ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITA' DI BOLOGNA

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

Corso di Laurea Specialistica in SCIENZE AMBIENTALI MARINE E OCEANOGRAFIA

CONTROLLO DI QUALITA' PER LE PREVISIONI DEL MARE MEDITERRANEO

Tesi di Laurea in OCEANOGRAFIA FISICA

Relatore

Prof.ssa NADIA PINARDI

Presentata da ILARIA PENNINO

Correlatore

Dott.ssa MARINA TONANI

(II sessione) Anno Accademico 2007-2008

INDICE

Capitolo 1	3
Introduzione	3
1.1 Presentazione dell'area di lavoro: il Mediterraneo	3
1.2 Circolazione generale	4
1.2.1 La circolazione superficiale	6
1.2.2 La circolazione intermedia	6
1.2.3 La circolazione profonda	7
1.3 Il Golfo del Leone	7
1.4 Il Bacino Levantino	8
1.5 Caratteristiche della variabilità del forzante atmosferico nel Mar Mediterraneo	8
1.5.1 Inverno	9
1.5.2 Primavera	10
1.5.3 Estate	11
1.5.4 Autunno	12
1.6 Descrizione del sistema di previsioni marine MFS	12
1.6.1 Le componenti del sistema	14
1.6.1.1 I dati osservativi e il forzante atmosferico	14
1.6.1.2 Il modello numerico	18
1.6.1.3 Schema di assimilazione dati	19
1.7 Obiettivi della tesi	20
Capitolo 2	21
Confronto tra analisi e previsioni atmosferiche	21
2.1 Dati di modellistica	21
2.1.1 Analisi	21
2.1.2 Previsioni	22
2.2 Metodi di controllo di qualità	22
2.3 Metodi statistici e dati utilizzati	24
2.4 Errore Quadratico Medio (RMSE) dei dati del forzante atmosferico	27
2.4.1 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Mediterraneo	27
2.4.2 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Golfo del Leone	32

2.4.3 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Bacino Levantino	35
2.4.4 Descrizione dei risultati ottenuti dal confronto delle tre aree analizzate	37
Capitolo 3	41
Confronto tra simulazioni e previsioni oceaniche	41
3.1 Introduzione	41
3.1.1 Simulazioni	42
3.1.2 Previsioni	42
3.2 Metodi statistici e dati utilizzati	42
3.3 Errore Quadratico Medio (RMSE) dei dati del modello oceanico	47
3.3.1 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Mediterraneo	47
3.3.2 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Golfo del Leone	53
3.3.3 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Bacino Levantino	59
3.4 Anomalia di Correlazione (ACC) dei dati del modello oceanico	65
3.4.1 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Mediterraneo	65
3.4.2 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Golfo del Leone	68
3.4.3 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Bacino Levantino	72
Capitolo 4	77

Casi di studio della risposta oceanica al diverso forzante

atmosferico	77
4.1 Introduzione	77
4.2 Descrizione dei risultati ottenuti nel Golfo del Leone	81
4.3 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Bacino Levantino	87
Capitolo 5	95
Conclusioni	95
Bibliografia	99

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Presentazione dell'area di lavoro: il Mediterraneo

Il Mediterraneo è un vasto bacino, residuo di un paleo-oceano, interposto tra l'Eurasia e l'Africa. Si estende su un'area complessiva di 2.966.000 km² compresa tra i 35° N e i 45° N di latitudine e i 5° O e i 35° E di longitudine.

Con una batimetria media di 1.495 m, ha due punti di massima profondità, uno per bacino, individuati nel Mar Tirreno, fra le isole di Ustica e di Ponza, con una fossa di 3.625 m, e nel Mar Ionio, presso capo Matapan, con una profondità di 5.092 m.

A questi due punti si contrappongono due batimetrie minime di circa 300 m corrispondenti con lo Stretto di Gibilterra e con il Canale di Sicilia.

L'ampio sollevamento del fondo, che si estende dalla Tunisia alla Sicilia (zoccolo siculoafricano), divide il Mediterraneo in due bacini: il primo è quello del Mediterraneo occidentale, delimitato dal Canale di Sicilia e caratterizzato da ampie piane abissali, il secondo, il Mediterraneo orientale, è molto più accidentato e dominato dal sistema della dorsale Mediterranea.



Figura 1.1: Il Mar Mediterraneo

Esso comunica con l'Atlantico mediante lo Stretto di Gibilterra, un'apertura compresa tra le coste spagnole a nord e quelle marocchine e algerine a sud e con una larghezza minima di circa 20 km e una profondità di appena 320 m nel punto più sollevato della sella; comunica con il Mar Rosso tramite il Canale di Suez e quindi anche con l'Oceano Indiano. Infine attraverso il sistema Dardanelli-Mar di Marmara-Bosforo, il Mediterraneo comunica anche con il Mar Nero. Data la complessità della forma, il Mediterraneo viene inoltre suddiviso in alcuni mari secondari.

Il bacino occidentale del Mediterraneo, ben delimitato dal bacino orientale (congiungente Capo Bon - Capo Lilibeo), contiene il Mar d'Alboran, il Mare Balearico a ovest della Sardegna e Corsica, il Tirreno a est delle stesse e il Mar Ligure. Il bacino orientale, invece, si distingue a sua volta in Canale di Sicilia, Mar Ionio, Mare Adriatico, Mare Egeo e Mar di Levante.

1.2 Circolazione generale

La dinamica degli oceani è guidata principalmente dall'energia solare che determina i movimenti dell'atmosfera e dell'idrosfera che, a loro volta, s'influenzano a vicenda. I due meccanismi principali che generano la circolazione di masse d'acqua sono:

- la circolazione termoalina, indotta da cambiamenti di densità e dunque da variazioni di temperatura e/o salinità;
- i movimenti superficiali causati dall'azione del vento (wind stress).

Il Mar Mediterraneo è un bacino di 'concentrazione', in cui l'evaporazione è maggiore dell'afflusso di acqua dolce derivante dai fiumi e dalle precipitazioni.

L'acqua che entra dallo Stretto di Gibilterra è sottoposta a evaporazione e di conseguenza subisce un aumento di salinità e di densità.

Nel caso del Mar Mediterraneo, il motore di questa circolazione è dato da processi di convezione intermedia, soprattutto nel bacino Levantino, che portano alla formazione di una cella termoalina che si sviluppa zonalmente (in direzione est-ovest). Questa cella è composta da un ramo superficiale di acqua entrante e da un ramo più profondo di acqua, relativamente salata, che s'immette nell'Atlantico attraverso lo Stretto di Gibilterra. A questa cella termoalina principale se ne aggiungono altre due secondarie che si sviluppano in direzione meridionale (nord-sud) e sono guidate da processi di convezione profonda.

Questi processi avvengono a ovest nel Mediterraneo Nord Occidentale e a est nel Mare Adriatico e nel Mare Egeo, e trasformano acqua intermedia e profonda in acqua di fondo.



Figura 1.2: Circolazione generale del Mar Mediterraneo

Il Mar Mediterraneo è inoltre caratterizzato da tre distinti strati di masse d'acqua:

- uno strato di acqua atlantica (AW), compreso tra la superficie e i primi 100m che, s'immette nel bacino mediterraneo attraverso lo Stretto di Gibilterra ed è caratterizzato da temperature (15° C) e salinità basse (36.5 PSU a ovest e 38.5 PSU a est della Sicilia);
- uno strato di acqua intermedia levantina (LIW) tra i 200 e i 600 m con una salinità ≥ di 38.5 PSU formatasi nel bacino levantino orientale;
- 3) acque profonde fino al fondo.

A causa della soglia poco profonda (shallow sill) dello stretto di Sicilia, AW e LIW si scambiano tra il bacino orientale e occidentale.

Le acque di fondo dei bacini occidentale e orientale si formano separatamente: nell'Adriatico per il bacino orientale e nel bacino balearico settentrionale per il bacino occidentale.

Le profondità e le caratteristiche della temperatura e salinità dei tre strati variano in ciascuna sottoregione dei due bacini a causa dell'intenso processo d'interazione aria-acqua e del mescolamento verticale con gli strati adiacenti.

1.2.1 La circolazione superficiale

Le correnti superficiali mediterranee si originano tutte dall'afflusso di acqua atlantica e seguono in prevalenza andamenti di tipo ciclonico. L'acqua atlantica, più fredda ma meno salata entra nel Mediterraneo dopo aver lambito le coste del Marocco.

Varcato lo stretto di Gibilterra, viene spinta a sud dalla forza di Coriolis e, seguendo prevalentemente la costa nordafricana, dà origine alla corrente algerina. Una parte di questa massa d'acqua, scontrandosi con la corrente anticiclonica del Mar di Alboran, si dirama verso nord in direzione delle Isole Baleari.

La corrente algerina, proseguendo il suo corso, si biforca nuovamente: una parte prosegue verso il canale di Sicilia, un'altra invece risale verso la Corsica e, unendosi alla parte che fin dall'inizio si era diretta verso le Baleari dà origine alla Corrente Liguro-Provenzale-Catalana, anche chiamata "corrente settentrionale", che scorre verso ovest lambendo le coste liguri, francesi e catalane e attraversando il Golfo del Leone.

I bassi fondali del Canale di Sicilia fanno sì che la corrente algerina si biforchi nuovamente. Una parte, infatti, risale verso il Tirreno dando origine a una corrente ciclonica che lambisce in parte le coste liguri e si riunisce, poi, con la Corrente Liguro-Provenzale-Catalana.

La parte di corrente algerina che riesce a valicare il canale di Sicilia attraversa dapprima un'area, prospiciente le coste della Tunisia e della Libia, caratterizzata da correnti anticicloniche meandriformi (il Golfo della Sirte) e poi forma la corrente africana che scorre lungo il mar di Levante dando origine alla corrente dell'Asia Minore che lambisce la costa Turca fino a Rodi.

Anche nell'Adriatico, nello Ionio e nell'Egeo vi sono altre correnti minori di tipo ciclonico che portano alla formazione di ampi gyres, nonché alla corrente centro-mediterranea che scorre sopra la dorsale mediterranea in direzione di Creta e di Cipro.

1.2.2 La circolazione intermedia

Lo strato d'acqua compreso fra i 200 e i 600 metri è interessato da un movimento in senso opposto a quello delle correnti di superficie. D'inverno, con il calo della temperatura si ha un aumento della densità dello strato superficiale che "comprime" lo strato d'acqua inferiore dando origine alla corrente intermedia.

Questa corrente è divisa in un ramo principale che percorre l'intero Mediterraneo e due rami secondari che attraversano l'uno il Golfo della Sirte e l'altro, più grande, lo Ionio, fino

a entrare nell'Adriatico dove incontra le fredde acque invernali per poi fuoriuscire dallo Stretto d'Otranto.

Il ramo principale si dirige invece verso il canale di Sicilia dove, a causa dei fondali bassi e della portata della corrente superficiale, deve dividersi in due stretti passaggi laterali situati a quote diverse. L'acqua proveniente dal più settentrionale dei passaggi si dirige verso il Tirreno, dove fa un lungo giro antiorario ed esce, quasi interamente, per ricongiungersi col ramo secondario, risalire verso la Sardegna fino alla costa francese e spagnola, e defluire dallo Stretto di Gibilterra.

1.2.3 La circolazione profonda

Le correnti di profondità interessano due aree del Mediterraneo: il bacino liguroprovenzale e lo Ionio. In entrambi i casi, le correnti si originano nella stagione invernale in seguito ad un rapido raffreddamento delle acque a causa del vento.

Nel primo caso il Mistral raffredda rapidamente le acque al centro del Golfo del Leone. In seguito all'aumento di densità, l'acqua si dirige verso il fondo sino ai 2.000 metri di profondità, contribuendo al lento ricambio delle acque profonde.

Nel bacino orientale è la Bora che, abbassando la temperatura delle acque nel Mare Adriatico, origina una corrente diretta verso sud che s'inabissa oltre il canale di Otranto contribuendo al ricambio delle acque profonde dello Ionio.

1.3 Il Golfo del Leone

La circolazione è caratterizzata da alcuni gyre anticiclonici che si evolvono molto lentamente.

Nella parte occidentale del bacino, si nota un gyre anticiclonico quasi - stazionario centrato intorno a 1°E. Questo gyre con un diametro di 250-300 km, occupa l'intera larghezza del bacino tra la costa algerina e le isole Baleari.

La MAW fluisce intorno a questo gyre prima di entrare nella parte centrale del bacino algerino. Al centro del bacino algerino vi sono alcuni gyre, con diametro superiore a 300 km, che interagendo con la corrente costiera, si allontanano al largo e, a volte, si dividono in vortici più piccoli.

Le correnti occidentali e orientali della Corsica s'incontrano a nord della Corsica nel Mar Ligure per formare la corrente settentrionale. A dicembre, fuori da Capo Creus, la corrente settentrionale è deviata verso sud da una circolazione ciclonica guidata dal vento che si sviluppa oltre il bacino settentrionale. Da febbraio a luglio vi è un trasporto di MAW dal Bacino Algerino al Mar Balearico attraverso il canale di Ibiza. Durante il resto dell'anno la superficie fluisce verso sud e l'acqua superficiale mediterranea entra attraverso il Bacino Algerino attraverso il Canale di Ibiza.

1.4 Il Bacino Levantino

Il Mar di Levante è la parte più orientale del Mediterraneo ed è delimitato a ovest dalla linea che congiunge Capo Ra's al Hilal, in Libia, con l'isola di Gavdos, presso Creta. Lo strato superficiale di questo bacino è occupato da AW, che fluisce verso est dallo Stretto di Sicilia e va a bilanciare la quantità di EMDW persa a seguito dell'alta evaporazione. Sotto questo strato troviamo la massa d'acqua più importante di questo bacino: la LIW.

Questa massa d'acqua si forma in inverno a causa della trasformazione di AW. Al di sotto troviamo una massa d'acqua più fredda, meno salata e meno densa (EMDW). Si forma, infatti, in seguito ad un forte raffreddamento che avviene nella parte settentrionale del Bacino Levantino.

In estate, inoltre, la superficie del Mar di Levante è interamente ricoperta da uno strato sottile di acqua calda e salata che copre AW e che è chiamato Levantine Surface Water (LSW).

Lungo la costa è inoltre presente una circolazione ciclonica a larga scala, mentre vortici di mesoscala occupano la parte centrale e meridionale dell'area.

1.5 Caratteristiche della variabilità del forzante atmosferico nel Mar Mediterraneo

Conoscere la circolazione atmosferica del Mediterraneo e la sua variabilità è di notevole importanza perché forniscono i forzanti esterni, quali lo stress del vento e il flusso termico, che sono alla base della circolazione marina del bacino Mediterraneo.

La circolazione generale del Mediterraneo è governata dall'azione combinata o isolata dei grandi centri barici a scala planetaria: cicloni e anticicloni, permanenti o stagionali.

I venti del bacino sono in parte determinati dagli effetti superficiali locali, quali il riscaldamento differenziale tra terra e mare e le deviazioni determinate dall'orografia. Il risultato sono numerosi venti regionali (associati alle caratteristiche del vento a grande scala) e locali (associati ai caratteri specifici dell'orografia e della linea di costa).

Maestrale, Etesi, Bora, Tramontana, Libeccio, Scirocco e Grecale, sono tra i più importanti

venti che interessano l'area del Mediterraneo.

Sebbene i venti locali si alternino durante l'intero arco dell'anno, la struttura climatologica del vento dell'intero Bacino è fortemente influenzata dal Maestrale, nella stagione invernale e, dai venti Etesi, in quella estiva.



Figura 1.3: Schema dei venti nel Mar Mediterraneo

Quasi tutti provengono da regioni lontane anche 10.000km, e siccome portano con se le caratteristiche climatiche delle regioni di origine o di quelle attraversate durante il cammino, provocano, al loro arrivo, forti variazioni dei parametri fisici della zona.

1.5.1 Inverno

Durante l'inverno, sul nord-est Egeo, si formano un numero rilevante di cicloni. Questa stagione, infatti, corrispondente al picco annuale di ciclogenesi in questa zona (Flocas e Karacostas, 1996) anche perché le depressioni che si originano nel Mediterraneo centrale e occidentale scendono facilmente sul Mar Egeo (Katsoulis, 1980).

E' interessante notare che il numero di cicloni aumenta durante la notte quando il contrasto termale all'interfaccia aria mare è massimo (Maheras et al., 2000).

Nel Mediterraneo Occidentale il numero di centri di cicloni é il minore dell'anno ma corrisponde ai più profondi e intensi (Campins et al.,2005). La Penisole Iberica e l'Africa nord occidentale sono, al contrario, interessate da zone anticicloniche (Trigo et al., 1999).

Nel Mediterraneo centrale le depressioni raggiungono il loro maggiore sviluppo e precisamente nel Tirreno Meridionale e sullo Ionio.

Nel periodo invernale in genere soffia il Maestrale, o Mistral, un flusso di aria fredda di

origine atlantica, proveniente da nord-ovest, che, attraversando i Pirenei, il Massiccio Centrale e le Alpi, giunge nel Golfo del Leone, aprendosi a ventaglio.

Questo vento si genera a causa della presenza di una zona d'alta pressione a sud ovest della Francia e di una depressione che interessa il Mediterraneo centrale.

Come ogni vento geostrofico, soffia a occidente della depressione ed é tanto più intenso quanto maggiore é il gradiente di pressione. Sebbene soffi tutto l'anno portando aria fresca, asciutta e bel tempo nel sud della Francia, é durante l'inverno che spesso acquista una forza tale da influenzare fortemente la struttura climatologica del vento di questi mesi su tutto il Mediterraneo.

Nel Mediterraneo orientale, il Maestrale, si unisce ai venti *Etesi* che, in questo periodo, non sono particolarmente intensi.

Sul versante Adriatico é invece frequente la *Bora*, un vento da nord est che può attaccare con forza soprattutto in inverno con violente raffiche sulla parte orientale del bacino.

Infine sulla parte occidentale di Corsica e Sardegna, è frequente la *Tramontana*, un vento da nord nord-est, simile al *Maestrale* che, raramente acquista forza.

1.5.2 Primavera

In primavera la frequenza di cicloni nel Mediterraneo Orientale aumenta ulteriormente sebbene si tratti di fenomeni deboli o moderati (Maheraset al., 2000).

Nel Mediterraneo Occidentale, la caratteristica principale é la formazione di un pronunciato centro di basse pressioni sulle Baleari, assente in inverno.

La frequenza di cicloni nel Golfo di Genova é leggermente ridotta rispetto all'inverno, per la tendenza di questi centri a scendere durante le ore del giorno, a causa di forzanti locali o dell'instabilità sulle Alpi (Gomis et al., 1990), e a saldarsi con i centri depressionari del Sud d'Italia.

In questa stagione si assiste anche ad un significativo aumento dei cicloni sulle coste Nord occidentali dell'Africa, conosciute come depressioni Sahariane.

Le zone anticicloniche sono ora predominanti lungo il confine meridionale del Mediterraneo, con tre massimi: uno sull'Algeria, un'altro a sud della Sicilia e, un terzo vicino Israele. Durante il giorno si espandono arrivando a coprire gran parte del Mediterraneo meridionale fino a lambire le Isole Baleari.

La primavera è la stagione dei venti sud orientali. Il *Khamsin*, un vento secco, polveroso e caldo proveniente dall'Egitto, non é associato ad una direzione ben precisa, ma piuttosto alle caratteristiche di umidità, temperatura e intensità che può assumere.

I venti di Khamsin soffiano, sul Mediterraneo, davanti alle depressioni in movimento verso

est. Situazioni simili sono responsabili anche dei venti di *Scirocco* che soffiano sull'Adriatico e sul Tirreno. Sono venti caldi ma molto più umidi accompagnati spesso da piogge. In Libia, il *Khamsin* prende il nome di *Ghibli*.

Sul versante occidentale la stessa situazione sinottica da luogo ai *Levantades*, venti da est nord-est a lungo "fetch" che soffiano lungo le coste della Spagna.

1.5.3 Estate

Durante l'estate il numero di cicloni cresce in maniera cruciale nel Golfo di Genova arrivando ad essere il maggior centro di depressioni durante l'anno (Maheras et al., 2000). Anche il numero di cicloni nel Sud d'Italia subisce un incremento, in questa stagione. Ciò sembra connesso alla strada di percorrenza preferenziale delle depressioni occidentali che si esauriscono nel Golfo di Taranto (Alpert et al.,1990).

A differenza del Mediterraneo Occidentale, la frequenza di cicloni in Adriatico, Ionio e Mar Egeo diminuisce sensibilmente, mentre rimane alta per la zona di Cipro (Maheras et al., 2000).

Durante l'estate le zone anticicloniche si espandono ulteriormente, arrivando a coprire tutto il Mediterraneo meridionale; ciò è connesso all'estensione dell'alta pressione delle Azzorre e all'influenza dell'anticiclone sub-tropicale centrato sul Nord Africa.

Gli *Etesi* (o *Meltemi*) sono i venti predominanti nel bacino orientale del Mediterraneo nel periodo estivo. La massa d'aria che li contraddistingue è di tipo polare continentale, proveniente in genere dalla Russia meridionale e dal Mar Caspio; sono dunque principalmente venti secchi. La loro presenza è garantita dalla concomitante presenza, in estate, della relativa alta pressione centrata sull'Europa meridionale e della depressione continentale sul sud-est asiatico.

Gli *Etesi* possono persistere molto a lungo e, non a caso, la parola che li definisce deriva dal greco "etesios" cioè annuale. Nonostante siano venti stagionali estivi (Brody, 1980), sono spesso presenti in autunno e inverno ma con minore intensità.

Sul versante occidentale del bacino, oltre alle innumerevoli situazioni di brezza locale, predomina il *Libeccio*, soprattutto su Corsica e Sardegna. È un vento sud occidentale, proveniente dall'Africa che spesso sfocia in burrasche locali. In inverno si alterna alla tramontana in queste zone.

Sul Golfo del Leone il *Marin*, secondo per frequenza dopo il *Maestrale*, soffia da sud-est ed é generalmente caldo e umido, portatore di pioggia ed é associato alle depressioni che entrano dall'Atlantico attraverso il golfo di Biscaglia.

1.5.4 Autunno

In autunno il Mediterraneo centro-orietnale presenta caratteristiche simili all'inverno e alla primavera rimanendo invariato in magnitudine (Maheras et al., 2000).

Il golfo di Genova è sempre favorevole alla presenza di cicloni in tutte le stagioni (Trigo et al., 1999), mentre sulle Baleari si registra un numero abbastanza alto di depressioni deboli o moderate che possono però portare a eventi di piovosità estrema (Campins et al. 2006).

Il centro situato nell'Italia Meridionale sembra avere le stesse caratteristiche dell'estate ma con una frequenza leggermente inferiore (Maheras et al., 2000).

Anche in questa stagione, come in primavera, esiste un centro sulle coste Nordafricane, intenso solo durante la notte. Solo il massimo sul Mediterraneo orientale si muove verso nord durante il giorno, permettendo la risalita della zona anticiclonica fino a sud di Cipro (Flocas et al., 2001).

La zona anticiclonica subisce uno spostamento verso sud causato dall'aumentata attività delle depressioni a nord.

Sul bacino est è predominano ancora gli *Etesi*, ma con intensità ridotte. Come in primavera, sono frequenti lo *Scirocco*, su tutto il Mediterraneo centrale, e i *Levantades*, che possono assumere parecchia forza, sulle coste orientali della Spagna.

Sullo Stretto di Gibilterra è il periodo dei *Vendavales*, forti venti da sud-ovest, che associati alle depressioni nord africane, possono sfociare in temporali violenti.

1.6 Descrizione del sistema di previsioni marine MFS

Il sistema di Previsioni del Mar Mediterraneo (Mediterranean ocean Forecasting System - MFS) ha iniziato le attività operative nel gennaio del 2000.

Ogni settimana vengono prodotte analisi giornaliere e previsioni a 10 giorni al fine di prevedere, dalla superficie al fondo, i principali parametri caratteristici dello stato del mare quali temperatura, salinità, intensità e direzione delle correnti marine, anomalia dell'elevazione della superficie del mare e, all'interfaccia aria-mare, lo stress del vento e il flusso di calore.

Tale sistema è costituito da:

- un sistema di collezione dati in situ e da satellite;
- un modello numerico;
- uno schema di assimilazione per correggere le simulazioni del modello con i dati disponibili.

Il sistema di previsione è costituito da una combinazione di analisi e simulazioni che permettono di avere la miglior stima dello stato attuale del mare dal quale poter partire per produrre le previsioni.

Il ciclo di produzione delle previsioni (Figura 1.4) ha inizio il martedì (D), giorno i cui viene fatta una simulazione (Tonani et al. 2008) per il periodo che va da D-15 a D-1. Alla superficie, il modello è forzato da dati atmosferici di analisi forniti dall'European Center Middle range Weather Forecast (ECMWF) e ogni 24hr vengono corrette le soluzioni ottenute tramite lo schema di assimilazione, dei dati in situ e da satellite (Dobricic et al. 2007).



Figura 1.4: Schema di produzione delle previsioni MFS

Ciò che si ottiene è la condizione iniziale delle ore 12 a. m. di D da cui far partire la previsione per le 24hr successive forzando il modello con i dati atmosferici di previsione. Nei giorni successivi, dal mercoledì al lunedì, verrà fatta una simulazione, per le 24hr precedenti la partenza della corsa della previsione, forzando il modello con i dati di analisi del forzante atmosferico, senza però assimilare alcun dato. Si otterrà così la condizione iniziale che farà partire il nuovo ciclo di 10 giorni di previsioni.

Il martedì successivo inizierà nuovamente la procedura per la creazione delle analisi reinizializzando la condizione iniziale del sistema simulazioni-previsioni giornalieri per i 6 giorni successivi. L'orario d'inizio per la produzione delle previsioni dipende dalla data in cui vengono forniti i forzanti atmosferici disponibili, poiché tutti gli altri dati necessari all'assimilazione sono stati già precedentemente forniti.

Il martedì inizia anche una procedura per la produzione delle analisi da D-15 a D-2 e, successivamente, inizia la produzione dell'analisi D-1 e della previsione da D a D+9. Negli altri giorni inizia la procedura della simulazione di D-1 e della previsione da D a D+9.

1.6.1 Le componenti del sistema

1.6.1.1 I dati osservativi e il forzante atmosferico

I dati utilizzati da MFS per le previsioni sono dati sia in situ che e da satellite, raccolti in Quasi Tempo Reale (NRT, cioè i dati sono resi disponibili entro 3 giorni dalla data di acquisizione reale del dato).

Il sistema per la raccolta dei dati *in situ*, cioè dei profili verticali di temperatura e di salinità, è rappresentato dalle sonde a perdere XBT, grazie all'utilizzo di Navi di Opportunità (SOOP), e da boe flottanti ARGO.

Gli **XBT** generano profili verticali di temperatura con una risoluzione verticale di 70 cm e forniscono un insieme d'informazioni necessarie per conoscere l'evoluzione della termoclina e degli scambi di calore tra mare e atmosfera.

Questi dati dapprima vengono trasmessi alle navi, che nel Mediterraneo percorrono 9 rotte con una risoluzione spaziale di 12 miglia marine, e nel giro di poche ore vengono trasmessi via satellite all'ENEA di La Spezia che ogni martedì rilascia i dati relativi agli ultimi 7 giorni.

I dati utilizzati per l'assimilazione devono superare alcuni controlli di qualità, effettuati dal centro che rilascia i dati e dall'INGV di Bologna, e che consistono in una visualizzazione grafica del profilo verticale e in un controllo della posizione (Manzella Scoccimarro, 2003).

I profili verticali ottenuti da boe **ARGO** invece, provengono in particolare da 23 boe flottanti disseminate nel Mediterraneo lungo le rotte del VOS durante il periodo di MFSTEP (Mediterranean ocean Forecasting System Toward Environmental Prediction).

Le boe ARGO sono, nello specifico, boe Provor e boe Apex che galleggiano a 350m di profondità e, ogni 5 giorni, arrivano alla profondità di 700m, profondità a partire dalla quale iniziano a campionare la colonna d'acqua risalendo sino in superficie. A questo punto trasmettono i dati raccolti per poi ritornare nuovamente in profondità e cominciare una nuova raccolta di dati.

Questi appena descritti sono cicli di 5 giorni; ogni 25 giorni invece, le boe arrivano fino a 2000m.

Nel Mar Ionio, su una rotta di 300 km, viene utilizzato un particolare strumento autonomo chiamato Glider che ha un'autonomia di 3-4 mesi. Questo profilatore permette di raccogliere profili di temperatura, salinità e ossigeno fino a 200 m di profondità.

I profili ottenuti dai profilatori ARGO sono forniti una volta alla settimana dal centro dati Coriolis in IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Brest).

Anche questi dati, come quelli derivanti dagli XBT, subiscono un controllo di qualità: un primo controllo viene condotto direttamente dall'IFREMER, l'altro dall'INGV di Bologna.

In particolare il controllo effettuato dall'INGV consiste in:

- controllo dell'etichetta della data e della posizione: vengono scartati i profili in cui l'etichetta ha valori diversi da 1;
- controllo dell'etichetta per ogni valore di T e S: per un livello di pressione, vengono scartate le coppie di T e S in cui l'etichetta ha valori diversi da 1. Non viene effettuato alcun controllo sulla pressione;
- eliminazione dei valori di undef;
- calcolo della frequenza di Brunt-Vaisala: vengono eliminati i profili di T e S a frequenza negativa;
- scarto di tutto il profilo se la distanza tra T e S nei primi 150 m è maggiore di 40 m.

Per quanto riguarda, invece, la parte di raccolta dati **da satellite**, questa è costituita da altimetri e radiometri, i quali permettono di avere rispettivamente dati di SLA (Sea Level Anomaly) e di SST (Sea Surface Temperature).

Le misure di **SLA** sono importanti perché permettono di conoscere e osservare il livello del mare, nonché la circolazione del Mar Mediterraneo a livello di mesoscala

I dati di SLA sono raccolti lungo le tracce dei satelliti Jason 1, Geosat Follow On (GFO) e Envisat (Figura 1.5). In particolare, nell'operatività, i dati raccolti da quest'ultimo satellite vengono solo scaricati ma, non ancora assimilati.



Figura 1.5: Tracce di SLA per un ciclo di assimilazione di 15 giorni

Ogni satellite è rappresentato da un ciclo di ripetizione (tempo che intercorre tra due passaggi successivi sullo stesso punto della terra) e da un intervallo tra due tracce successive (ground track), che assicurano la copertura spazio-temporale dell'area di cui si vogliono conoscere le previsioni.

In particolare :

- Jason 1: ha un ciclo di ripetizione di 10 giorni e un ground track di 315 km all'equatore;
- **GFO**: ha un ciclo di ripetizione di 17 giorni e un ground track di 160 km all'equatore;
- **Envisat:** ha un ciclo di ripetizione di 35 giorni e un ground track di 90 km all'equatore.

Nell'operatività tuttavia, vengono utilizzati solo i dati raccolti da Jason 1 e da GFO i quali sono trasmessi il martedì di ogni settimana alle ore 12 a.m. dal sistema SSALTO/DUASC del CLS (Collecte Localisation Satellites) di Tolosa in Francia.

È necessario ricordare che i dati sono trasmessi con un ritardo di uno-due giorni rispetto all'ultimo giorno raccolto (Larnicol et al. 2003) a causa dei dati secondari e dell'algoritmo utilizzato nell'analisi dei dati stessi.

I dati forniti all'assimilazione, prima di essere salvati in file netCDF, vengono corretti dall'errore nella determinazione del'orbita (Orbit Error Reduction, OER) e dall'errore alle onde lunghe (Long Wavelength Error Reduction, LWER) e rapportati al livello medio del

mare.

Il campo di temperatura superficiale del mare (**SST**) è dedotto da misure radiometriche da satellite. Su piccola scala, le misure di SST sono importanti per avere informazioni sul campo di mesoscala, per conoscere la posizione e lo stato delle correnti, e le aree di upwelling.

Le misure di SST vengono raccolte durante i passaggi notturni dell'AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) installato su NOA17 e18, AATSR, MODIS-T (modis terra), MODIS-A (modis aqua) e SEVIRI, al fine di ottenere mappe giornaliere, e analizzati sulla griglia regolare del modello dell'MFS a scala di bacino utilizzando un algoritmo di analisi oggettiva che copre i vuoti dovuti alla copertura nuvolosa.

Ciò viene fatto utilizzando i dati del passato (filter mode) per i dati in Near Real Time (NRT) e i dati del passato e del futuro (smoother mode) per i dati in Delayed Time (DT).

I dati di SST utilizzati per l'assimilazione rappresentano dunque la temperatura della colonna d'acqua in assenza della variabilità diurna della temperatura (raffreddamento giornaliero o raffreddamento notturno).

I dati raccolti sono processati e rilasciati ogni giorno dal CMS (Centre de Meteorologie Spaziale) di Lannion in Francia e dal Gruppo di Oceanografia da Satellite, Institute of Atmospheric Science and Climate del Consiglio Nazionale delle Ricerche (GOS-CNR ISAC), con un ritardo di una decina di ore rispetto ai passaggi della sonda.

I dati del **forzante atmosferico**, infine, sono forniti dall'European Centre Middle Range Weather Forecast (ECMWF) che ha sede a Reading in Inghilterra.

Quotidianamente vengono acquisiti i dati provenienti dalle GTS (Global Telecomunication System) per inizializzare ed elaborazione i dati griglia che, infine, forniranno i dati di output per la previsione.

I dati grezzi in uscita dal modello vengono distribuiti a tutti i servizi meteorologici nazionali europei, tra cui anche all'Aeronautica Militare Italiana.

A sua volta, ogni giorno, il Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica (CNMCA) di Pratica di Mare, attraverso il protocollo ftp, rilascia i dati del forzante atmosferico all'INGV di Bologna.

Ogni giorno (D) il CNMCA distribuisce i files di forzante atmosferico di analisi e di previsione per differenti campi al gruppo nazionale di oceanografia operativa.

I dati forniti sono su una griglia regolare 0.5x0.5 e su un dominio con le seguenti caratteristiche: 30N - 48N - 19W - 42E (Figura 1.6).



Figura 1.6: Dominio del forzante atmosferico

Nello specifico i dati di analisi e di previsione sono:

- copertura nuvolosa (CLC);
- pressione atmosferica sul livello del mare (MSL);
- vento a 10m (componente zonale e meridionale) (U10M e V10M);
- temperatura dell'aria a 2m (T2M);
- dew point a 2 m (TD2M);

1.6.1.2 Il modello numerico

Il modello utilizzato in MFS è OPA (Ocean PArallelise) versione 8.1, sviluppato dall'Istituto Pierre Simon Laplace, Laboratoire d'Oceanographie Dynamic et de Climatologie di Parigi. Il modello, in seguito ad opportune approssimazioni, risolve le equazioni di Navier Stokes utilizzando il forzante atmosferico grazie al quale la superficie libera può evolvere tranquillamente.

Le soluzioni che si ottengono sono approssimazioni numeriche e non soluzioni analitiche. Per correggere gli errori che ne scaturiscono vi è l'utilizzo di una procedura nota come "assimilazione dati", di cui si parlerà in seguito.

Il modello ha una risoluzione orizzontale e verticale a $1/16^{\circ}$ x $1/16^{\circ}$ (circa 6,5 km) e 72 livelli verticali, spaziati in modo non uniforme con uno spessore di 3 m in superficie e di circa 300 m al fondo. La profondità del primo livello è di circa 1.5 m mentre quella dell'ultimo livello è di 5000 m.

Per definizione del codice numerico utilizzato, l'ultimo livello è costituito da tutti punti terra.

Il modello considera una superficie libera implicita la quale aumenta la capacità del modello stesso di simulare la variabilità dell'altezza della superficie del mare e il trasporto netto a Gibilterra; ha inoltre un dominio chiuso e ciò significa che anche la parte dell'oceano atlantico ha dei contorni chiusi senza alcuno scambio con l'oceano aperto. Proprio per questa sua particolare caratteristica la parte atlantica del dominio del modello viene chiamata scatola atlantica.

1.6.1.3 Schema di assimilazione dati

L'inizio del ciclo di previsioni è basato sull'assimilazione dei dati disponibili per un periodo di due settimane precedenti il giorno d'inizio della previsione.

La "assimilazione dati" è la procedura che viene utilizzata per ottenere una stima dello stato iniziale che combini al meglio le osservazioni disponibili con uno stato indipendente (background).

Grazie al metodo dei minimi quadrati, infatti, combina la soluzione numerica con le osservazioni in situ e i dati da satellite, individuando la minima differenza esistente tra la stima numerica del modello e le osservazioni.

Lo schema di assimilazione è basato su SOFA (System for Ocean Forecasting and Analyses) che è uno schema d'interpolazione ottimale nel quale le analisi sono correzioni del modello di base stimato dalle osservazioni.

Lo schema è multivariato in termini di dati d'input e di correzioni fatte sulla soluzione del modello: i dati di input sono SLA e profili di XBT, ma le correzioni al modello previsionale possono essere fatte su temperatura, salinità e stream function.

Ciò significa che i campi sono confrontati oggettivamente e soggettivamente con le osservazioni, cercando di capire se e quanto il modello è in grado di riprodurre la realtà e quanto è importante la distribuzione dei dati e la qualità per le previsioni.

Mentre i dati di SLA, XBT e ARGO sono assimilati utilizzando una matrice di correlazione dell'errore del modello (cioè ogni elemento della matrice è la correlazione tra gli errori di temperatura, salinità, elevazione della superficie libera e funzione di flusso barotropica [Dobrocic el al. 2005]), i dati di SST sono assimilati tramite un termine di rilassamento che corregge il flusso di calore alla superficie (Pinardi et al. 2003).

1.7 Obiettivi della tesi

Lo scopo di questa tesi è di valutare qual è l'impatto della qualità del forzante atmosferico sulle previsioni oceaniche a breve termine.

Nello specifico si valuterà come l'utilizzo del forzante atmosferico di analisi e previsione influisce sulla qualità della soluzione del modello numerico.

In questo lavoro vengono confrontate le simulazioni di 24hr fatte ogni giorno, tranne il lunedì, dal sistema di previsione MFS con le previsioni.

Per fare ciò si è studiato un intero anno di previsioni, sia considerando il Mediterraneo nel suo insieme, che in due aree specifiche, il Golfo del Leone e il Bacino Levantino.

Capitolo 2

Confronto tra analisi e previsioni atmosferiche

2.1 Dati di modellistica

2.1.1 Analisi

In generale, con il termine **analisi** s'intende quello schema attraverso il quale si attribuiscono pesi diversi alle osservazioni che sono state eseguite in località sparse nel globo.

Un'analisi oceanica è il prodotto di schemi di assimilazione che combinano in modo ottimale le osservazioni e una stima dello stato oceanico prodotta da un modello di circolazione generale.

Poiché il modello fa i suoi calcoli su una griglia di punti e su livelli verticali definiti, l'analisi tenta di stabilire quanto le singole osservazioni debbano influenzare il valore della variabile sulla griglia, sia nella direzione orizzontale, sia in quella verticale.

Di solito lo schema di analisi tiene conto in primo luogo della distanza, secondo la regola intuitiva che le osservazioni più vicine al punto sono più influenti di quelle più lontane, ma considera anche la statistica degli errori, vale a dire che dà maggior peso alle osservazioni che risultano più significative rispetto a quelle che possono essere affette da errori sistematici (N. Pinardi, C. Fratianni, M. Adani, 2008).

Un possibile modo per correggere gli errori delle soluzioni numeriche è l'applicazione di una procedura conosciuta come "**assimilazione dati**", che combina l'approssimazione numerica e le osservazioni usando il metodo dei minimi quadrati, cioè cercando il minimo tra la stima numerica dell'oceano e le osservazioni. Questa procedura tiene in considerazione sia gli errori del modello sia quelli di misura delle osservazioni.

L'assimilazione è quel processo che permette di trovare la rappresentazione del modello che risulta più consistente con le osservazioni.

In genere l'assimilazione dei dati procede in modo sequenziale nel tempo. Il modello organizza e diffonde le informazioni a partire dalle osservazioni precedenti.

Le informazioni contenute nelle nuove osservazioni vengono utilizzate per modificare lo stato del modello, in modo che risulti il più consistente possibile sia con le informazioni nuove, ma anche con quelle precedenti.

Le osservazioni, prese a una risoluzione spaziale e temporale finita, possono dare informazioni riguardo la verità, e il modello ha bisogno di parametrizzazioni appropriate su fenomeni a scala di sottogriglia.

2.1.2 Previsioni

Le **previsioni** derivano dalla necessità di conoscere lo stato dell'atmosfera. Per fare questo, anche in questo caso, è necessario risolvere le equazioni che governano l'evoluzione delle variabili termiche e dinamiche del fluido atmosferico (temperatura, pressione, umidità, intensità e direzione del vento): risulta indispensabile conoscere i valori di tali variabili all'istante iniziale.

Il primo passo, dunque, è la raccolta delle osservazioni. A livello operativo, l'inserimento delle nuove osservazioni avviene a partire da una simulazione del modello stesso a brevissima scadenza, ad esempio una previsione a + 6 o a + 12 ore.

La previsione a breve termine fa da guida per l'inserimento delle nuove osservazioni, che dunque si manifesta tramite delle correzioni sulle variabili del background. La descrizione dello stato iniziale dell'atmosfera quindi, è il risultato di un compromesso tra uno stato previsto e l'aggiustamento imposto dai nuovi valori misurati. Questo modo di operare presenta vantaggi notevoli rispetto alla costruzione di uno stato iniziale ex-novo, dato che una previsione a breve termine contiene una mole enorme di informazioni, frutto delle osservazioni inserite in precedenza e modificate dall'evoluzione nel modello, di cui sarebbe impossibile fare a meno.

2.2 Metodi di controllo di qualità

Ci sono varie ragioni per verificare le previsioni, ma nel calcolare alcuni indici o nel rappresentare alcune procedure di verifica, sono nate, a riguardo, 2 questioni: dai risultati si capisce che le previsioni sono buone (c'è una netta corrispondenza tra le previsioni e le osservazioni)? I risultati forniscono un'indicazione accurata di quanto buone (o cattive) saranno le previsioni future (l'indice è alto o basso)?

Se l'indice è buono, allora si potrebbe concludere che le previsioni sono buone, ma non si può dire la stessa cosa se l'indice è cattivo.

Tuttavia, non si può giungere a nessuna di queste conclusioni se si sospetta che l'indice non rappresenta un'indicazione accurata della qualità delle previsioni. Nello specifico, anche se si è ottenuto un indice eccellente, sarebbe interessante ottenere altre garanzie sul fatto che le previsioni precedentemente ottenute continueranno a dare, in futuro, informazioni buone.

Per molti indici, il valore numerico è essenzialmente un numero astratto, così, molto spesso, non si ha alcuna idea di cosa indica quel valore. Nel momento in cui si prova a interpretare un indice, nascono altre questioni: l'indice indica che le previsioni, nella realtà, sono buone? Che cosa rappresenta l'indice stesso?

Una difficoltà nell'interpretare il valore di un indice è che un indice basso risulta più convincente se è stato calcolato usando un numero di previsioni elevato piuttosto che usandone uno con un numero ridotto. Infatti, un numero di previsioni elevato indica, in modo migliore, se le previsioni, nella realtà, sono buone.

Il problema della sensitività dell'indice, a causa della misura del campione di previsioni, è esclusivamente relativo all'incertezza nell'indice (se è disponibile un campione più grande, l'indice delle previsioni, potrebbe essere simile?).

L'assunzione più comune è che ciascuna coppia di previsioni-osservazioni può essere indipendente da qualsiasi altra coppia. Quest'assunzione, tuttavia, è spesso violata, se l'indice viene calcolato usando previsioni per luoghi diversi e quando c'è una correlazione spaziale tra i luoghi o, se sia le previsioni che le osservazioni sono dipendenti dal tempo.

Un'alternativa all'uso della distribuzione teorica è di utilizzare procedure di ricampionamento per generare una distribuzione empirica per i valori dell'indice.

Nel chiedere se la verifica delle analisi fornisce un'indicazione accurata della qualità delle previsioni future, ci sono 2 possibili ragioni perché i risultati potrebbero essere fuorvianti: è disponibile solo un campione limitato di coppie di previsioni-osservazioni e le previsioni potrebbero non essere particolarmente buone (o cattive) in questo periodo, oppure l'esperimento potrebbe essere stato completamente distorto.

Poiché è disponibile solo un numero limitato di coppie di previsioni-osservazioni, nasce un'altra questione: si potrebbero ottenere risultati simili se fosse disponibile, dallo stesso sistema di previsione, un altro set di coppie previsioni-osservazioni?

Comunque, anche se sono disponibili parecchie coppie previsioni-osservazioni potrebbero esserci informazioni interessanti nell'incertezza del campionamento in quanto ci si potrebbe aspettare che vari in modo naturale e avremo informazioni dell'entità della qualità della previsione.

Conoscendo l'incertezza del campionamento nelle verifiche statistiche non abbiamo solo un'indicazione riguardo al fatto che i risultati ottenuti potrebbero essere fuorvianti, o sbagliati, ma possono aiutarci a risolvere la questione del se le previsioni sono buone: possiamo essere sicuri che le previsioni sono buone se loro "indicano bene" e se l'incertezza nell'indice è piccola.

In genere potrebbero essere usate tutte le coppie di previsioni-osservazioni per ottenere, per quanto possa essere accurata, una stima dell'indice, e prendendo, in seguito, alcuni sottoinsiemi per ricalcolare l'indice si sovrastimerà l'incertezza del campionamento.

Un indice efficiente è quello che aumenta in modo monotono quando la differenza tra previsioni e osservazioni diminuisce.

Idealmente, un sistema previsionale può essere valutato considerando quelle previsioni rilasciate in tempo reale "real time", ma ciò risulterebbe impossibile se le previsioni sono eseguite raramente.

Invece, sono state ideate diverse procedure per generare una serie di simulazioni riferite al passato (hindcast) fuori campionamento; tutte queste procedure comprendono l'utilizzo di una serie di dati storici di osservazione per inizializzare il modello previsionale e per generare una serie di hindcasts per il periodo in cui i dati sono stati nascosti (withheld).

Per le previsioni probabilistiche esistono varie strategie di previsione che possono essere altrettanto semplici, ma per gli indici probabilistici non è possibile essere giusti e corretti. Queste strategie per gli indici probabilistici sono considerati tanto semplici poiché hanno tutte risoluzione zero, ma non hanno un'uguale attendibilità, e poiché l'attendibilità è un attributo importante delle previsioni probabilistiche, risulta opportuno che queste diverse strategie ottenessero diversi indici (S. J. Mason, 2008).

2.3 Metodi statistici e dati utilizzati

In questo capitolo verranno esaminati i risultati di RMSE ottenuti dal confronto tra i dati di analisi e di previsione del forzante atmosferico ECMWF (Formula 2.2).

Per studiare l'affidabilità delle previsioni i metodi statistici utilizzati in questo lavoro sono principalmente:

 ERRORE QUADRATICO MEDIO (RMSE): metodo statistico valido per stimare le differenze tra le previsioni e le analisi. Questo indice è sempre 0; sarà =0 quando ci troviamo davanti ad una previsione perfetta. In generale, dal punto di vista matematico è uguale a:



dove:

- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) per le previsioni del giorno t alla profondità selezionata;
- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) per le analisi dello stesso giorno t e per la stessa profondità;
- il numero totale di punti mare alla profondità selezionata.

Nello specifico, se consideriamo l'ESP1, la formula del RMSE diventa:



dove :

- è la media giornaliera, del campo che si vuole studiare (T, S, ecc), per le previsioni che vanno dal primo giorno al sesto giorno alla profondità selezionata;
- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc), per le analisi dello stesso giorno t e per la stessa profondità;

- 🔲 è il numero totale di punti mare alla profondità selezionata.

Mantenendo l'unità di misura della variabile di studio, il RMSE, ci permette di capire meglio l'intensità dell'errore che si va a commettere.

I dati utilizzati per questi esperimenti sono relativi al periodo che va dal 15 maggio 2007 al 15 maggio 2008.

In particolare prenderemo in esame:

- le analisi di 24hr fatte ogni giorno, tranne il lunedì;
- i 6 giorni di previsioni, da martedì a domenica, prodotte ogni settimana;

Tutti gli esperimenti sono stati condotti sia nell'intera area del Mediterraneo, che nelle aree del Golfo del Leone (Figura 2.3) e del Bacino Levantino (Figura 2.4).



Figura 2.3: Il Golfo del Leone



Figura 2.4: Il Bacino Levantino

In particolare abbiamo studiato l'andamento di tutte le variabili del forzante atmosferico ECMWF considerando sia la media su tutti i 12 mesi (dal 15 maggio 2007 al 15 maggio 2008), che nelle 4 stagioni (dal 1 giugno 2007 al 15 maggio 2008).

Le stagioni sono state definite in questo modo:

- **estate**: giugno, luglio, agosto 2007;
- **autunno**: settembre, ottobre, novembre 2007;
- **inverno**: dicembre 2007, gennaio e febbraio 2008;
- **primavera**: marzo, aprile, maggio 2008.

2.4 Errore Quadratico Medio (RMSE) dei dati del forzante atmosferico

2.4.1 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Mediterraneo

Abbiamo studiato e confrontato l'andamento del RMSE per ciascuna variabile del forzante atmosferico ECMWF, sia durante l'intero anno di studio che nelle 4 stagioni.

Il RMSE di ciascuna variabile (Formula 2.2) è stato è stato normalizzato, cioè è stato diviso per la deviazione standard del RMSE della variabile stessa al fine di poter confrontare l'andamento delle differenti variabili.

La Figura 2.5 mostra l'andamento di tutte le variabili del forzante atmosferico ECMWF utilizzate per forzare il modello oceanico, nei 6 giorni della settimana considerati in questo studio. Il valore mostrato è la media del RMSE su tutti i 12 mesi considerati.



Figura 2.5: Andamento del RMSE tra analisi e previsioni delle variabili ECMWF

Ciò che è emerso è che il RMSE aumenta nel corso della settimana per tutte le variabili in modo simile non mettendo in luce alcun comportamento particolare di una data variabile. Il fatto poi che una variabile ha un errore più elevato rispetto ad un altro è dovuto alla variabilità intrinseca della variabile stessa.

Poiché gli andamenti delle variabili del forzante atmosferico sono molto simili nel tempo, si è focalizzata l'attenzione sull'andamento del campo di pressione del livello medio del mare (Figura 2.6), in quanto questa variabile, nel periodo primaverile, ha evidenziato un maggiore aumento dell'errore nel tempo.



Figura2.6: Andamento del RMSE per il campo di pressione del livello medio del mare (MSL)

Lo studio delle altre variabili nelle quattro stagioni, confermano l'andamento generale dell'intero anno, non evidenziando, infatti, la prevalenza di un particolare errore (Figure 2.7-2.11).



Figura 2.7: Andamento del RMSE per il campo della copertura nuvolosa (CLC)



Figura 2.8: Andamento del RMSE per il campo di temperatura a 2m (T2M)



Figura2.9: Andamento del RMSE per il campo di temperatura del punto di rugiada a 2m (TD2M)



Figura 2.10: Andamento del RMSE per il campo della velocità del vento zonale a 10m (U10M)



Figura2.11: Andamento del RMSE per il campo della velocità del vento meridionale a 10m (V10M)

2.4.2 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Golfo del Leone

Il Golfo del Leone, è una sottoarea del Mediterraneo molto caratteristica dal punto di vista oceanografico.

Tuttavia, l'andamento del forzante atmosferico ECMWF, in quest'area (Figura 2.12), risulta, infatti, quasi del tutto simile a quello riscontrato nel Mar Mediterraneo (Figura 2.5).



Figura2.12: Andamento del RMSE tra analisi e previsioni delle variabili ECMWF nel Golfo del Leone

Lo studio dell'andamento di ogni singola variabile nell'arco delle varie stagioni, a differenza da quanto osservato nello studio dello stesso esperimento eseguito nel Mediterraneo, ha messo in luce particolari picchi durante la settimana principalmente nella stagione autunnale e soprattutto per il campo di pressione del livello del mare (Figura 2.13) e per le due componenti, zonale e meridionale, del vento a 10m (Figura 2.14-2.15).



Figura2.13: Andamento del RMSE per il campo della pressione del livello medio del mare (MSL) nel Golfo del Leone



Figura2.14: Andamento del RMSE per il campo della velocità del vento zonale a 10m (U10M) nel Golfo del Leone



Figura2.15: Andamento del RMSE per il campo della velocità del vento meridionale a 10m (V10M) nel Golfo del Leone

Ciò può essere dovuto al fatto che, a causa di qualche fenomeno atmosferico tipico dell'area nel periodo autunnale si verifica una degradazione della precisione che si traduce in una aumento dei valori di RMSE già nei primi giorni della settimana proprio nelle variabili del campo del vento.

2.4.3 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Bacino Levantino

In generale possiamo affermare che quest'area presenta un andamento molto simile a quello osservato per l'intero Mediterraneo.

Anche in questo caso, notiamo un graduale aumento dei valori di RMSE nel tempo: in particolare i valori più alti di RMSE li osserviamo nel campo della temperatura a 2m, mentre i più bassi nella pressione del livello medio del mare (Figura 2.16); valori molto simili, anche in questo caso li osserviamo nei campi di copertura nuvolosa e della temperatura del punto di rugiada a 2 m e nel campo delle due componenti del vento a 10m.



Figura2.16: Andamento del RMSE tra analisi e previsioni delle variabili ECMWF nel Bacino Levantino

Analizzando invece l'andamento di ogni singola variabile e vedendo come questa varia nell'arco delle quattro stagioni, a differenza di quanto osservato nel Golfo del Leone, è emerso un aumento lineare del RMSE soprattutto in primavera e in estate.

La presenza poi di alcuni picchi, soprattutto a fine settima, presenti nell'andamento di alcune variabili come copertura nuvolosa (Figura 2.17) e temperatura del punto di rugiada a 2m (Figura 2.18) sono dovuti ad una degradazione della previsione a partire dal quarto giorno di previsione.


Figura2.17: Andamento del RMSE per il campo della copertura nuvolosa (CLC) nel Bacino Levantino



Figura2.18: Andamento del RMSE per il campo di temperatura del punto di rugiada a 2m (TD2M) nel Bacino Levantino

2.4.4 Descrizione dei risultati ottenuti dal confronto delle tre aree analizzate

Infine per avvalorare maggiormente quanto emerso dallo studio di ogni singola area, abbiamo messo a confronto l'andamento di ciascuna variabile e abbiamo esaminato come si comporta nel Mediterraneo, nel Golfo del Leone e nel Bacino Levantino.

Il confronto tra queste tre differenze geografiche, mostra che la degradazione della previsione nel tempo, è maggiore quando si considera l'intero bacino.

Questo si verifica più o meno allo stesso modo in tutte le aree e per tutte le variabili (Figure 2.19-2.24) anche se il Bacino Levantino, presenta un errore maggiore e quindi una maggiore degradazione della previsione rispetto al Golfo del Leone.



Figura 2.19: Confronto dell'andamento del RMSE per il campo di copertura nuvolosa (CLC) nel Mar Mediterraneo, nel Golfo del Leone e Bacino Levantino



Figura 2.20: Confronto dell'andamento del RMSE per il campo di pressione del livello medio del mare (MSL) nel Mar Mediterraneo, nel Golfo del Leone e Bacino Levantino



Figura2.21: Confronto dell'andamento del RMSE per il campo di temperatura a 2m (T2M) nel Mar Mediterraneo, nel Golfo del Leone e Bacino Levantino



Figura 2.22: Confronto dell'andamento del RMSE per il campo di temperatura del punto di rugiada a 2m (TD2M) nel Mar Mediterraneo, nel Golfo del Leone e Bacino Levantino



Figura2.23: Confronto dell'andamento del RMSE per il campo di velocità del vento zonale a 10m (U10M) nel Mar Mediterraneo, nel Golfo del Leone e Bacino Levantino



Figura2.24: Confronto dell'andamento del RMSE per il campo di velocità del vento meridionale a 10m (V10M) nel Mar Mediterraneo, nel Golfo del Leone e Bacino Levantino

Capitolo 3

Confronto tra simulazioni e previsioni oceaniche

3.1 Introduzione

Dopo aver stimato, nel capitolo precedente, le diversità tra forzante atmosferico di analisi e di previsione, esaminiamo ora l'impatto sulla soluzione del modello oceanico.

A valutare la diversa soluzione del modello oceanico nel caso in cui all'interfaccia sia forzato da analisi atmosferiche (simulazioni) e nel caso in cui sia forzato da previsioni atmosferiche (previsioni) abbiamo scelto di confrontare i campi di temperatura e salinità a differenti profondità.

Si è cercato dunque, di valutare la qualità delle previsioni da 1 a 6 giorni rispetto alle corrispettive simulazioni (**ESP1**) e di valutare quale è l'impatto che il diverso forzante atmosferico, utilizzato in ciascun dato oceanico, ha sulla previsione fatta per la settimana considerata (Figura 3.1)

In particolare ciascun dato di simulazione viene confrontato con il dato di previsione, ottenuto dal modello, che contiene le informazioni di 6 giorni di previsioni e cioè da martedì a domenica della settimana considerata



Figura 3.1: Schema dei dati utilizzati nel primo esperimento (ESP1)

Lo scopo di questo confronto è di evidenziare l'importanza di produrre, ogni giorno, una nuova previsione del modello, in funzione dei dati di previsione atmosferica disponibili.

Tale confronto è stato fatto sia considerando tutta l'area del bacino del Mediterraneo che per aree delimitate come il Golfo del Leone e il Bacino Levantino.

Abbiamo studiato l'andamento del campo di temperatura e salinità per le profondità elencate precedentemente, considerando sia, la media su tutti i 12 mesi (dal 15 maggio 2007 al 15 maggio 2008), che nelle 4 stagioni

3.1.1 Simulazioni

Le **simulazioni** consentono di rappresentare un sistema reale partendo da un modello matematico. In questo modo è possibile verificare quali sono gli effetti per predire i cambiamenti dello stato dell'oceano, per individuare i cambiamenti avvenuti in passato per standardizzare le procedure nella collezione dei dati e per scambiare dati tra zone lontane degli oceani e dei mari.

L'inconveniente è che le simulazioni così ottenute potrebbero essere meno accurate rispetto agli altri dati rilasciati non in tempo reale (delayed mode) a causa delle limitazioni del tempo per la diffusione dei dati.

Il modello e le simulazioni sono fuse nella loro miglior stima dello stato del sistema dalle tecniche di assimilazione dati.

3.1.2 Previsioni

La previsione oceanica a breve termine è guidata dai campi di previsione atmosferica in superficie. Qualsiasi errore nell'input dei dati atmosferici influenzerà la qualità della previsione dell'oceano: un tale errore è grande in confronto ad altri errori, a causa della specificazione delle condizioni iniziali, che si potrebbero considerare nello specifico nelle procedure di assimilazione.

3.2 Metodi statistici e dati utilizzati

In questo capitolo verranno esaminati i risultati di RMSE ottenuti dal confronto tra i dati di simulazione e di previsione (ESP1 - Formula 3.3), del modello oceanico.

Per studiare l'affidabilità delle previsioni i metodi statistici utilizzati in questo lavoro sono principalmente:

ERRORE QUADRATICO MEDIO (RMSE): metodo statistico valido per stimare le differenze tra le previsioni e le simulazioni. Questo indice è sempre ■0; sarà =0 quando ci troviamo davanti ad una previsione perfetta. In generale, dal puno di vista matematico è uguale a:



dove:

- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) per le previsioni del giorno t alla profondità selezionata;
- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) per le simulazioni dello stesso giorno t e per la stessa profondità;
- è il numero totale di punti mare alla profondità selezionata.

Nello specifico, se consideriamo l'ESP1, la formula del RMSE diventa:



(3.3)

dove :

- è la media giornaliera, del campo che si vuole studiare (T, S, ecc), per le previsioni che vanno dal primo giorno al sesto giorno alla profondità selezionata;
- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc), per le simulazioni dello stesso giorno t e per la stessa profondità;
- è il numero totale di punti mare alla profondità selezionata.

Mantenendo l'unità di misura della variabile di studio, il RMSE, ci permette di capire meglio l'intensità dell'errore che si va a commettere.

COEFFICIENTE DI ANOMALIA DI CORRELAZIONE (ACC): indica la similarità spaziale tra le previsioni e le simulazioni. Oscilla tra -1 e 1: se la previsione è perfetta l'indice sarà proprio =1.

In particolare rappresenta la correlazione tra la previsione e le deviazioni analizzate rispetto a una climatologia. Bisogna quindi definire il campo medio rispetto al quale calcolare l'ACC. Matematicamente è uguale a:



dove:

- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) per le previsioni del giorno t alla profondità selezionata;
- è la media sugli N giorni di previsioni del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) alla profondità selezionata;
- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) per le simulazioni dello stesso giorno t e per la stessa profondità;
- è la media sugli N giorni di simulazioni del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) alla profondità selezionata.

Nel nostro caso abbiamo deciso di utilizzare come campo medio la media delle simulazioni corrispondenti ai 6 giorni di previsioni considerati, per cui la formula dell'ACC diventa:



dove:

è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) per le previsioni che vanno dal primo al sesto giorno alla profondità selezionata;
è la media su i 6 giorni di previsioni del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) alla profondità selezionata;

- è la media giornaliera del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) per le simulazioni dello stesso giorno t e per la stessa profondità;
- è la media su i 6 giorni di simulazioni del campo che si vuole studiare (T, S, ecc) alla profondità selezionata.

L'ACC è più sensibile alle similitudini nelle strutture dei campi di simulazione e previsione piuttosto che non ai loro valori assoluti. Di solito mostra una variabilità stagionale e annuale più bassa rispetto al RMSE.

Per esempio, in atmosfera, l'ACC, rispetto al RMSE, ha la tendenza ad avere valori più alti e quindi migliori, quando si è in presenza di situazioni di flusso in direzione meridionale e valori più bassi e quindi peggiori nei periodi di predominanza di flussi zonali. In atmosfera si considera che valori di ACC pari a 0.6 corrispondono al limite al quale una previsione non mostra alcuno skill sinottico rilevante. Matematicamente può essere dimostrato che un valore pari a 0.5 corrisponde a previsioni per le quali I valori di RMSE tra previsione e analisi sono uguali a quelli tra previsione e persistenza.

I dati utilizzati per questi esperimenti sono relativi al periodo che va dal 15 maggio 2007 al 15 maggio 2008.

In particolare prenderemo in esame:

- le simulazioni di 24hr fatte ogni giorno, tranne il lunedì, dal sistema di previsione MFS;
- i 6 giorni di previsioni, da martedì a domenica, prodotte ogni settimana;

Prima di svolgere ogni esperimento oggetto di questo lavoro, i dati sono stati preventivamente trattati:

- sono stati tagliati solo 6 livelli dei 72 totali. Nello specifico sono state selezionate le profondità di 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m poiché, al di sotto di quest'ultima profondità non ha senso studiare la variabilità dei parametri, quali temperatura e salinità, nel breve termine;
- è stata tagliata la box atlantica e mascherato il Golfo di Biscaglia. Questo al fine di valutare solo il Mediterraneo.

In particolare abbiamo studiato l'andamento del campo di temperatura e salinità per le profondità elencate precedentemente, considerando sia la media su tutti i 12 mesi (dal 15 maggio 2007 al 15 maggio 2008), che nelle 4 stagioni (dal 1 giugno 2007 al 15 maggio 2008).

Le stagioni sono state definite in questo modo

- **estate**: giugno, luglio, agosto 2007;
- **autunno**: settembre, ottobre, novembre 2007;
- **inverno**: dicembre 2007, gennaio e febbraio 2008;
- **primavera**: marzo, aprile, maggio 2008.

Tutti gli esperimenti sono stati condotti sia nell'intera area del Mediterraneo, che nelle aree del Golfo del Leone (Figura 2.3) e del Bacino Levantino (Figura 2.4).

3.3 Errore Quadratico Medio (RMSE) dei dati del modello oceanico

3.3.1 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Mediterraneo

In questo paragrafo andremo ad esaminare l'andamento del RMSE ottenuto analizzano i dati ottenuti dal modello oceanico. Nello specifico studieremo l'andamento del campo di temperatura e salinità per le profondità di 1m, 5m, 15m, 30m, 50m e 100m. Inizialmente abbiamo studiato l'andamento del campo di temperatura e salinità nell'arco dell'intero anno a tutte le profondità considerate e successivamente siamo andati a vedere come varia l'errore durante le stagioni ad ogni singola profondità.

Nella prima parte del lavoro sviluppato in questa sezione, in riferimento all'andamento del campo di temperatura e di salinità (Figura 3.6a-b), è emersa una tendenza generale secondo cui i valori di RMSE aumentano linearmente con il passare dei giorni.



Figura 3.6a: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Mar Mediterraneo



Figura 3.6b: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Mar Mediterraneo

Nello specifico, soprattutto per il campo di temperatura (Figura 3.6a), i valori più alti di RMSE si osservano principalmente in superficie e, già tra i primi due livelli, si nota una riduzione dell'errore di quasi il 50%. Scendendo più in profondità l'errore commesso è molto inferiore e le differenze tra le varie profondità sono molto meno evidenti. Quanto detto potrebbe essere giustificato dal fatto che in superficie si risente molto dell'influenza del forzante atmosferico e dell'interazione aria-mare.

Per quanto riguarda il campo di salinità (Figura 3.6b), invece, anche se l'errore ha lo stesso trend riscontrato nel campo di temperatura, i valori sono notevolmente più piccoli.

La salinità, infatti, ha una variabilità minore e ha un tempo di risposta molto più lento rispetto alla temperatura.

Successivamente abbiamo studiato, per il campo di temperatura e salinità, l'andamento del'RMSE durante le quattro stagioni.

Qui di seguito riportiamo i grafici relativi solo alle profondità di 1m, 30m e 100m (Figura 3.7-3.9) perché ritenuti quelli più significativi.

In generale, ciò che è emerso è che i valori più alti sono stati registrati negli strati superficiali in estate, mentre, in autunno-inverno negli strati più profondi.

L'andamento del RMSE in superficie (Figura 3.7) mette chiaramente in luce, come già ci si aspetterebbe che la stagione in cui si hanno i valori più alti è sicuramente l'estate.

Scendendo più in profondità, l'errore diminuisce fino a quasi dimezzarsi in tutte le stagioni già a 30m (Figura 3.8).



Figura 3.7: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m nel Mar Mediterraneo



Figura 3.8: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 30m nel Mar Mediterraneo



Figura 3.9: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 100m nel Mar Mediterraneo

Per quanto riguarda la salinità si nota che, anche in questo caso, in superficie (Figura 3,10), la stagione in cui si hanno i valori più alti di RMSE è in estate, mentre in inverno i valori sono i più bassi registrati, evidenziando il fatto che l'errore tende a diminuire dalle stagioni più calde a quelle più fredde.



Figura 3.10: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m nel Mar Mediterraneo

Alla profondità di 30m (Figura 3.11), vediamo che la stagione in cui l'errore sembra essere maggiore è l'autunno , quando cioè nell'oceano si passa da una situazione di forte stratificazione della colonna d'acqua ad una situazione meno stratificata.

Durante le altre stagioni, infatti, le differenze tra i diversi valori di RMSE sono davvero piccole.



Figura 3.11: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 30m nel Mar Mediterraneo

Infine, a 100m (Figura 3.12) la stagione in cui l'errore è maggiore è l'inverno e, proprio in questa stagione, intorno al quarto giorno di previsione l'errore cresce più rapidamente.



Figura 3.12: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 100m nel Mar Mediterraneo

3.3.2 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Golfo del Leone

Nel Golfo del Leone, l'ESP1 (Figura 3.13a-b) mette in luce, in riferimento al campo di temperatura, una forte degradazione della previsione a partire dal quarto giorno di previsione, mentre per il campo di salinità tale limite si evidenzia intorno al terzo giorno, dopo il quale, i valori crescono fino a 0,2 PSU e 0,3 PSU rispettivamente, per poi rimanere costanti intorno a questi valori.

Inoltre, mentre per il campo di temperatura si riesce a capire e vedere bene come diminuisce l'errore con la profondità, nel campo di salinità questo non è possibile, in quanto il valore di RMSE varierà poco con la profondità.



Figura 3.13a: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Golfo del Leone



Figura 3.13b: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Golfo del Leone

Anche per questa area, poi, abbiamo studiato, per ciascuna profondità, l'andamento di entrambe le variabili finora considerate, nell'arco delle stagioni.

I valori maggiori di RMSE si hanno in estate e influenzano l'andamento generale annuale. In particolare, osservando il campo di temperatura (Figura 3.14-3.16), si notano i valori più alti di RMSE nella stagione estiva, in tutti e sei i giorni, con valori estremamente più alti, rispetto alle altre stagioni nel 5° e 6° giorno.



Figura 3.14: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m nel Golfo del Leone



Figura 3.15: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 30m nel Golfo del Leone

Alla profondità di 100m (Figura 3.16), anche se la stagione che presenta la maggiore variabilità è sempre l'estate, l'errore commesso è circa la metà rispetto a quello riscontrato in superficie: passa infatti da 0.6 a 0.3 degC, mentre nelle altre stagioni, la velocità con cui diminuisce l'errore è impercettibile.



Figura 3.16: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 100m nel Golfo del Leone

Lo stesso discorso si può fare per il campo di salinità (Figura 3.17-3.19) in estate ha il massimo valore di RMSE e tale errore non cambia con la profondità.



Figura 3.17: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m nel Golfo del Leone



Figura 3.18: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 30m nel Golfo del Leone



Figura 3.19: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 100m nel Golfo del Leone

È talmente tanto il distacco dell'estate con le altre stagioni che queste ultime hanno un RMSE che sembra quasi impercettibile rispetto all'estate.

3.3.3 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Bacino Levantino

Come osservato nel Golfo del Leone, per il campo di temperatura (Figura 3.20a), si ha una forte degradazione della previsione intorno al quarto giorno, mentre per il campo di salinità (Figura 3.20b) è intorno al terzo giorno.

Ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che il Bacino Levantino, molto più del Golfo del Leone è un'area a più alta variabilità e dinamica.



Figura 3.20a: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Bacino Levantino



Figura 3.20b: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Bacino Levantino

Per quanto riguarda l'andamento del campo di temperatura (Figura 3.21-3.23) e di salinità (Figura 3.24-3.26), vediamo che l'errore tende a diminuire, anche se di poco, scendendo a profondità più elevate soprattutto nel campo di temperatura, mentre per quanto riguarda il campo di salinità l'errore commesso già nello strato superficiale sembra rimanere costante lungo i primi 100m della colonna.

Ciò potrebbe essere spiegato dal fatto che, poiché la salinità tende a variare più velocemente della temperatura con la profondità, l'entità dell'errore commesso è già ben evidente nei primi strati e le variazioni con la profondità sono poco evidenti.



Figura 3.21: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m nel Bacino Levantino



Figura 3.22: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 30m nel Bacino Levantino



Figura 3.23: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 100m nel Bacino Levantino



Figura 3.24: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m nel Bacino Levantino



Figura 3.25: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 30m nel Bacino Levantino



Figura 3.26: Andamento del RMSE relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 100m nel Bacino Levantino

Ciò che è emerso alla fine di questo lavoro è che in entrambe le aree la stagione in cui vi è la maggiore variabilità è sicuramente l'estate.

Inoltre, il Bacino Levantino risulta molto più soggetto alla variabilità, anche se, in entrambe le aree, è emersa una forte degradazione della previsione al quarto giorno per il campo di temperatura e al terzo per il campo di salinità. La differenza che contraddistingue ciascuna'area è l'entità dell'errore commesso che è più alto per il Bacino Levantino in quanto, come osservato nel capitolo precedente, la degradazione delle previsioni del forzante atmosferico ECMWF è più alta.

3.4 Anomalia di Correlazione (ACC) dei dati del modello oceanico

3.4.1 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Mediterraneo

In questo paragrafo andremo ad esaminare l'andamento dell'ACC ottenuto analizzano i dati ottenuti dal modello oceanico in tutto il bacino Mediterraneo.

Nello specifico studieremo l'andamento, dei i campi di temperatura e di salinità, per le profondità di 1m, 15m, 50m, 100m, perché ci sembrano quelle più significative.

Inizialmente abbiamo studiato l'andamento del campo di temperatura e salinità nell'arco dell'intero anno a tutte le profondità considerate e successivamente siamo andati a vedere come varia l'errore durante le stagioni ad ogni singola profondità.

Le Figure 3.27 e 3.28 mostrano rispettivamente I valori si ACC alle sei profondità considerate per temperatura e per salinità.

E' evidente in entrambe le figure che l'ACC ha valori più bassi al livello più superficiale (1m) con un andamento che si discosta da quello alle altre profondità. In ogni caso per tutti i sei giorni considerati e non scende mai al di sotto del valore di 0.85. A tutte le profondità si ha una diminuzione evidente dell'ACC dal primo al terzo giorno (tranne che per la salinità alla superficie) e poi un aumento più o meno marcato dal quarto al quinto giorno per poi tornare a diminuire il sesto giorno. Questo risultato necessita di ulteriori studi e approfondimenti per poter essere meglio interpretato.



Figura 3.27: Andamento dell'ACC relativa all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Mar Mediterraneo



Figura 3.28: Andamento dell'ACC relativa all'ESP1 per il campo di salinità a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Mar Mediterraneo

Nelle Figure 3.29 e 3.30 vengono invece mostrati valori di ACC alla superficie per le quattro stagioni sia per il campo di temperatura che per quello di salinità. Come anche è stato messo in luce per l'RMSE, l'estate e' la stagione che ha valori maggiormente diversi rispetto alle altre regioni. Infatti, i valori di ACC sono più bassi e, sempre decrescenti, fatta eccezione del quarto giorno per il campo di temperatura (Figura 3.29) e del terzo per la salinità (Figura 3.30). La primavera, invece, è la stagione che mostra il più rapido decremento tra il secondo e il quarto giorno.



Figura 3.29: Andamento dell'ACC relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m nel Mar Mediterraneo



Figura 3.30: Andamento dell'ACC relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m nel Mar Mediterraneo

3.4.2 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Golfo del Leone

Valutando il campo di temperatura dell'ESP1 (Figura 3.31) notiamo che, i valori di ACC tendono ad aumentare procedendo dalla superficie al fondo.



Figura 3.31: Andamento dell'ACC relativa all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m,100m nel Golfo del Leone

I valori di ACC tendono a diminuire fino al terzo giorno di previsione per poi aumentare nuovamente fino a sabato o domenica.

Osservando l'andamento del campo di salinità (Figura 3.32) possiamo notare che, per questa variabile, è ancora più evidente la diminuzione dei valori, dal primo al terzo giorno, a tutte le profondità.



Figura 3.32: Andamento dell'ACC relativa all'ESP1 per il campo di salinità a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Golfo del Leone

Tuttavia, ciò che emerge è che nel Golfo del Leone, le variabili, hanno un andamento molto simile a quello riscontrato nel Mar Mediterraneo, cosa che tra l'altro è emersa anche nel capitolo e negli esperimenti precedenti.

Per quanto riguarda l'andamento del campo di temperatura durante le quattro stagioni, alla profondità di 1m (Figura 3.33), è emerso che, le stagioni che hanno i valori più alti di ACC sono l'autunno e l'inverno, mentre quelle che hanno i valori più bassi, risultando di conseguenza quelle con una qualità peggiore, sono la primavera e l'estate.

Ne risulta, durante l'intero arco dell'anno, un andamento che denota, una diminuzione dei valori di ACC intorno al terzo giorno di previsione, e un aumento intorno al quinto giorno.

Più precisamente vediamo che in primavera e in estate vi è una graduale diminuzione della qualità delle previsioni tra martedì e venerdì, mentre in autunno e in estate, questa diminuzione si verifica tra martedì e giovedì.



Figura 3.33: Andamento dell'ACC relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m nel Golfo del Leone

Per quanto riguarda, invece, il campo di salinità, vediamo nell'ESP1 alla profondità di 1m (Figura 3.34), che l'andamento delle curve è simile in tutte le stagioni, evidenziando una lieve diminuzione dei valori di ACC, tra il primo e il terzo giorno di previsione, più evidente in autunno e in estate.

In primavera, invece, tale diminuzione si nota intorno a mercoledì.



Figura 3.34: Andamento dell'ACC relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m nel Golfo del Leone

L'inverno e l'autunno, inoltre, risultano le stagioni in cui i valori di ACC sembrano essere più alti, essendo, come nella maggior parte dei casi esaminati finora, quelle con una maggiore qualità di dati.

L'ESP1, tuttavia, ci conferma una diminuzione dei valori di ACC tra il primo e il terzo giorno (in autunno e in inverno) e tra il primo e il quarto giorno di previsione (in primavera e in estate) e una tendenza dei dati a stabilizzarsi per i restanti giorni della settimana.

Quanto detto vale per tutte le stagioni e, in parte anche per tutto l'anno, tranne per l'estate, che, sebbene durante i primi giorni della settimana segue lo stesso trend riscontrato nelle altre stagioni, durante il resto della settimana presenta una notevole variabilità senza alcuna tendenza a stabilizzarsi intorno a qualche valore preciso.
3.4.3 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Bacino Levantino

Prendendo in esame il campo di temperatura dell'ESP1 (Figura 3.35) notiamo che, in quest'area, i valori di ACC risultano più alti negli strati profondi e più bassi in quelli superficiali.

In particolare le profondità di 30m, 50m e 100m risultano quelle che subiscono minori variazioni nel tempo.

Solo alla profondità di 30m, più che alle altre profondità, è evidente la diminuzione nei valori di ACC che si verifica, nella maggior parte dei casi, tra martedì e giovedì.

Un andamento simile a quello appena descritto lo osserviamo anche a 15m; l'unica differenza è che tra sabato e domenica assistiamo ad una nuova diminuzione dei valori di ACC.

Le profondità di 1m e 5m, infine, sono quelle in cui è evidente una maggiore variabilità nei dati.



Figura 3.35: Andamento dell'ACC relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Bacino Levantino

L'andamento del campo di salinità (Figura 3.36) alle varie profondità risulta, invece, più simile tra le varie profondità: in tutti i livelli, infatti, si può rilevare la diminuzione dei

valori di ACC tra martedì e giovedì, maggiore nei primi tre livelli, di minore entità in profondità.

Anche in questo caso assistiamo a una ripresa della qualità della previsione a metà settimana, soprattutto a 15m e a 30m.



Figura 3.36: Andamento dell'ACC relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m, 5m, 15m, 30m, 50m, 100m nel Bacino Levantino

Abbiamo, poi valutato, per ciascuna profondità, come varia l'andamento dell'ACC nell'arco dell'intero anno e lo abbiamo comparato con quello di ciascuna stagione.

Esaminando gli andamenti del campo di temperatura alla profondità di 1m (Figura 3.37) notiamo anche in questa ultima area, che le stagioni, con gli andamenti più lineari nel tempo e con i valori di ACC più alti, sono l'autunno e l'inverno, mentre quelle che presentano una maggiore variabilità sono la primavera e l'estate, anche se in entrambe, come si può vedere in modo più chiaro nell'ESP1, si ha una diminuzione nei valori di ACC tra mercoledì e venerdì.



Figura 3.37: Andamento dell'ACC relativo all'ESP1 per il campo di temperatura a 1m nel Bacino Levantino

Anche per quanto riguarda il campo di salinità (Figura 3.38), le stagioni con i valori più alti di ACC sono l'inverno e l'autunno, mentre quelle qualitativamente peggiori e soggette a maggiore variabilità nel tempo risultano l'estate e la primavera.

Inoltre vediamo che, nell'ESP1, la qualità delle previsioni diminuisce gradualmente dalla stagione più fredda a quella più calda specie tra il primo e il terzo o quarto giorno di previsione.



Figura 3.8a: Andamento dell'ACC relativo all'ESP1 per il campo di salinità a 1m nel Bacino Levantino

Ciò che risulta da questo lavoro è che, per tutte le aree esaminate, vi è una tendenza generale secondo cui, i valori più bassi di ACC si riscontrano negli strati superficiali e che questo si verifica soprattutto nelle stagioni più calde come estate e primavera. In particolare è emerso che per quanto riguarda il campo di temperatura, i valori di ACC tendono a diminuire fino al quarto giorno, mentre per il campo di salinità diminuiscono fino al terzo giorno.

In conclusione, questo lavoro conferma quanto emerso dallo studio del RMSE, in quanto all'aumentare dell'errore, tende a diminuire la correlazione tra i dati.

Capitolo 4

Casi di studio della risposta oceanica al diverso forzante atmosferico

4.1 Introduzione

Sulla base dei risultati ottenuti nel Capitolo 3, si è deciso di analizzare nel dettaglio l'impatto che il differente forzante atmosferico (di analisi o di previsione) ha sui campi di temperatura, salinità e corrente del modello oceanico.

Il lavoro è stato fatto per i due sottobacini analizzati nei precedenti capitoli, il Golfo del Leone e il Bacino Levantino.

Nello specifico il lavoro è stato articolato in più punti. Per ciascun'area, infatti, abbiamo individuato, in tutto il periodo considerato, la settimana in cui sono stati registrati i valori più alti di RMSE tra previsioni e simulazione, sia per il campo di temperatura, che per quello di salinità, come mostrato rispettivamente nelle Figure 4.1a-d.

Da ciascun grafico è possibile vedere qual è il valore di RMSE raggiunto in ogni giorno dell'anno, nel Golfo del Leone e nel Bacino Levantino, sia nello studio del campo di temperatura che in quello di salinità



Figura4.1a: Andamento del RMSE di tutto l'anno per il campo di temperatura nel Golfo del Leone



Figura4.1b: Andamento del RMSE di tutto l'anno per il campo di temperatura nel Bacino Levantino



Figura4.1c: Andamento del RMSE di tutto l'anno per il campo di salinità nel Golfo del Leone



Figura4.1d: Andamento del RMSE di tutto l'anno per il campo di salinità nel Bacino Levantino

Per il Golfo del Leone abbiamo scelto la settimana dal 05 al 10 giugno 2007 perché è quella con i valori di RMSE temperatura più alti, e quella dal 19 al 24 giugno 2007 perché è quella con i valori di RMSE salinità più alti.

Mentre per il Bacino Levantino abbiamo scelto la settimana dal 26 giugno al 1 luglio 2007 perché è quella con i valori di RMSE di temperatura più alti, e quella dal 27 novembre al 2 dicembre 2007 perché è quella con i valori di RMSE di salinità più alti.

Per ciascuna di queste settimane, abbiamo visualizzato l'andamento dei dati di previsione e di simulazione del terzo e sesto giorno per il campo di temperatura, salinità e corrente.

4.2 Descrizione dei risultati ottenuti nel Golfo del Leone

L'area presa in esame è caratterizzata dalla presenza di un'area di circolazione ciclonica (Giro del Golfo del Leone) e dalla presenza Corrente Liguro-Provenzale-Catalana, che scorre lungo costa.

La zona del Golfo del Leone propriamente detto, risulta più fredda rispetto alle masse d'acqua circostanti, probabilmente a causa del gyre caratteristico proprio del Golfo del Leone (Figura 4.2).





Figura 4.2: Andamento dei dati di previsione e di simulazione per il campo di temperatura alla profondità di 1m nel Golfo del Leone durante il 6° giorno – settimana 5-10 giugno 2007

Quanto appena descritto viene messo in evidenza dalle soluzioni ottenute dal modello quando è forzato dai due diversi forzanti atmosferici (di analisi e di previsione).

Per quanto riguarda il campo di temperatura (Figura 4.3), durante il sesto giorno della settimana esaminata, le soluzioni ottenute differiscono di circa 2°.

In questo caso specifico, è emerso che il modello forzato dal forzante atmosferico di analisi, ha registrato valori più alti (tonalità dell'azzurro) rispetto a quanto registrato dal modello forzato invece, dal forzante atmosferico di previsione, soprattutto al centro dell'area.



Figura 4.3: Differenza tra i dati di previsione e di simulazione per il campo di temperatura alla profondità di 1m nel Golfo del Leone durante il 6° giorno – settimana 5-10 giugno 2007

Le differenze nei campi di salinità, invece, risultano essere molto più variabili e con strutture a più piccola scala rispetto alle differenze nei campi di temperatura.

Ciò che emerso nelle due soluzioni del modello nel campo di salinità è una differenza di circa 0.06 PSU (Figura 4.4).

In particolare la risposta del modello quando è stato forzato dal forzante atmosferico di analisi (tonalità dell'azzurro) ha evidenziato la presenza di una corrente costiera che scorre lungo le coste liguri e s'immette nel Golfo del Leone.

Mentre la soluzione del modello forzato dal forzante atmosferico di previsione (tonalità del rosso) ha messo in luce la presenza di una corrente costiera e di una struttura ciclonica (Gyre del Leone) presenti in quest'aree.



Figura4.4: Differenza tra i dati di previsione e di simulazione per il campo di salinità alla profondità di 1m nel Golfo del Leone durante il 6° giorno - settimana 19-24 giugno 2007

Successivamente siamo passati a studiare il campo di corrente, che sappiamo essere influenzato anche da variazioni nel campo di temperatura e salinità.

Dallo studio della risposta del modello all'utilizzo di ciascun forzante (previsione e analisi) e, successivamente, andando a vedere quali sono le differenze tra questi, non sono emersi elementi particolarmente interessanti.

In ciascun periodo esaminato, settimana del 5-10 giugno (Figura 4.5) e settimana del 19-24 giugno (Figura 4.6) si è avuto sempre che l'intensità della corrente dei dati di simulazione è maggiore rispetto a quella dei dati di previsione, anche se la differenza è piccola.

Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che le due settimane esaminate si riferiscono entrambe al periodo estivo e tra l'altro allo stesso mese.

Dunque variazioni molto evidenti nell'intensità del campo di corrente sono meno possibili e frequenti.

Esaminando il campo di corrente durante il 10 giugno (Figura 4.6), notiamo la presenza di due piccoli vortici lungo le costi occidentali della Sardegna e non riscontrati in modo così chiaro dallo studio fatto precedentemente sul campo di temperatura (Figura 4.4).

In particolare, tali strutture sono maggiormente evidenti quando il modello è stato forzato con il forzante atmosferico di analisi.



Figura4.5: Andamento del campo di corrente alla profondità di 1m nel Golfo del Leone durante il 6° giorno settimana 5-10 giugno 2007



Figura4.6: Andamento del campo di corrente alla profondità di 1m nel Golfo del Leone durante il 6° giorno settimana 19-24 giugno 2007

4.3 Descrizione dei risultati ottenuti nell'area del Bacino Levantino

Analizzando il campo di temperatura nel Bacino Levantino (settimana dal 26 giugno al 1 luglio), è emerso in quasi tutta la parte centrale e nord-occidentale dell'area (Figura 4.7), che il modello forzato dal forzante atmosferico di analisi ha registrato valori più alti rispetto a quelli registrati se, invece, è forzato con il forzante atmosferico di previsione. Ciò è particolarmente evidente nella parte nord-occdentale e in quella orientale dell'area stessa, zone in cui si ha, in genere lo sviluppo del Gyre di Rodi, e dei Gyre del Sistema Shikmana e Mersea-Matruh, rispettivamente.





Figura 4.7: Andamento dei dati di previsione e di simulazione per il campo di temperatura alla profondità di 1m nel Bacino Levantino durante il 3° giorno – settimana 26 giugno-1 luglio 2007

Quanto appena detto è più chiaro dalla Figura 4.8 che ci fa vedere che tra le due soluzioni del modello, per quanto riguarda il campo di temperatura, c'è una differenza di circa 2°. Le due soluzioni del modello sembrano coincidere (tonalità del bianco) solo nella zone in cui si riscontra la presenza dei gyre nella parte sud-orientale del Bacino.



Figura 4.8: Differenza tra i dati di previsione e di simulazione per il campo di temperatura alla profondità di 1m nel Bacino Levantino durante il 3° giorno – settimana 26 giugno-1 luglio 2007

Come accaduto nel Golfo del Leone (Figura 4.4), anche in quest'area le due soluzioni ottenute dal modello, all'utilizzo di ciascun forzante, relativamente al campo di salinità, non hanno messo in luce particolari differenze (Figura 4.9).



Figura4.9: Differenza tra i dati di previsione e di simulazione per il campo di salinità alla profondità di 1m nel Bacino Levantino durante il 6° giorno – settimana 27 novembre – 2 dicembre 2007

Alcune piccole differenze di circa 0.02 PSU si sono avute nella parte orientale e sudoccidentale dell'area grazie alle quali è possibile riconoscere la presenza dei gyre della parte meridionale del Bacino Levantino.

Infine, abbiamo studiato il campo della corrente, i cui periodi in cui si sono registrate le maggiori differenze nelle soluzioni del modello, coincidono con quelli in cui si sono avute le maggiori differenze nel campo di temperatura (settimana 26 giugno-1 luglio) e salinità (settimana 27 novembre-2 dicembre).

Tuttavia differenze più evidenti nelle due risposte del modello, sono riscontrabili nel periodo estivo, quando in quest'area, soffiano da nord i venti Etesi che danno origine a strutture cicloniche proprio nei pressi di Cipro. Inoltre da est soffiano i venti Kasmin, nel nord Africa danno origine a strutture anticicloniche, che tuttavia, non sono emerse da nessuna delle due soluzioni del modello.

Come osservato nell'andamento del campo di temperatura (Figura 4.7-4.8), il campo di corrente evidenzia un'intensità della corrente dei dati di simulazione maggiore rispetto a quelli di previsione (Figura4.10).



Figura4.10: Andamento del campo di corrente alla profondità di 1m nel Bacino Levantino durante il 3° giorno settimana 26 giugno-1 luglio 2007

Abbiamo anche deciso di mostrare l'intensità del campo di corrente di ciascun tipo di dato (Figura 4.11) poiché, in questo modo, è possibile individuare in maniera più chiara le zone in cui l'intensità della corrente dei due diversi dati è maggiore.

Infatti nella parte occidentale dell'area è presente una zona in cui l'intensità della corrente dei dati di simulazione è maggiore, mentre nella parte centrale del Bacino, la maggiore intensità della corrente dei dati di previsione evidenzia la presenza di una struttura circolare dovuta forse a qualche fenomeno tipico dell'area o del periodo analizzato.



Figura4.11: Andamento dei dati di previsione e di simulazione per il campo di corrente alla profondità di 1m nel Bacino Levantino durante il 3° giorno – settimana 26 giugno-1 luglio 2007

Un ultimo esempio ritenuto interessante è quello relativo al 2 dicembre (Figura 4.12). In questo caso riusciamo a vedere in modo chiaro come l'intensità della corrente dei dati di simulazione sia in grado di evidenziare ogni singola stuttura della corrente. Si riesce ioltre a vedere chiaramente anche la presenza di una corrente costiera.



Figura4.12: Andamento del campo di corrente alla profondità di 1m nel Bacino Levantino durante il 6° giorno settimana 27 novembre-2 dicembre 2007

In conclusione, ciò che è emerso da questo lavoro è che la risposta del modello forzato dal forzante atmosferico di analisi, rispetto alla risposta ottenuta forzando il modello stesso con il forzante di previsione, tende ad essere sempre più diversa con il passare dei giorni. Le differenze tra le due risposte, infatti, sono più evidenti al sesto giorno di previsione piuttosto che al terzo.

In particolare, per il campo di temperatura, in entrambe le aree, si sono registrate differenze di circa 2° tra le due soluzioni.

Mentre per il campo di salinità, le differenze emerse sono molto più piccole soprattutto per il Bacino Levantino, in cui le differenze sono di appena 0.03 PSU, mentre di circa il doppio per il Golfo del Leone.

Capitolo 5

Conclusioni

Questo lavoro di tesi si proponeva di stimare l'impatto della qualità del forzante atmosferico, di analisi e previsione, sulle previsioni oceaniche a breve termine.

Si è cercato dunque di valutare come, l'utilizzo dei diversi forzanti atmosferici, influiscono sulla qualità della soluzione del modello numerico.

Dopo aver introdotto le aree studiate (Mar Mediterraneo, Golfo del Leone e Bacino Levantino) dal punto di vista della circolazione generale e del forzante atmosferico caratteristico dell'area, e dopo aver presentato il sistema di previsione MFS, si è passati nel Capitolo 2 a fare un confronto tra i dati di analisi e previsione del forzante atmosferico ECMWF.

Questo lavoro è stato fatto attraverso un'analisi statistica degli errori (RMSE) tra i dati stessi.

Ciò che è emerso da questo lavoro è che, in tutte le variabili ECMWF, il RMSE aumenta nel corso della settimana in modo simile.

Lo studio effettuato nelle tre differenti aree geografiche, mostra che la degradazione della previsione nel tempo, è maggiore quando si considera l'intero bacino.

Questo si verifica più o meno allo stesso modo in tutte le aree e per tutte le variabili (Figure 2.19-2.24); inoltre il Bacino Levantino, rispetto al Golfo del Leone, presenta un errore maggiore e quindi una maggiore degradazione della previsione.

Il trend generale riscontrato è stato abbastanza simile per tutte le variabili, impedendoci così di individuare qualche comportamento particolare da parte di una data variabile.

Le differenze riscontrante nell'entità dell'errore, più o meno elevato, sono invece dovute alla variabilità intrinseca della variabile stessa.

Lo studio sulla variabilità stagionale dell'errore invece, soprattutto nell'intero bacino Mediterraneo e nel Golfo del Leone, ci hanno fatto focalizzare l'attenzione sull'andamento del campo di pressione del livello medio del mare (Figura 2.6), e sulle due componenti del vento, in quanto di queste variabili, nel periodo primaverile hanno evidenziato un maggiore aumento dell'errore nel tempo.

Nel Bacino Levantino, invece, è emerso un aumento lineare del RMSE soprattutto in primavera e in estate.

Nella sezione successiva sono stati confrontati i dati di simulazione e di previsione derivanti dal modello oceanico, in un primo momento, studiando il RMSE e, successivamente, l'ACC. In questo caso l'attenzione è stata posta principalmente sui campi di temperatura e salinità.

Dallo studio del RMSE è emerso che in entrambe le aree la stagione in cui vi è la maggiore variabilità è sicuramente l'estate, come anche emerso dallo studio del forzante atmosferico ECMWF. La variazione del RMSE nei campi di temperatura e salinità infatti è dovuta principalmente all'inaccuratezza del forzante atmosferico di analisi e previsione.

In entrambe le aree, è emersa una forte degradazione della previsione al quarto giorno per il campo di temperatura e al terzo per il campo di salinità anche se il Bacino Levantino risulta molto più soggetto alla variabilità.

Per quanto riguarda l'ACC è evidente una diminuzione dal primo al terzo giorno (tranne che per la salinità alla superficie) e poi un aumento più o meno marcato dal quarto al quinto giorno per poi tornare a diminuire il sesto giorno. Quanto detto è stato riscontrato, sia nello studio nell'intero arco dell'anno, sia durante le quattro stagioni: in primavera e in inverno vi è una graduale diminuzione tra martedì e venerdì, mentre in autunno e in estate, tra martedì e giovedì, indistintamente nelle tre aree esaminate.

In conclusione, questo lavoro conferma quanto emerso dallo studio del RMSE, in quanto all'aumentare dell'errore, tende a diminuire la correlazione tra i dati, anche se questi risultati necessitano di ulteriori studi e approfondimenti per poter essere meglio interpretati.

Infine è stata focalizzata l'attenzione solo sulla settimana in cui, per le due sottoaree analizzate, si sono riscontrati i valori più alti di temperatura e salinità e sono state calcolate le differenze tra i dati di simulazione e previsione.

Il Golfo del Leone, ha mostrato una variabilità minore rispetto al Bacino Levantino in quanto nella prima area le principali differenze sono emerse solo durante l'ultimo giorno di previsione quando cioè il sistema ha accumulato tutte le informazioni possibili e anche di errori.

Inoltre la differenza tra i due tipi di forzante atmosferico risulta minore nello studio dei campi di salinità e corrente.

In conclusione, ciò che è emerso da questo lavoro di tesi è che il modello sembra aver risposto meglio quando sono stati utilizzati i dati di simulazioni piuttosto che i dati di previsione e dunque all'utilizzo del forzante atmosferico di analisi piuttosto che quello di previsione.

Inoltre le maggiori differenze nella risposta del modello, all'utilizzo dei diversi forzanti, si sono avute in superficie dove cioè, l'entità del forzante si risente maggiormente.

Bibliografia

Alpert P, Neeman B, Shay-El Y, 1990b: "Intermonthly variability of cyclone tracks in the *Mediterranean*", Journal of Climate 3: 1474-1478

Brody LR, Nestor L, 1980: "*Regional Forecasting Aids for the Mediterranean basin*", Naval Postgraduate School, Monterey, CA

Campins J, Jansà A, Genovés A, 2005: "*Three-dimensional structure of western mediterranean ciclone*", Int. Journal of Climatology 26: 323-343

Campins J, Jansà A, Genovés A, 2006: "Heavy rain and strong wind events and cyclones in the Balearics", Advances in Geosciences, 7: 73-77

Demirov E., Pinardi N., Fratianni C., Tonani M., Giacomelli L, De Mey P., 2003: "Assimilation scheme of the Mediterranean Forecasting System: operational Implementation", Ann.Geophys., 21, 189-204

Dobricic S., Pinardi N., Adani M., Boanzzi A., Fratianni C., Tonani M., 2005: "Mediterranean Forecasting System: An improved assimilation scheme for sea-level anomaly and its validation", Q.J.R..Meteorol.Soc., 131, 3627-3642

Dobricic S., Pinardi N., Adani M., Tonani M., Fratianni C., Bonazzi A, Fernandez V., 2007: "Daily oceanographic analyses by Mediterranean Forecasting System at the basin scale", Ocean Sci., 3, 149-157

Flocas HA, Karacostas T, 1996: "Cyclogenesis over the Aegean Sea: identifications and synoptic categories", Meteorologic Applications 3: 53-61

Gomis D, Buzzi A, Alonso A, 1990: "*Diagnosis of mesoscales structure in cases of leecyclogenesis during ALPEX*", Meteorological Atmosferic Physics 43: 49-57

Katsoulis BD, 1980: "Climatic and synoptic considerations of the Mediterranean depressions developing and passing over or near the Balcan Peninsula", Proceedings of the 1st Hellenic-British Climatological Congress. Hellenic Meteorological Society, Atens: 73-84

Maheras P, Flocas HA, Patrikas I, Anagnostopoulou C, 2000: "A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region. Spatial and temporal distribution", International Journal of Climatology 21: 109-130

Manzella G.M.R., E. Scoccimarro, N.Pinardi and M. Tonani, 2003: "*Improved near realtime data management procedures for the Mediterranean ocean Forecasting System-Voluntary Observing Ship Program*", Annales Geophisicae, 21, 1, 49-62.

Mason S. J., 2008: "Understanding forecast verification statistics", Meteorol. Appl., 15, 31-40

Millot C., Taupier-Letage I., 2005: "Circulation in the Mediterranean Sea. Handbook of Environmental Chemistry", Vol5 ,Part K, Springer-Verlag

Pinardi N., Allen I., Demirov E., De Mey P., Korres G., Lascaratos A., Le Traon P.Y., Maillard C., Manzella G., Tziavos C., 2003: "*The Mediterranean ocean Forecasting System : first phase of implementation (1998-2001)*", Ann. Geophys., 21, 1, 3-20

Pinardi N., Fratianni C., Adani M., 2008: "Use of real-time observations in an operational ocean data assimilation system: the Mediterranean case"

Robinson A. R., Leslie W. G., Theocharis A., Lascaratos A., 2001: "Mediterranean Sea Circulation", Academic Press

Tonani, M., Pinardi, N., Fratianni, C., and Dobricic, S., 2007: "Forecast and analysis assessment through skill scores", Ocean Sci.Discuss., 4, 189-212

Tonani M., Pinardi N., Dobricic S., Pujol I., and Fratianni C., 2008: "A high-resolution free-surface model of the Mediterranean Sea", Ocean Sci., 4, 1–14

Trigo I., F. Bigg G. R., Davies T., D., 2002: "*Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean*" AMS (American Meteorological Society), Volume 130, Iussue 3