisica, Università degli Studi di Bari A. Moro, Bari, Italy 2]Fedele F. 2]Menegotto M. [2]Apulia Region Environmental Protection Agency (ARPA Puglia), Corso Trieste 27, 70126 Bari, Italy 1,3]Bellotti R. [3]Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Bari, Bari, Italy

La partecipazione alla conferenza è avvenuta attraverso la presentazione di un poster e una *presentazione orale* tenuta il 15 settembre nella sessione “*Numerical aspects and physical parametrization integration in NWP (Numerical Weather Prediction) models*”.

- **mTOP 2016**

La MICCAI (Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention) è una Società scientifica che organizza numerose Challenges internazionali. Tra queste, nel 2016, ne ha organizzato una denominata mTOP 2016 (Mild Traumatic Brain Injury Outcome Prediction).

L'obiettivo della challenge era quello di individuare un metodo non supervisionato per la

classificazione di lesioni provocate da traumi cerebrali di media entità. Infatti, nonostante allo stato dell'arte i metodi di neuroimaging abbiano raggiunto un'elevata risoluzione spaziale e temporale, la diagnosi di tali traumi è inficiata dalle dimensioni e dalla localizzazione delle lesioni. In tale contesto si colloca la ricerca di un valido supporto per la diagnosi precoce che operi in modo non supervisionato, sfruttando le proprietà inesplorate delle immagini a disposizione. Il metodo proposto coniuga semplicità computazionale e potenza predittiva. Esso si basa sulla valutazione del grado di connettività strutturale delle aree cerebrali attraverso l'estrazione di caratteristiche graph-based e sull'entità del danno strutturale dei sub-volumi in cui è possibile partizionare l'intero volume cerebrale. Il mio contributo si colloca proprio nell'estrazione automatica di questi sub-volumi. Il metodo proposto ha ottenuto un ottimo risultato, infatti ci siamo classificati al primo posto. Questo grande risultato ottenuto trova meriti anche nell'aver permesso ai dottorandi del dipartimento di fisica e del politecnico di seguire gli stessi corsi. E' proprio in questa situazione che è stata avviata una collaborazione scientifica tra le due componenti UNIBA e POLIBA, a seguito di un confronto e di una condivisione scientifica.

Pubblicazioni

- Ensemble of different planetary boundary layer schemes in WRF model for wind speed and direction prediction over Apulia region , A. Tateo, F. Fedele, M. Menegotto, S. Tangaro, R. Bellotti, *Advances in Science and Research* (in preparation), gennaio 2017.
- “Semi-supervised Prediction for Mild TBI Based on Both Graph and K-nn Methods”, R. **Bellotti**, A. Lombardi, C. Guaragnella, N. Amoroso, A. **Tateo**, S. Tangaro, *Lecture Notes in Computer Science* (submitted)