



*Consiglio Nazionale delle Ricerche*

**ISMAR - ISTITUTO DI SCIENZE MARINE  
SEZIONE ECOSISTEMI COSTIERI E LAGUNARI**

Via Pola, 4 – 71010 LESINA (FG)

Tel.: ++39 0882 992702

Fax: ++39 0882 991352

## **RAPPORTO TECNICO INTERNO CNR-ISMAR-LESINA No. 1/2004**

Marcello G. Magaldi<sup>1</sup>, Alessandra Conversi<sup>2,\*</sup>

### **INDIVIDUAZIONE DEI DATASET CLIMATICI ADATTI ALL'ANALISI DELLE POSSIBILI RELAZIONI FRA IL PLANCTON E LE VARIABILI METEOROLOGICHE**

<sup>1</sup> RSMAS-MPO

University of Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Division of  
Meteorology and Physical Oceanography, 4600 Rickenbacker Causeway, Miami, Florida  
33149-1098, USA

<sup>2</sup> CNR-ISMAR,

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto Scienze del Mare, Sezione Ecosistemi Costieri  
e Lagunari, Via Pola 4, 71010 Lesina (FG)

\* Corresponding author. E-mail: [a.conversi@ismar.cnr.it](mailto:a.conversi@ismar.cnr.it)

Maggio 2004

## INDICE

LISTA DELLE FIGURE .....	3
SUMMARY .....	4
RIASSUNTO .....	5
INTRODUZIONE.....	6
SERIE TEMPORALI DECENNALI NEI MARI ITALIANI .....	9
DATASET CLIMATICI.....	11
Dati osservati: i COADS .....	11
Assimilation Data - Analysis e ReAnalysis.....	12
Le Analysis dell'ECMWF.....	13
Le ReAnalysis dell'ECMWF .....	13
La ReAnalysis NCEP-NCAR.....	14
RISULTATI E DISCUSSIONE.....	14
Paragone dataset climatici .....	14
Scale diverse di confronto .....	15
Confronto a larga scala.....	16
Confronto a scala regionale: il Mar Adriatico .....	17
Confronto a piccola scala: l'area del Golfo di Napoli.....	18
CONCLUSIONI .....	18
RINGRAZIAMENTI/ACKNOWLEDGEMENTS .....	20
APPENDICE .....	40
LINKS BIBLIOGRAFICI (capitoli di libro disponibili in rete) .....	41
BIBLIOGRAFIA .....	41

## LISTA DELLE FIGURE

Figura 1: Posizione delle serie temporali italiane.....	9
Figura 2. Copertura temporale dei tre principali dataset meteorologici e delle serie decadali planctoniche italiane.....	21
Figura 3. Diagramma di flusso per ottenere un Analysed o un ReAnalysed dataset.....	22
Figura 4: Confronto medie mensili ERA-15 e COADS della pressione a livello del mare mediate sull'intero Mediterraneo, sul Mediterraneo Orientale e sul Mediterraneo Occidentale.....	23
Figura 5: Medie mensili ERA-15 e NCEP dello sforzo del vento in superficie mediate sull'intero Mediterraneo, .....	24
Figura 6: Medie mensili ERA-15, NCEP e COADS della copertura nuvolosa totale sul Mediterraneo orientale.....	25
Figura 7: Medie mensili ERA-15, NCEP e COADS della copertura nuvolosa totale sul Mediterraneo occidentale .....	26
Figura 8: Medie mensili ERA-15 e COADS della pressione a livello del mare e della copertura nuvolosa totale.....	27
Figura 9. Medie mensili ERA-15 e NCEP della sforzo superficiale del vento e della copertura nuvolosa totale nel Mare Adriatico .....	28
Figura 10. Medie mensili NCEP e COADS su 38 anni della temperatura di superficie e della copertura nuvolosa totale nel Mare Adriatico.....	29
Figura 11. Medie mensili ERA-15 e COADS della pressione a livello del mare e della copertura nuvolosa totale nel Golfo di Napoli.....	30
Figura 12. Medie mensili ERA-15 e NCEP della sforzo superficiale del vento e della copertura nuvolosa totale nel Golfo di Napoli.....	31
Figura 13: Medie mensili NCEP e COADS su 38 anni della temperatura di superficie e della copertura nuvolosa totale nel Golfo di Napoli.....	32
Figura 14. Punti di griglia per il <i>dataset</i> ERA-15.....	33
Figura 15. Punti di griglia per il <i>dataset</i> NCEP.....	34
Figura 16. Punti di griglia per il <i>dataset</i> COADS (solo dati marini). .....	35
Figura 17 e Figura 18: Maschere utilizzate per mediare sull'area adriatica per i diversi <i>dataset</i> . .....	36
Figura 19. Maschere utilizzate per mediare sull'area adriatica per i diversi <i>dataset</i> . .....	37
Figura 20. Punti di griglia per i tre <i>dataset</i> per l'area contenente il Golfo di Napoli.....	38

## SUMMARY

In the last decade, the link between plankton and climate variability has been recognized through several studies in the Atlantic and Pacific Oceans. In the Mediterranean Sea such studies have begun more recently. An important question is which climate data sets and variables should be utilized for this analysis. In the case of the Mediterranean Sea, although some studies have identified connections to the North Atlantic Oscillation and to the monsoon regimes, no specific Mediterranean dominant climate modes have been yet identified, thus several climatic variables can be used as proxies for these studies.

In this work, within the program SINAPSI (Seasonal, INterannual and decAdal variability of the atmosPHERE, oceanS and related marIne ecosystems), subtask C1 “*Seasonal to interannual changes in the planktonic system*”, we have approached the problem of the choice of data sets suitable for the analysis of the climate plankton relationship, reviewing the available climatic data.

We have compared the three most complete long-term climate data sets over the Mediterranean area: ECMWF, NCEP (assimilation data sets), and COADS (observed data, using the Gridded Data 1°x 1°). We have selected variables (SST, sea level pressure, wind stress, cloud cover) which are: a) either proxies of circulation changes or possibly related to changes in plankton productivity, and b) common to at least two of the three data sets. We have then compared these variables utilizing different scales: basin, regional and local. The local and regional areas have been chosen around the location of long term (greater than 15 years) planktonic time series in the Italian seas: off Trieste, Senigallia (Adriatic Sea), Chiavari (Ligurian Sea) and Naples (Thyrranian Sea).

This preliminary analysis suggests that the choice of data sets for the study of biological variability cannot be univocal at this time, but must be made taking into account different issues, such as the temporal coverage of the different data sets, the temporal frequency of the data, the spatial coverage of the data, the quality of prediction of the selected variables by the different models, and the scale of the processes that are planned to be studied.

## RIASSUNTO

Questo lavoro è stato svolto all'interno del progetto SINAPSI (Seasonal, INterannual and decadal variability of the atmosphere, ocean and related marine ecosystems), subtask C1 "Relazione tra plankton e clima", che studia la relazione tra variabilità climatica e la risposta marina nei mari italiani.

L'analisi della relazione tra variabilità climatica e variabilità planctonica richiede uno studio preliminare dei *dataset* climatici esistenti allo scopo di individuarne le diverse caratteristiche in relazione alla ricerca che si intende fare. I *dataset* climatici utilizzabili in area Mediterranea sono infatti abbastanza differenti fra di loro e presentano diversi vantaggi e svantaggi per l'analisi della relazione con la variabilità planctonica. Questo lavoro è volto all'individuazione di tali vantaggi e svantaggi.

Lo studio è stato affrontato utilizzando i tre *dataset* climatici con copertura decennale attualmente più completi in area Mediterranea, ERA-15, NCEP/NCAR e COADS (*Gridded Data* 1°x 1° con opzione filtro *enhanced*).

Sono state selezionate delle variabili climatiche in comune ad almeno due dei tre *dataset*, di potenziale interesse per la variabilità planctonica, ovvero indicative di cambiamenti della circolazione nel Mediterraneo (sforzo del vento, pressione a livello del mare, temperatura superficiale marina), o con una possibile influenza diretta sulla produttività planctonica (sforzo del vento, copertura nuvolosa). L'andamento di tali variabili è stato paragonato su differenti scale geografiche, quale quella larga (bacini Mediterraneo occidentale e orientale), quella regionale (Mar Adriatico) e quella locale (Golfo di Napoli).

La scelta di queste aree all'interno del bacino è stata fatta tenendo conto della posizione delle serie temporali planctoniche più lunghe (> 10 anni) esistenti in Italia. Queste sono, nell'Adriatico, le serie storiche del Golfo di Trieste (fito e zooplancton nella riserva di Miramare a 0.1 miglia dalla costa, dal 1970 ad oggi) e presso Senigallia (fitoplancton, dal 1988, a 1.2 miglia dalla costa). Per il Tirreno, le serie storiche presso Chiavari (zooplancton, dal 1985, a 3 miglia dalla costa) e nel Golfo di Napoli (fito e zooplancton, dal 1984 ad oggi, a 1.1 miglia dalla costa). In questo lavoro sono state analizzate serie climatiche in corrispondenza di queste aree; non sono state analizzate serie biologiche.

Lo scopo di questo lavoro è fornire agli studiosi di ecologia e biologia marina interessati alla relazione tra clima e biota, informazioni sulle variabili climatiche di potenziale interesse e sulle problematiche ad esse collegate.

Le differenze tra i *dataset* hanno evidenziato come la scelta del *dataset* non possa avere una risposta univoca ma debba essere fatta tenendo in considerazione fattori quali:

1. la copertura temporale di ogni singolo *dataset*;
2. la frequenza temporale dei diversi *dataset*;
3. la disponibilità e la qualità delle diverse variabili per ognuno dei *dataset*;
4. la scala spaziale di interesse su cui si vogliono studiare le variabili planctoniche.

## INTRODUZIONE

Comprendere la relazione tra plancton marino e clima è fondamentale perché quasi tutti gli organismi pelagici e bentonici sono parte del plancton – o se ne nutrono – in qualche fase della loro esistenza. Con la possibilità concreta di un cambiamento globale e l'evidenza di riscaldamento dei mari, è essenziale comprenderne le ripercussioni sulla catena trofica marina.

Negli anni 80, studi su dati provenienti da serie temporali lunghe e a vasta scala spaziale - principalmente CalCOFI (*California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*) nel Pacifico e CPR (*Continuous Plankton Recorder*) nell'Atlantico - avevano messo in luce come la variabilità interannuale nel plancton (anni anormalmente abbondanti o scarsi) fosse estesa sull'intera zona di campionamento, vale a dire la costa californiana, nel caso del programma CalCOFI, il Mare del Nord nel caso del programma CPR (Colebrook, 1978; Chelton, 1982; McGowan, 1984; Dickson *et al.*, 1988; Cushing, 1990; Aebischer *et al.*, 1990; CPR Survey Team, 1992). Questi studi avevano così fornito una prima evidenza indiretta di come, su scala temporale decadale, fattori "regionali" (quindi di tipo circolatorio o climatico) prevalessero come forzanti della variabilità planctonica rispetto a fattori locali.

Nell'ultimo decennio, mediante l'utilizzo di indici climatici quali *proxies* di cambiamento su tutto il sistema fisico, la relazione tra variabilità climatica e planctonica su scala decadale è passata da indiretta a diretta, come evidenziato da numerosi studi, sia nell'oceano Atlantico e mari ad esso confinanti (Fromentin and Planque, 1996; Dickson *et al.*, 1996; Taylor and Stephens, 1998; Reid *et al.*, 1998; Heath *et al.*, 1999; Gallego *et al.*, 1999; Conversi *et al.*, 2001; Ottersen *et al.*, 2001; Edwards *et al.*, 2001; Licandro *et al.*, 2001a; Beaugrand, 2003; Beaugrand and Reid, 2003; Greene *et al.*, 2003; Drinkwater *et al.*, 2003; Richardson and Schoeman, 2004), che nell'oceano Pacifico (Conversi and Hameed, 1997; Conversi and Hameed, 1998; McGowan *et al.*, 1998; Hare and Mantua, 2000; Rebstock and Kang, 2003; Peterson and Schwing, 2003; Batten and Welch, 2004; Mackas *et al.*, 2004). È stato anche grazie a questi lavori che l'esistenza di una precisa influenza fra variazione climatica e variazione planctonica non è attualmente più messa in discussione come avveniva 10 anni fa, ma, al contrario, è largamente accettata dalla comunità oceanografica. I meccanismi che legano la variazione climatica alla risposta planctonica ed ai suoi possibili cambiamenti a lungo termine non sono invece tuttora stati identificati.

In particolare, in questo decennio c'è stato un forte interesse sull'Oscillazione del Nord Atlantico (*North Atlantic Oscillation*, o NAO). La NAO è un'oscillazione nello spazio e nel tempo del dipolo di pressione localizzato tra il centro di bassa pressione dell'Islanda e quello di alta pressione delle Azzorre. Quest'oscillazione è il "modo" atmosferico dominante sull'Atlantico, specialmente nei mesi invernali (van Loon and Rogers, 1978; Hurrell and van Loon, 1997; Hurrell *et al.*, 2003). In sintesi, vi sono anni in cui in inverno, in media, l'alta pressione sulle Azzorre è più alta del normale, mentre la bassa pressione sull'Islanda è anormalmente bassa. In altri anni la differenza nel dipolo è invece molto ridotta. A questi due estremi corrisponde, rispettivamente, un'intensificazione od un rilassamento energetico dell'intero sistema atmosferico-oceanico sulla regione nord Atlantica e regioni limitrofe (Hurrell *et al.*, 2001). Le ripercussioni sul sistema oceanico includono effetti sul trasporto (Visbeck *et al.*, 2003) e sulla formazione di acque profonde ed associati meccanismi di convezione dell'Atlantico del Nord (Dickson *et al.*, 1996). Inoltre sono state trovate varie relazioni tra la NAO (espressa come indice NAO) ed il biota marino (vedi referenze nel paragrafo precedente), nonché terrestre.

La variazione interannuale del sistema fisico espressa dalla NAO viene comunemente sintetizzata dall'indice NAO, il quale viene in generale calcolato come la differenza normalizzata

fra l'alta pressione delle Azzorre e la bassa pressione sull'Islanda. Questo calcolo può avvenire in maniera diversa a seconda dell'indice usato (Hurrell *et al.*, 2003). Gli indici più usati sono quelli invernali che utilizzano un valore per anno, corrispondente alla media dei mesi dicembre-febbraio o dicembre-marzo. Quello proposto da Rogers (1984) utilizza la differenza della pressione a livello del mare (SLP) normalizzata fra Ponta Delgata, Azzorre e Akureyri, Islanda; quello di Hurrell (1995) la differenza di SLP normalizzata fra Lisbona, Portogallo e Stykkisholmur, Islanda; mentre l'indice proposto da Jones *et al.* (1997), esteso indietro nel tempo fino al 1821, utilizza la differenza di SLP normalizzata fra Gibilterra e Reykjavik. Questi indici sono comunque fra loro correlati (Hurrell *et al.*, 2003). È da ricordare che vi sono anche vari altri indici NAO fra cui indici giornalieri e mensili, e metodi di calcolo che, anziché essere basati su punti fissi, estraggono la varianza spaziale del sistema (p.e., EOF spaziali). Quest'ultimi tengono conto del fatto che la variazione della NAO non sia solo temporale ma anche spaziale e pertanto di come la scelta di due stazioni fisse, anche se conveniente per studi storici, non sia particolarmente robusta rispetto alla variazione spaziale (Stephenson *et al.*, 2003).

In Italia lo studio della relazione tra plancton e clima è iniziato più di recente. Nell'ambito del programma scientifico SINAPSI (Seasonal, INterannual and decAdal variability of the atmosPhere, oceanS and related marIne ecosystems, <http://sinapsi.cineca.it/>), di cui questo lavoro fa parte, la relazione tra variabilità climatica e risposta mediterranea (fisica, biologica, chimica, geologica) è stata affrontata in modo interdisciplinare. È quindi opportuno fornire alcune nozioni generali sul Mar Mediterraneo.

Il Mediterraneo è un mare marginale, che comunica con l'oceano tramite lo Stretto di Gibilterra (stretto e poco profondo). Il budget di tale stretto è negativo rispetto alla salinità ed al flusso di calore (per cui evaporazione > precipitazione) e guida la sua circolazione di tipo anti-estuarino: acque Atlantiche, meno salate e dense entrano in superficie, mentre acque Mediterranee, più salate e dense escono in profondità dallo Stretto di Gibilterra (Astraldi *et al.*, 1999; Lascaratos *et al.*, 1999). Il Mar Mediterraneo è a sua volta diviso in due sottobacini, collegati tra di loro dal Canale di Sicilia, la cui bassa soglia contribuisce a mantenere separati i loro processi idrodinamici ed ecologici (Crise *et al.*, 1999).

Dal punto di vista biologico, il Mediterraneo è una delle aree più oligotrofiche del mondo, cosa che è in buona parte dovuta alla sua circolazione estuarina inversa. Il flusso di nutrienti in uscita tramite lo Stretto di Gibilterra, infatti, è superiore a quello in entrata tramite le acque atlantiche superficiali, già impoverite di nutrienti. Il budget risulta quindi negativo, con una perdita (di nitrati) pari a 1.25 Mtons/year (Crise *et al.*, 1999). Le maggiori entrate di fosforo, azoto e silicio (a parte quelle antropogeniche) avvengono, rispettivamente, tramite apporto continentale, deposizione atmosferica e polvere del Sahara (Bethoux *et al.*, 1999).

Per le sue caratteristiche peculiari, fra cui una propria circolazione termoalina (*conveyor belt*) con zone di formazione di acque profonde (una delle poche regioni oltre a quelle polari dove questo fenomeno avviene, Vignudelli *et al.*, 1999), il Mediterraneo sembra comportarsi come un oceano in miniatura, e pertanto studi in campo ambientale in questa area possono avere valenza assai più estesa (Bethoux *et al.*, 1999). Inoltre il Mediterraneo sembra esercitare un ruolo chiave sulla circolazione globale oceanica nonché possibilmente sulle fasi iniziali delle glaciazioni (Johnson, 1997; Bethoux *et al.*, 1999), nonostante abbia un volume ridotto rispetto all'oceano globale (0.3% del volume). Nel decennio scorso il Mediterraneo ha subito una profonda variazione della circolazione termoalina, denominata *East Mediterranean Transient* (EMT), durante la quale è avvenuto lo spostamento dall'Adriatico all'Egeo della zona principale di formazione delle acque profonde del bacino orientale (Roether *et al.*, 1996; Lascaratos *et al.*, 1999; Malanotte-Rizzoli *et al.*, 1999).

La variabilità interannuale della circolazione superficiale mediterranea sembra associata a forzanti atmosferiche anomale sul bacino, e simulazioni numeriche indicano che i maggiori

forzanti a scala interannuale sono il flusso di calore e lo sforzo del vento (Pinardi *et al.*, 1997; Pinardi and Masetti, 2000; Korres *et al.*, 2000a; Korres *et al.*, 2000b; Demirov and Pinardi, 2002). Studi sulla relazione tra sistemi marino e climatico hanno indicato una possibile relazione tra circolazione superficiale (soprattutto nel bacino occidentale) e NAO durante i mesi invernali (Vignudelli *et al.*, 1999), e con i monsoni (soprattutto nel bacino orientale) durante i mesi estivi (Raicich *et al.*, 2003). Altre associazioni con la NAO, soprattutto nel bacino occidentale, includono una relazione inversa tra NAO e livello del mare e tra NAO e precipitazioni atmosferiche, e un aumento della salinità in corrispondenza dell'aumento dell'indice NAO (Send *et al.*, 1999; Tsimplis and Josey, 2001).

Sino ad ora non sono stati identificati indici climatici propri del Mediterraneo, ma è importante notare che l'indice di pressione atmosferica nel Mediterraneo suggerito da Raicich *et al.* (2003) tiene conto della diversa variabilità dei bacini orientale e settentrionale.

La scelta delle variabili climatiche più adatte allo studio della variabilità planctonica è tuttora aperta.

In questo lavoro tale scelta è stata affrontata mettendo a confronto i *dataset* climatici più completi nel Mediterraneo, per valutarne aspetti positivi e negativi in relazione agli studi sulla variabilità biologica. Infatti tali *dataset* hanno caratteristiche molto distinte, quali risoluzione, copertura temporale, frequenza e variabili risolte. Questo ha reso indispensabile un confronto a diverse scale spaziali, scelte sulla base delle serie temporali planctoniche a lungo termine italiane.

## SERIE TEMPORALI DECENNALI NEI MARI ITALIANI

In questo lavoro non è affrontata l'analisi dei dati planctonici, ma è bene riassumere brevemente le informazioni sulle serie decennali planctoniche italiane.

In Figura 1 sono riportate le posizioni corrispondenti alle serie temporali più lunghe (maggiori di 15 anni) nei mari italiani. Queste sono:

- **Golfo di Trieste (N. Adriatico).**

Stazione C1 (Miramare) distanza 0.1 miglia dalla costa, profondità 17 m. Il campionamento di **mesozooplankton** (biomassa e abbondanza, 0-15 m) è il più lungo d'Italia, essendo iniziato nel 1970 (biomassa dal '72) ed essendo tuttora in corso. Frequenza da mensile a quindicinale. Interruzione del campionamento nel periodo gen 1981 – feb 1986. Il campionamento di **fitoplancton** (biomassa e abbondanza) è iniziato nel 1986 ed è tuttora in corso, con frequenza da mensile a quindicinale, profondità 0.5, 10 e 15 m. In aggiunta esiste un campionamento di **microzooplankton** dal 1986 ad oggi, con frequenza mensile o quindicinale (ci sono periodi mancanti).

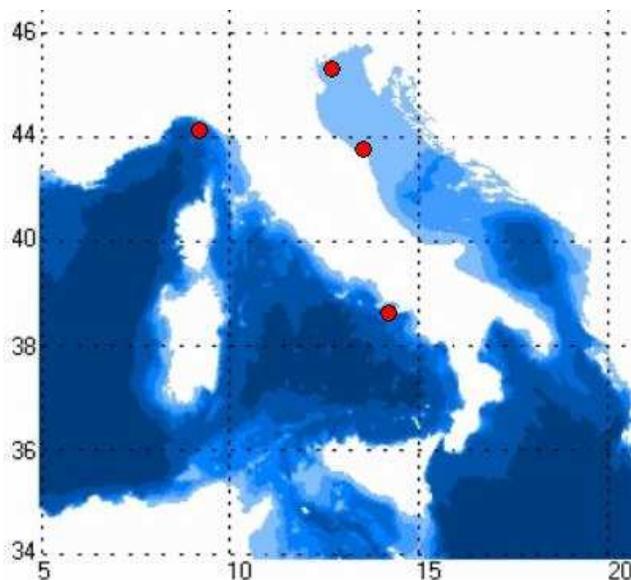


Figura 1: Posizione delle serie temporali italiane con campionamento superiore a 15 anni.

- **Senigallia (N. Adriatico). Fitoplancton**, abbondanza, biomassa ed identificazione tassonomica. Due stazioni, a 1.2 e 15 miglia dalla costa, a profondità 11 m e 55 m, rispettivamente. Periodo di campionamento: 1988 fino al 2002 (biomassa dal '94). Frequenza di campionamento irregolare, a profondità 0, 3, 6, 11 m. Dati mancanti in feb 1995 – ago 1996.

- **Chiavari (M. Ligure).** Una stazione (C) situata a 3 miglia dalla costa, profondità 80 m. Periodo di campionamento: marzo 1985 fino al 2001. Interruzione nel campionamento nel periodo apr 1989 - dic 1990, e ott 1996-dic 1998 (<http://sinapsi.cineca.it/home.html>, rapporto del 2° anno, allegati). Frequenza di campionamento circa quindicinale. **Mesozooplankton**: biomassa, abbondanza, descrizione tassonomica. Altre misure prese in concomitanza sono: **trasparenza** con disco di Secchi, **temperatura** (profilo verticale), **salinità** (superficie fino a marzo '86, poi profilo verticale), **correnti** dal marzo 1987 a 5, 45, 75 m (Licandro and Ibanez, 2000).

- **Golfo di Napoli (M. Tirreno).** Una stazione (MC) a 2 miglia nautiche dalla linea di costa e circa 75 m di profondità. Il campionamento è iniziato dal gennaio 1984 ed è tuttora in corso. Frequenza di campionamento da quindicinale (fino al '91) a settimanale (dal '95 in poi). Dati mancanti da agosto 1991 a gennaio 1995. **Mesozooplankton**, biomassa (peso secco), abbondanza e

identificazione tassonomica, 0-50 m. **Fitoplancton**, abbondanza, contenuto di carbonio ed identificazione tassonomica, campionamento in superficie (0.5 m). **Ciliati**, 1984 e da settembre 1996, biomassa e contenuto di carbonio, campionamento in superficie (0.5 m). **Nutrienti, salinità, temperatura, ossigeno**, a 0.5, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 m, e **clorofilla** (quest'ultima non a 30, 50, 70 m) (Ribera d'Alcala *et al.*, 2004).

Informazioni sia su queste serie multidecadali che sulle altre serie italiane multiannuali si trovano sul sito SINAPSI (<http://sinapsi.cineca.it/home.html>), in particolare sui rapporti annuali del programma (SINAPSI, 2002). I periodi di campionamento planctonico e quelli coperti dai dati meteo NCEP, ERA-15 e COADS sono riportati nella Figura 2.

L'informazione sulla variabilità interannuale del plancton contenuta in queste serie è di notevole importanza. Queste serie, pur non essendo lunghe come quelle in Atlantico (CPR) o nel Pacifico (CalCOFI), contengono preziose informazioni sulla variabilità interannuale del plancton. Per esempio, studi sulla serie temporale di MC (Golfo di Napoli) nel periodo 1984-2000 hanno mostrato, da un lato, una riduzione significativa della biomassa fitoplanctonica totale (indicata dalla clorofilla *a*), contemporanea ad un aumento dell'abbondanza (numero di cellule); dall'altro un cambio nell'intera struttura fitoplanctonica, con riduzione delle diatomee grandi ed aumento delle specie piccole di diatomee e dei coccoidi (Ribera d'Alcala *et al.*, 2004). Una situazione in parte simile è apparente nel Mar Ligure, dove nel periodo 1991-1999 Marty *et al.* (2002) hanno notato una diminuzione delle diatomee a favore delle specie planctoniche piccole; gli autori ipotizzano che questi cambiamenti siano dovuti ad un allungamento del periodo di stratificazione estivo (durante il quale dominano le specie piccole), causato dall'aumento di temperatura degli ultimi anni. Sempre nel Mar Ligure, nel Golfo del Tigullio utilizzando la serie temporale di Chiavari, Licandro and Ibanez (2000) and Licandro *et al.*, (2001b) hanno identificato associazioni di specie mesozooplanctoniche ed il loro diverso comportamento rispetto al ciclo stagionale per il periodo 1985-1995. Infine, nell'Adriatico settentrionale è stato notato un trend negativo a partire dagli anni 70 nella biomassa dei copepodi, forse dovuto alle fioriture di *Noctiluca miliaris* e *Pelagia noctiluca* (Cataletto *et al.*, 1995).

## DATASET CLIMATICI

L'analisi della variabilità climatica ha la necessità di trattare le serie storiche di dati meteorologici. Se una collezione di dati storici, o *dataset*, è costituita solo da dati osservati sperimentalmente, viene chiamata *Observed Dataset*.

Le previsioni meteo, soprattutto a breve termine, sono state migliorate non solo basandosi sulle osservazioni sperimentali disponibili, ma anche sulle uscite di modelli fluidodinamici. L'applicazione di un sistema di assimilazione dati, che comprende la combinazione dei dati osservati sperimentalmente con le uscite dei modelli, porta alla creazione di altri tipi di *dataset*: gli *Analysed* e *ReAnalysed Dataset* (questi ultimi sono dati derivati dall'utilizzo dello stesso modello di assimilazione per un periodo temporale esteso, vedi sotto).

### *Dati osservati: i COADS*

Il *Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set* (COADS), è la più estesa collezione disponibile di dati marini atmosferici di superficie. COADS è il risultato di un progetto di cooperazione tra la *National Oceanographic and Atmospheric Administration* (NOAA) ed il *National Center for Atmospheric Research* (NCAR). Informazioni dettagliate sui dati si trovano sul sito web: <http://www.cdc.noaa.gov/coads/>. COADS è una collezione di dati esclusivamente marini ed esclusivamente osservati sperimentalmente (*observed dataset*), e che quindi risente, in un'analisi di variabilità climatica, di tutte le problematiche connesse ai dati rilevati sperimentalmente. I dati osservati sperimentalmente, infatti, hanno i seguenti svantaggi:

- a) derivano da strumenti tra loro diversi (su navi, su boe, su piattaforme oceanografiche, ecc...) con diverse sensibilità e con diverse accuratèzze, che sono variate nel tempo anche per lo stesso tipo di strumenti;
- b) hanno la necessità di un controllo di qualità. La varietà dei tipi di dati, la varietà degli strumenti ed il grande numero di dati, possono, infatti, causare molti errori che devono essere individuati e, se possibile, corretti;
- c) sono spazialmente irregolari, con zone più coperte come il Nord Atlantico e con zone che lo sono meno;
- d) sono temporalmente irregolari, con alcuni strumenti che rilevano quasi continuamente (come i satelliti), altri che rilevano ad intervalli temporali regolari ed altri ancora che rilevano ad intervalli irregolari;
- e) in altre parole, hanno dati mancanti, con associata perdita di informazione ed associati problemi nell'utilizzo di tecniche statistiche che non prevedano la presenza di dati mancanti, o di eventuale utilizzo di tecniche di interpolazione dei dati mancanti.

Per ovviare ad alcuni di questi inconvenienti, i dati COADS, oltre ad essere disponibili sotto forma di osservazioni individuali, possono essere forniti sotto la forma di statistiche mensili su una griglia globale di 2° di longitudine x 2° di latitudine oppure su una griglia di 1°x 1°. Le statistiche mensili COADS servono, infatti, per cercare di regolarizzare dal punto di vista spazio-temporale, osservazioni individuali che di per sé non lo sono.

Il periodo coperto dai dati COADS è molto ampio: dal 1784 al 1997 per le osservazioni individuali, dal 1800 al 1997 per le statistiche mensili su griglia di  $2^\circ \times 2^\circ$ , e dal 1960 al 1997 per quelli con risoluzione di  $1^\circ \times 1^\circ$ .

In sintesi, il calcolo delle statistiche mensili COADS avviene in questo modo: una volta definita la griglia in grado di ricoprire l'intero globo terrestre, si considerano per ogni mese del periodo coperto tutti i dati che ricadono in una maglia di griglia. Su queste misure si calcolano semplici statistiche (media, mediana, sestili, deviazione standard, ecc...), che vengono tutte attribuite al punto centrale della maglia stessa. Inoltre, per ognuno di questi punti centrali, vengono fornite altre importanti informazioni quali la longitudine e la latitudine media delle osservazioni ricadenti nella maglia, il numero delle osservazioni ricadenti nella maglia, il giorno medio all'interno di quel mese in cui si sarebbero effettuate le osservazioni ricadenti nella maglia, il numero di osservazioni effettuate di giorno e di notte, ecc... Quando in una maglia di un determinato mese non esiste nessuna rilevazione il dato in quella maglia non viene definito.

Gli stessi autori COADS sottolineano che in questo *dataset* non esiste assolutamente nessun tipo di interpolazione né tanto meno la tradizionale *optimum interpolation* (OI) insiste sui dati. I dati grigliati COADS sono ottenuti solo attraverso semplici operazioni statistiche.

Questo se da un lato comporta che i dati non vengano “derivati” tramite interpolazione, dall'altro comporta che il *dataset* sia incompleto per la presenza di maglie non definite in alcuni mesi ed aree. Inoltre è chiaro che per le zone più coperte, i dati grigliati COADS siano statisticamente più rappresentativi di quelli per le zone che lo sono meno.

Comunque, tutti i dati COADS, sia le osservazioni sperimentali che quelli grigliati, sono sottoposti a ben 23 processi di controllo di qualità. È inoltre possibile scegliere quali dati singoli (*outlier*) escludere: il filtro “standard” esclude gli *outlier* che cadono fuori le 3.5 volte la deviazione standard dalla mediana, mentre il filtro *enhanced* prevede di estendere questo limite alle 4.5 volte la deviazione standard.

### ***Assimilation Data - Analysis e ReAnalysis***

Contrapposti agli *observed dataset* ci sono quelli ottenuti attraverso un sistema di assimilazione dati che cerca di eliminare gli inconvenienti citati nel paragrafo precedente.

L'assimilazione dati è una procedura che si basa sulla filtrazione, l'interpolazione e la completezza dei dati stessi. L'assimilazione estrae il segnale da osservazioni “rumorose” (filtrazione), interpola nello spazio e nel tempo (interpolazione) e ricostruisce delle variabili che non sono rilevate sperimentalmente dalla rete di osservazioni (completezza). Il risultato dell'assimilazione dei dati è quindi una rappresentazione quadridimensionale spazio-temporale dello stato dell'atmosfera e dell'oceano che abbia come caratteristiche di essere regolare, fisicamente consistente ed omogenea. Tutto questo partendo in realtà da collezioni di dati rilevati sperimentalmente da strumenti in situ che campionano irregolarmente nello spazio e nel tempo. Gli aspetti di regolarità e di consistenza fisica della procedura provengono quindi dall'utilizzo dei modelli fluidodinamici numerici.

I modelli numerici atmosferici usati in meteorologia sono basati sull'equazioni della fluidodinamica discretizzate nello spazio e nel tempo. Queste equazioni sono le leggi di conservazione fisiche applicate ad una singola particella d'aria: conservazione della quantità di moto (equazioni del moto), conservazione dell'energia (primo principio della termodinamica), conservazione della massa d'aria secca (equazione di continuità) e le equazioni per la

conservazione dell'umidità in tutte le sue fasi. I modelli numerici, per risolvere tutte queste equazioni differenziali, necessitano delle cosiddette condizioni iniziali e delle condizioni ai bordi del dominio di calcolo.

L'abilità nel produrre previsioni risiede non solo quindi nella rappresentazione realistica dell'atmosfera nel modello, ma anche nel modo in cui si forniscono ai modelli stessi le condizioni iniziali ed ai bordi dai dati sperimentali disponibili. Nel caso dei modelli numerici ECMWF e NCEP considerati in questo studio, essi sono globali, in grado cioè di coprire con la loro griglia di calcolo l'intero globo terrestre, per cui non sono necessarie le condizioni ai bordi laterali.

Un *analysed dataset* è proprio il risultato di tutto quanto descritto sopra, cioè di una certa procedura di assimilazione dati applicata ad una serie di dati rilevati sperimentalmente. Il miglioramento delle previsioni meteo a seguito dell'introduzione dei modelli fluidodinamici che si basavano su osservazioni sperimentali precedenti, ha portato ad un'interazione tipo feedback tra le osservazioni sperimentali ed il lavoro dei modelli (vedi Figura 3). Quest'ultimi non fanno altro che integrare nel tempo gli effetti delle precedenti osservazioni sperimentali ed aggiornarli al presente.

Chiaramente per far sì che tutto funzioni i modelli devono avere determinate caratteristiche ed è necessario combinare le osservazioni sperimentali e le previsioni dei modelli (*forecast*) in maniera ottimale.

### ***Le Analysis dell'ECMWF***

L'*European Centre for Medium range Weather Forecast* (ECMWF) è operativo dal 1979 e fornisce le *analysis* ogni 6 ore (00, 06, 12, 18 UTC). Le *analysis* sono ottenute attraverso un confronto tra le osservazioni sperimentali ed il *forecast* a breve termine (da 3 a 15 ore) fornito dai modelli (vedi Figura 3). La differenza tra i valori osservati e gli stessi valori previsti dallo *short-range forecast* è utilizzata per la correzione della prima ipotesi (*first guess*) in modo da produrre l'*analysis* atmosferica. Quest'ultima è poi quella utilizzata come condizione iniziale per il successivo *short-range forecast*.

### ***Le ReAnalysis dell'ECMWF***

Le *analysis* dell'ECMWF, se da un lato sono tra i *dataset* più utilizzati dai ricercatori di tutto il mondo, dall'altro risultano essere eterogenee nel tempo in quanto i cambiamenti nei modelli e nelle tecniche di analisi di assimilazione dei dati, dovuti essenzialmente all'evoluzione continua ed al miglioramento dell'intero sistema previsionale, si ripercuotono sulle diverse *analysis* di ogni anno. Basti solo pensare, ad esempio, che per l'intero anno 1994 si sia utilizzata una griglia di  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , mentre per il periodo che va da gennaio 1995 a dicembre 1997 si sia utilizzata una griglia di circa  $0.5625^\circ \times 0.5625^\circ$  e che infine, dal gennaio 1998 si sia riutilizzata la griglia di  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ .

La necessità di avere a disposizione un *dataset* omogeneo per lungo tempo ha spinto l'ECMWF ad ottenere un *dataset* caratterizzato dall'utilizzare lo stesso moderno e consistente sistema di assimilazione dati su tutto un periodo. Si è ritornati al passato rifacendo le *analysis* (che vengono a quel punto chiamate *re-analysis*) con i più attuali e quindi migliori sistemi previsionali.

La *reanalysis* ERA-15 (ECMWF *Re-Analysis 15 years*) ha come obiettivo quello di produrre un valido ed omogeneo *dataset* per il periodo che va dal gennaio 1979 al dicembre 1993, fornendo così una collezione di dati di 15 anni che può essere ben utilizzato in studi di variabilità atmosferica ed in studi di modellizzazione accoppiata oceano-atmosfera, visto che il sistema di assimilazione dati, una volta definito, è rimasto costante per tutto il periodo di *reanalysis* (Gibson *et al.*, 1999).

Oggi l'ECMWF è inoltre impegnato nella costruzione dell'ERA-40 (ECMWF *Re-Analysis 40 years*) cioè di un *dataset* che dovrebbe ricoprire il periodo dal gennaio 1957 al dicembre 1996 sovrapponendosi al già pronto ERA-15 ed avendone quasi tutte le sue caratteristiche (risoluzione, variabili, frequenza, ecc...).

### **La ReAnalysis NCEP-NCAR**

La *reanalysis* NCEP-NCAR è un progetto congiunto tra il *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) e il già citato NCAR (Kalnay *et al.*, 1996). Lo scopo di questo sforzo congiunto è quello di produrre, usando dati storici, un nuovo *dataset* con tutte le caratteristiche delle *reanalysis* atmosferiche per un periodo di tempo molto ampio che va dal gennaio 1958 al dicembre 1998. Il sistema di assimilazione dati ed il modello atmosferico sono identici a quelli utilizzati dall'NCEP prima del gennaio 1995.

## **RISULTATI E DISCUSSIONE**

### **Paragone dataset climatici**

Vediamo quindi vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di tre *dataset*: ERA-15, NCEP/NCAR e COADS (*Gridded Data 1°x 1°* con opzione filtro *enhanced* (ovvero con l'esclusione di dati che cadono 4.5 deviazioni standard dalla mediana)).

1. ERA-15: ha il vantaggio di una risoluzione spaziale globale relativamente alta di circa 1.1250° x 1.1213° (vedi Figura 14). Le variabili risolte sono molte, con frequenza in molti casi alta (dati ogni 6 ore, medie mensili per i flussi, vedi Tabella 1). Inoltre, essendo la *reanalysis* del centro meteo europeo più importante, i parametri del modello atmosferico vengono modulati in modo da produrre le previsioni più realistiche sopra l'Europa. Tra i *reanalysed dataset*, l'ERA-15 è quindi sicuramente preferibile per studi sull'area mediterranea. Il suo grosso svantaggio, per chi è interessato a studiare la relazione con il plancton, è quello di coprire un periodo relativamente breve di soli 15 anni, non coincidenti con il periodo dei campionamenti planctonici. I dati dell'ERA-40, quando disponibili, risolveranno questo problema. Per la natura del modello, costruito per essere dinamicamente consistente spazialmente e temporalmente su tutta la griglia e non per spiegare la variabilità temporale di un punto, questi dati vanno utilizzati su una regione, e non ha senso selezionare un solo punto e vederne l'andamento temporale. Infine, un'altra cosa da ricordare riguardo i dati da modello è che non tutte le variabili sono ugualmente affidabili: per esempio la

pressione media a livello del mare è facilmente predicibile (rappresentando l'integrale sulla verticale del peso della colonna d'aria sovrastante un punto della superficie terrestre), mentre precipitazione e nuvolosità non sono molto affidabili in quanto il modello non ha precisione sufficiente per predirle con esattezza. Per quello che riguarda i venti, quelli in quota sono abbastanza robusti mentre quelli in superficie sono generalmente sottostimati (ed in alcuni casi sovrastimati): questo è anche dovuto al fatto che la maschera che distingue i punti di terra da quelli di mare è imprecisa a questa risoluzione spaziale.

2. NCEP/NCAR: esattamente per lo stesso motivo esposto sopra, la *reanalysis* NCEP prevede l'utilizzo di un modello più adatto al Nord America e quindi meno a studi di variabilità climatica sull'area mediterranea. L'altro suo svantaggio rispetto agli altri due *dataset* è quello della sua bassa risoluzione pari a circa  $1.875^\circ \times 1.905^\circ$  in superficie (vedi Figura 15). L'enorme vantaggio al momento attuale (e almeno finché non saranno disponibili i dati ERA-40) è quello di avere la possibilità di estendere le analisi rispetto all'ERA-15 su un periodo di 41 anni, 1958-1998, sempre con un grosso numero di variabili risolte (vedi Tabella 1). Analogamente a quanto detto per i dati di ERA-15, non ha senso analizzare un solo punto, ma occorre selezionare un'area. Anche in questo modello alcune variabili sono più affidabili di altre.
3. COADS *Gridded Data*  $1^\circ \times 1^\circ$ , *enhanced option*: anche questo *dataset* ha il vantaggio di coprire un intervallo temporale ampio di 38 anni, 1960-1997, oltre al fatto di avere la migliore risoluzione spaziale tra i tre (vedi Figura 16). Inoltre c'è il vantaggio di avere a che fare con dati derivati direttamente da osservazioni sperimentali (e non interpolati) con annesse importanti informazioni statistiche che ne facilitano il trattamento. Un altro notevole vantaggio è che, essendo dati osservati, se la copertura spaziale fosse soddisfacente, si potrebbe analizzare una singola stazione, cosa che non è ragionevole fare con i dati da modello. Tutto questo però si paga con gli inconvenienti relativi alla natura sperimentale dei dati. Il più importante è quello dell'incompletezza del *dataset* e quindi della presenza di dati mancanti. Un altro inconveniente è quello di trattare comunque poche variabili direttamente osservate, mentre vengono "derivati" molti parametri comunque non paragonabili direttamente con le variabili dei precedenti due *dataset*, (per esempio lo *pseudostress* di vento). Infine è da notare che la frequenza di questi dati è mensile.

### **Scale diverse di confronto**

Lo scopo di questo lavoro è compiere un esame approfondito di questi *dataset* climatici in relazione alle serie temporali planctoniche lunghe dei mari italiani. Si è quindi scelto di confrontare i risultati provenienti dai tre diversi *dataset* a differenti scale (larga, regionale e piccola) per vedere come i parametri selezionati varino utilizzando scale diverse. La scelta delle aree di studio è stata fatta basandosi sull'ubicazione delle serie planctoniche lunghe. Castellari ed Archetti (2000) hanno paragonato i dati meteorologici ERA-15 e COADS lungo lo stesso arco di tempo (1879-1993) nel bacino Mediterraneo, nei sottobacini orientale ed occidentale, e nelle aree di formazione delle acque dense, ma non c'è nessun lavoro che paragona contemporaneamente ECMWF, COADS, NCEP, né che li studia in funzione della produzione planctonica.

### **Confronto a larga scala**

Per larga scala qui si intende l'intero bacino Mediterraneo o i due sub-bacini orientale ed occidentale.

In Figura 4 sono confrontati i dati di pressione sul livello del mare da modello (ERA-15) rispetto a quelli osservati (COADS), mediati sopra le stesse aree e lo stesso periodo, 1979-1993. La figura mostra una notevole corrispondenza fra dati osservati e dati da modello, sia per l'intero Mediterraneo che per i due sub-bacini: gli andamenti fra *dataset* sono praticamente identici ed entrambi rilevano le notevoli differenze di questa variabile nei due sub-bacini. I massimi di alta pressione vengono rispettati da entrambi i *dataset*, per esempio, le forti anomalie degli anni 83 e 89, seguite da quelle degli anni 90, 92, 93 (in entrambi i bacini), così come i minimi di bassa pressione per esempio, 79, 82, 84, 86 e 89 (presenti nell'intero Mediterraneo e nel bacino occidentale, ma non in quello orientale).

La Figura 5 riporta lo sforzo del vento sulla superficie marina sempre per i bacini sopra menzionati e per il periodo 1979-1993, ma questa volta per i *dataset* ERA-15 e NCEP rispettivamente (il COADS ha una variabile differente, lo *pseudostress*). Di nuovo, entrambi i *dataset* producono risultati molto simili sia come intensità che andamento, che evidenziano la differenza tra i due bacini, indipendentemente dai dati usati. Il forte ciclo stagionale, più pronunciato nel Mediterraneo occidentale che in quello orientale, è caratterizzato da minimi estivi che non variano molto e da massimi invernali che al contrario hanno forti variazioni interannuali. Mentre l'inverno dell'81 caratterizza con la forte intensità del vento l'intero Mediterraneo, i venti forti dell'82 e dell'86 sono presenti prevalentemente sul bacino ovest, mentre quelli del 92 solo su quello est. È poi importante considerare i valori bassi dei massimi invernali raggiunti sull'intero Mediterraneo negli inverni degli anni 80, 90 e 93. Questi risultati sono consistenti con quelli del modello numerico di Demirov e Pinardi (2002), che utilizza come forzanti le *reanalysis* ECMWF. È da notare che le forti anomalie dell'intensità del vento invernale negli anni 81 e 86 (riportate in Figura 5) si riscontrano anche nel modello numerico di Pinardi *et al.* (1997), basato su dati COADS e del *National Meteorological Center* di Washington per il periodo 1980-88, e nel modello numerico di Korres *et al.* (2000a; 2000b), basato sui dati NCEP, per il periodo 1980-88. Incidentalmente, un forte raffreddamento (0.24 - 0.4 °C) della Levantine Intermediate Water (LIW, 200 m di profondità) nel bacino orientale e nel Tirreno viene individuato da Brankard e Pinardi (2001) in corrispondenza degli inverni 1981 e 1983, sia utilizzando dati osservati (200000 profili XBT) che simulazioni numeriche, forzate da dati COADS.

La Figura 6 e la Figura 7 mostrano la copertura nuvolosa totale sul Mediterraneo occidentale ed orientale, questa volta per tutti e tre i *dataset*. Anche qui è presente un ciclo stagionale accentuato. Non mancano le differenze tra i risultati dei diversi *dataset*. Ad esempio c'è la generale tendenza da parte dell'ERA-15 ad accentuare i minimi estivi e quella dell'NCEP a sottostimare i massimi invernali rispetto agli altri *dataset*. I massimi del 79 e 86 sul bacino ovest e dell'81 e del 92 sul bacino est vengono rilevati da COADS ed ERA-15 ma non da NCEP. La difficoltà nel prevedere una variabile come la copertura nuvolosa è reale e si basa sulle differenze nel cercare di modellizzare un sistema complesso come quello nuvoloso. Nonostante queste difficoltà c'è accordo tra tutti e tre i *dataset* nell'identificare alcuni *pattern*, per esempio le maggiori fluttuazioni nei picchi invernali del Mediterraneo occidentale rispetto a quello orientale.

Sono da notare in tutti i casi le differenze fra i due bacini, perché andranno ricordate nei paragoni a scale minori, Adriatico e Golfo di Napoli, qui di seguito.

A questa scala l'influenza costiera è molto ridotta. Tuttavia le serie temporali planctoniche lunghe sono molto vicine alla costa. È quindi interessante verificare se la somiglianza tra gli

andamenti rimane se si riduce l'area su cui vengono mediati i dati climatici. Per uno studio più centrato sul paragone tra ERA-15 e COADS in zone di formazione di acque profonde consultare Castellari ed Archetti (2000).

### **Confronto a scala regionale: il Mar Adriatico**

Si è scelto il Mar Adriatico per il paragone tra *dataset* climatici a scala regionale per alcuni motivi: a) la presenza di due serie decadal, nel Golfo di Trieste e presso Senigallia; b) la presenza di un solo punto NCEP ed un solo punto ERA-15, intermedi fra queste due zone; questo ha precluso la scelta di usare una scala più piccola ed è stato necessario utilizzare l'intero bacino per poter utilizzare più punti: infatti i dati da modello di assimilazione sono costruiti in modo da essere coerenti spazialmente e pertanto l'utilizzo di singoli punti non è appropriato. Le sub-aree per COADS (mediata su 22 punti), l'ERA-15 (mediata su 7 punti), e per l'NCEP (mediata su 5 punti) sono riportate in Figura 17, Figura 18 e Figura 19 rispettivamente.

La Figura 8 mostra il paragone fra i *dataset* ERA-15 e COADS riguardo alla pressione sul livello del mare ed alla nuvolosità. Per quanto riguarda la pressione (pannelli a sinistra), se gli andamenti dei dati osservati e da modello non sono quasi identici come su scala di bacino, rimangono pur sempre molto simili, ed i minimi e massimi sono resi da entrambi i *dataset*: i minimi del 79, 82, 86, già visti nel bacino occidentale e nell'intero Mediterraneo (Figura 4) ed i massimi dell' 83, 89, 90, 92, 93 già visti nell'intero Mediterraneo, sono presenti anche in questa sub-area.

Per quello che riguarda la nuvolosità (pannelli a destra della Figura 8, Figura 9 e Figura 10), sebbene il ciclo stagionale sia ancora evidente, le differenze fra *dataset* sono più accentuate: gli anni dei massimi e minimi non corrispondono sempre, i COADS evidenziano meglio un ciclo interannuale che peraltro è presente anche se in forma ridotta anche negli ERA-15, e gli NCEP sottostimano la variabilità della copertura nuvolosa rispetto a ERA ed a COADS e non identificano *trends* (notare in particolare in Figura 10 il paragone fra COADS e NCEP esteso ai 38 anni in comune, 1960-1997).

I pannelli a sinistra della Figura 9 mostrano il paragone fra ERA-15 e NCEP riguardo lo sforzo del vento. Anche per il vento le differenze sono più accentuate sulla scala regionale che su quella larga. Anche se gli andamenti sono abbastanza simili, l'NCEP sovrastima i massimi invernali in questa regione (o viceversa l'ERA-15 li sottostima). I massimi dell'81 e del 92 (ma non quello dell'84, presente solo nel NCEP) e gli inverni poco ventosi nell'80, 88, 90 sono comunque rilevati da entrambi i *dataset* e corrispondono in buona parte a quanto si vede sull'intero bacino orientale (Figura 5).

Nei pannelli a sinistra della Figura 10 è riportata la temperatura marina di superficie: il segnale stagionale dell'SST maschera qualsiasi altra variabilità in entrambi i *dataset*, rendendo difficile il paragone senza ulteriore trattamento dei dati.

In generale, il confronto su scala regionale indica minore similarità fra *dataset* rispetto alla scala più ampia, e la divergenza aumenta per le variabili più difficili da riprodurre con modello, come la copertura nuvolosa.

### **Confronto a piccola scala: l'area del Golfo di Napoli**

All'interno del Golfo di Napoli, a 1.1 miglia dalla costa, si trova la stazione Marechiaro, dove dal 1984 sono stati misurati zooplancton e fitoplancton con cadenza settimanale o bisettimanale. Abbiamo scelto questa area per il paragone del comportamento delle variabili climatiche su scala più piccola, circa 1-2 gradi intorno alla stazione MC (vedi Figura 20). È da notare che l'area non è identica nei tre casi (né può esserlo date le differenze tra griglie), né il numero di punti su cui sono state fatte le medie è lo stesso (in questo caso: 3 punti ERA-15, 3 punti NCEP, 9 punti COADS, i punti a terra all'interno delle sub-aree dei dati da modello non sono stati considerati).

I pannelli a sinistra della Figura 11 mostrano la pressione a livello del mare, confrontando dati ERA-15 e COADS. Anche a questa scala l'andamento di questa variabile risulta molto simile, anche se non è presente la quasi perfetta corrispondenza di valori che si riscontrava per le medie a scala più larga. Gli andamenti sono molto simili, i massimi (83,89,92,93) ed i minimi (79,82,86), sono generalmente riportati da entrambe le variabili e corrispondono a quelli già trovati in area Adriatica (Figura 9) ed in tutto il Mediterraneo (Figura 4).

Per quello che riguarda la copertura nuvolosa (pannelli a destra della Figura 11, Figura 12 e **Figura 13**), anche in questa area il modello NCEP, rispetto agli altri due *dataset*, sottostima la variabilità intra ed interannuale. La differenza di stime è bene evidenziata nella serie di 38 anni in **Figura 13**. Alcuni anni particolari possono comunque essere identificati. Tutti e tre i *dataset*, ad esempio, rilevano i minimi dell'estate dell'84 e dell'88 (Figura 11 e Figura 12); questi minimi sono presenti anche nell'area Adriatica (Figura 8 e Figura 9) e nel Mediterraneo occidentale (Figura 7).

Nei pannelli a sinistra della Figura 12 è mostrato lo sforzo del vento da dati ERA-15 ed NCEP. Anche se la tendenza generale è simile in entrambi i modelli, è chiaramente visibile la tendenza da parte dell'NCEP a sovrastimare i massimi invernali rispetto all'ERA-15 (o viceversa), come già visto nel caso dell'area Adriatica (Figura 9). Anche in questo caso gli anni anomali sono individuati da entrambi i modelli: negli inverni dell'81, dell'82 e del 92 l'area di Napoli (come l'intero Mediterraneo, Figura 5) è stata spazzata da venti forti, mentre negli inverni 79, 91, 93 lo sforzo del vento è stato inferiore alla media.

## **CONCLUSIONI**

In conclusione si può affermare che la scelta di un *dataset* appropriato per l'analisi della relazione tra variabili climatiche e variabilità planctonica non può avere una risposta univoca, ma va fatta tenendo conto di diversi fattori:

1. La copertura temporale: essendo le serie planctoniche iniziate nel 1970 o negli anni 80 ed essendo tuttora attive, la consistenza temporale data dai *dataset* NCEP e COADS (se non ci sono troppi dati mancanti nel periodo ed area richiesti) è probabilmente più importante della migliore qualità del modello ERA-15 (1979-93), specie in considerazione della variabilità inerente alle serie planctoniche. L'alternativa di unire le *analysis* degli anni successivi alla *reanalysis* ERA-15, specie tenendo in considerazione che negli anni successivi al 93 sono

cambiati sia i modelli di assimilazione (sebbene di poco), che la griglia, è considerata dagli autori non appropriata per studi orientati verso l'identificazione di correlazioni di variabilità temporali. Le *reanalysis* dell'ERA-40 (che sono in fase di completamento) saranno invece estremamente appropriate.

2. La frequenza temporale: per analisi in cui si richiede alta frequenza (per esempio, investigare l'effetto di luce e pressione nei giorni precedenti una fioritura planctonica), solo i dati da modello (*analysis o reanalysis*) possono offrire la frequenza appropriata (COADS è solo mensile).
3. La disponibilità e qualità delle variabili: i tre *dataset* non hanno le stesse variabili, per esempio, ECMWF non produce SST e i COADS non forniscono *wind stress* ma *pseudostress*. Inoltre, come discusso in precedenza, non tutte le variabili sono predette bene dal modello. Se nel caso della pressione sul livello del mare si può utilizzare praticamente qualsiasi dato, osservato o da modello, nel caso di variabili difficili da modellizzare, come la copertura nuvolosa, la scelta va valutata caso per caso ed area per area, tenendo anche presente che il modello NCEP è centrato in Nord America, mentre il modello ECMWF è centrato in Europa, e pertanto più attendibile in quest'area.
4. La scala spaziale di interesse: come abbiamo visto nei paragoni a scala larga e scale ridotte, il relativo peso degli argomenti riportati sopra varia a seconda della scala scelta. Se la scala è molto ampia (bacino e sub-bacino), la scelta del *dataset* può essere fatta su considerazioni logistiche (per esempio: lunghezza della serie temporale). Ma se la scala spaziale è ridotta, la qualità del modello nel predire la variabile diventa determinante: per esempio nel caso di copertura nuvolosa, la divergenza del NCEP con gli altri *dataset*, suggerisce di non utilizzarlo per questa variabile anche se il periodo disponibile è più lungo di quello degli ERA-15. Infine, se occorre utilizzare un'area puntuale (per esempio il punto più vicino ad una stazione planctonica costiera) anziché un'area, solo i dati osservati (COADS) sono appropriati.

## RINGRAZIAMENTI/ACKNOWLEDGEMENTS

Gli autori ringraziano il programma nazionale SINAPSI-Ecosistemi Marini (a sua volta finanziato dal MIUR, Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca), per il finanziamento parziale di questo lavoro.

Gli autori sono grati alle seguenti persone per il loro utili commenti ed il loro contributo: Simone Campagna, Sergio Castellari, Susanna Corti, Encho Demirov, Silvio Gualdi, Luca Giacomelli e Serena Fonda-Umani.

I dati COADS utilizzati in questo rapporto sono stati gentilmente forniti dal NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA, tramite il loro sito web, <http://www.cdc.noaa.gov/>.

Le *Reanalysis* NCEP utilizzate in questo rapporto sono state gentilmente fornite dal NOAA-CIRES ESRL/PSD Climate Diagnostics branch, Boulder, Colorado, USA, tramite il loro sito web, <http://www.cdc.noaa.gov/>.

Le *Reanalysis* ERA-15 utilizzate in questo rapporto sono state gentilmente fornite dal CINECA (<http://www.cineca.it/>), tramite il servizio ADAMO, dalla fonte originale ECMWF (<http://www.ecmwf.int/>).

===

The authors acknowledge the Italian Programme SINAPSI-Ecosistemi Marini for partial funding of their work.

The authors thank for their helpful input and insight Simone Campagna, Sergio Castellari, Susanna Corti, Encho Demirov, Silvio Gualdi, Luca Giacomelli and Serena Fonda-Umani.

The COADS data used in this report were kindly provided by the NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at <http://www.cdc.noaa.gov/>.

The NCEP Reanalysis data were kindly provided by the NOAA-CIRES ESRL/PSD Climate Diagnostics branch, Boulder, Colorado, USA, from their Web site at <http://www.cdc.noaa.gov/>.

The ERA-15 Reanalysis data were kindly provided by CINECA (<http://www.cineca.it/>) through their service ADAMO, from the original ECMWF source (<http://www.ecmwf.int/>)



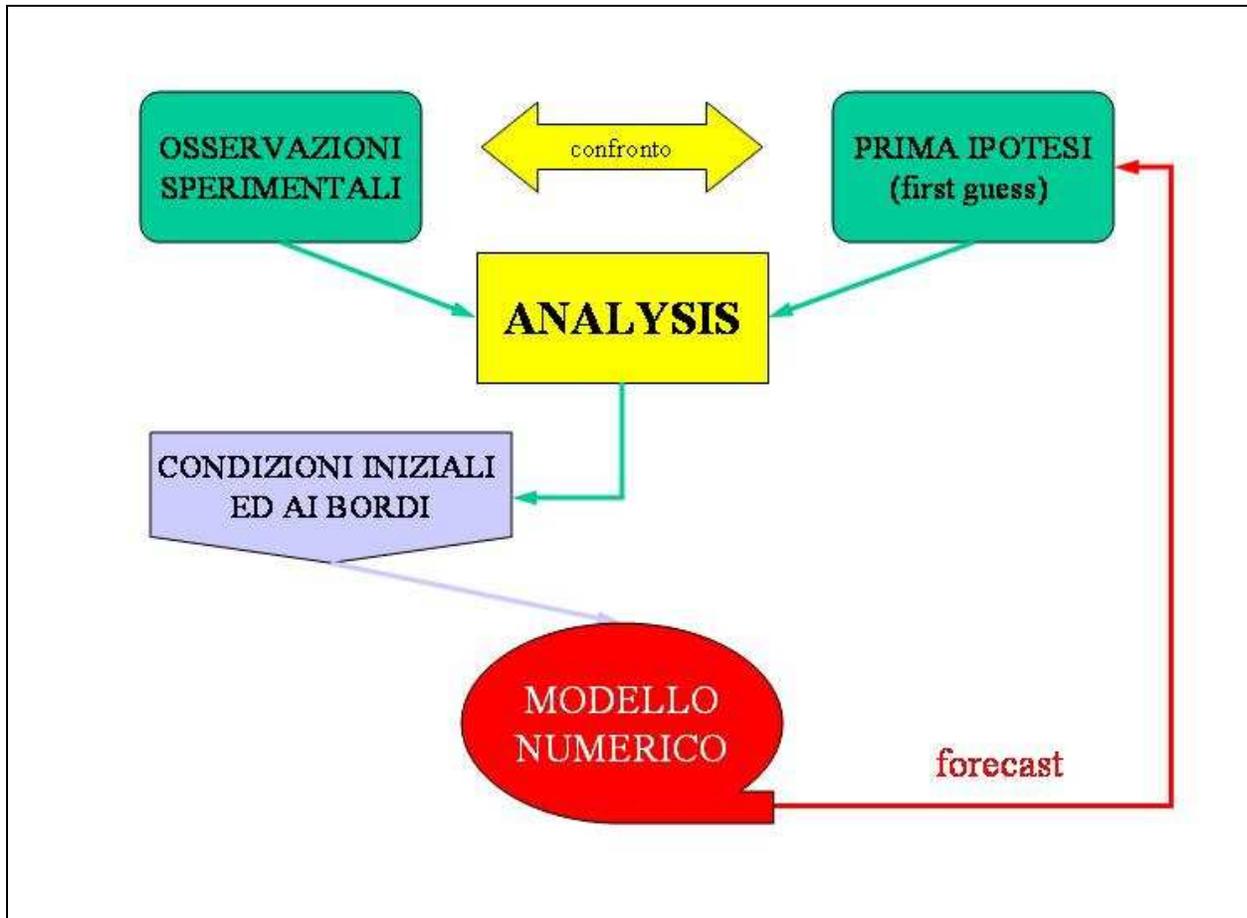


Figura 3. Diagramma di flusso per ottenere un *Analysed* o un *ReAnalysed dataset*

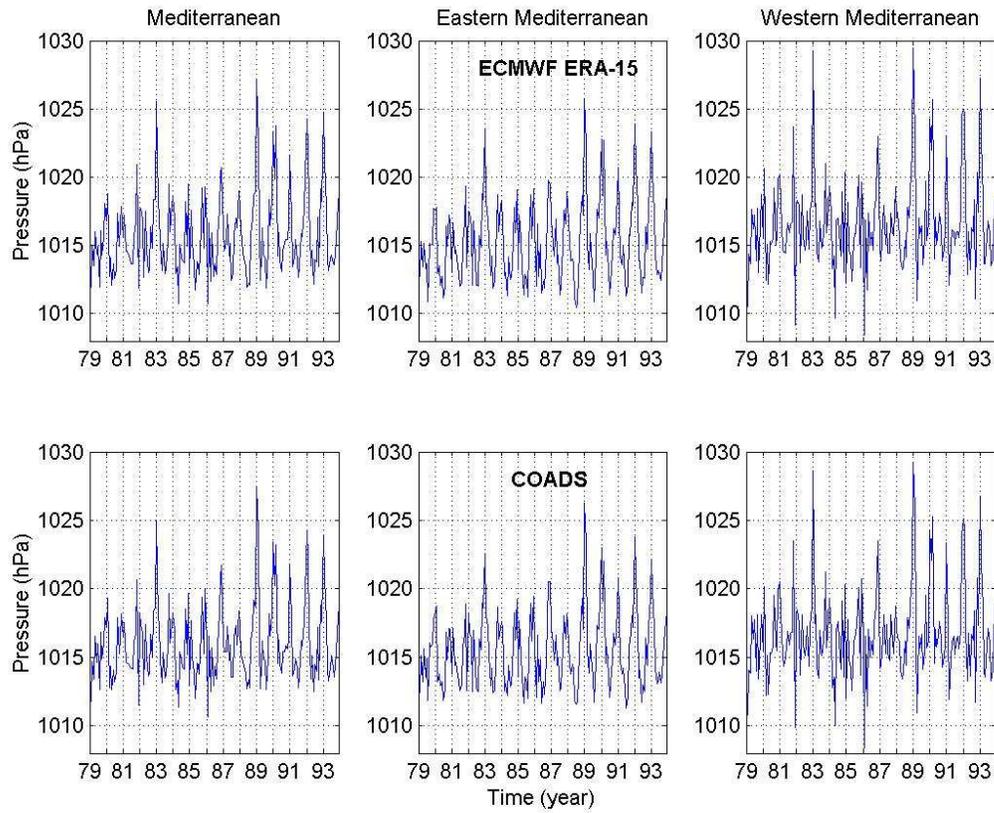


Figura 4. Confronto medie mensili ERA-15 e COADS della pressione a livello del mare mediate sull'intero Mediterraneo, sul Mediterraneo Orientale e sul Mediterraneo Occidentale.

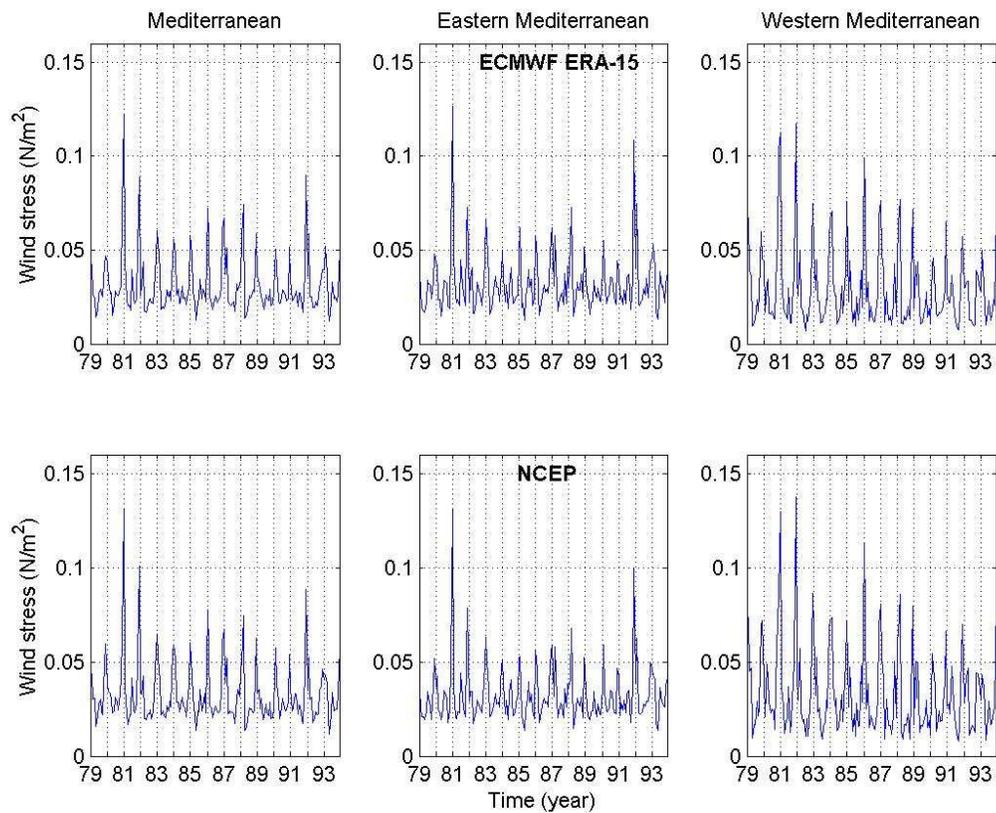


Figura 5. Medie mensili ERA-15 e NCEP dello sforzo del vento in superficie mediate sull'intero Mediterraneo, sul Mediterraneo orientale e sul Mediterraneo occidentale

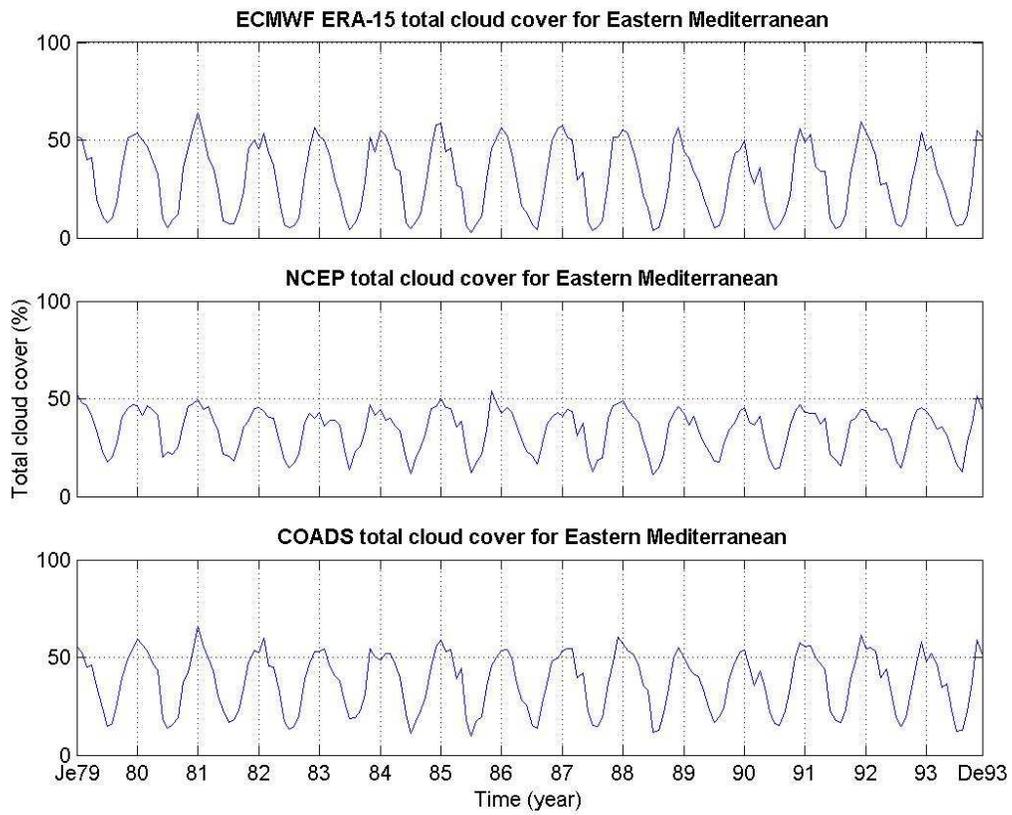


Figura 6. Medie mensili ERA-15, NCEP e COADS della copertura nuvolosa totale sul Mediterraneo orientale

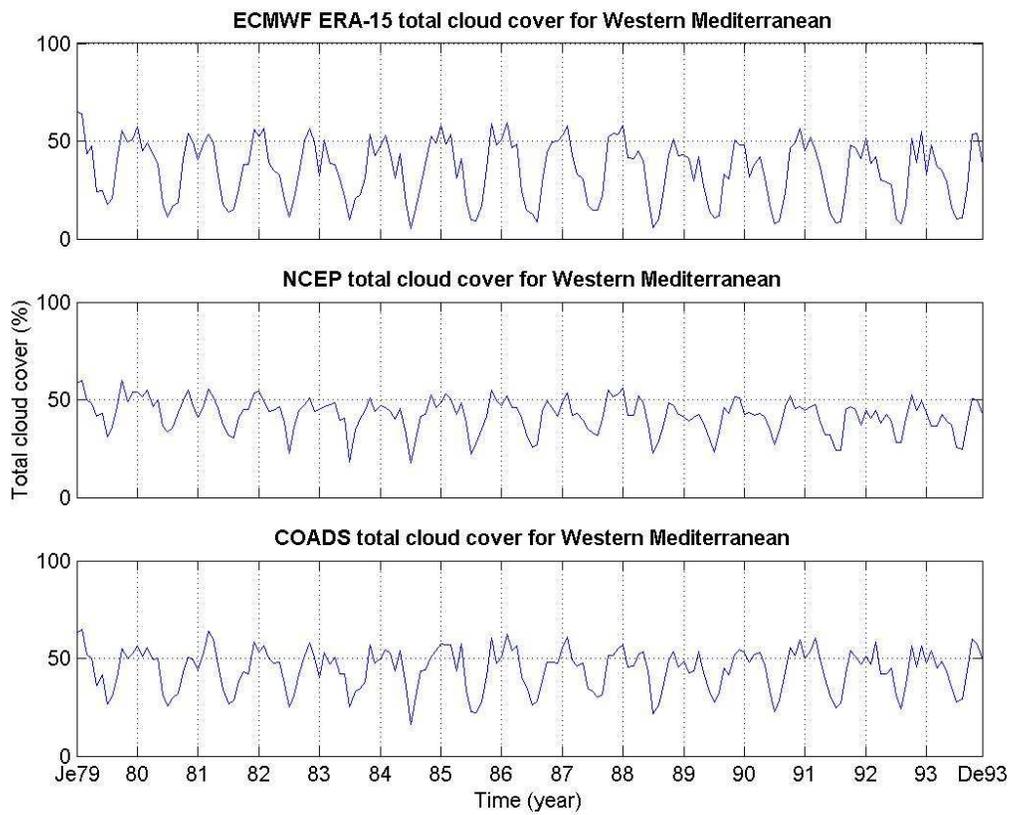


Figura 7. Medie mensili ERA-15, NCEP e COADS della copertura nuvolosa totale sul Mediterraneo occidentale

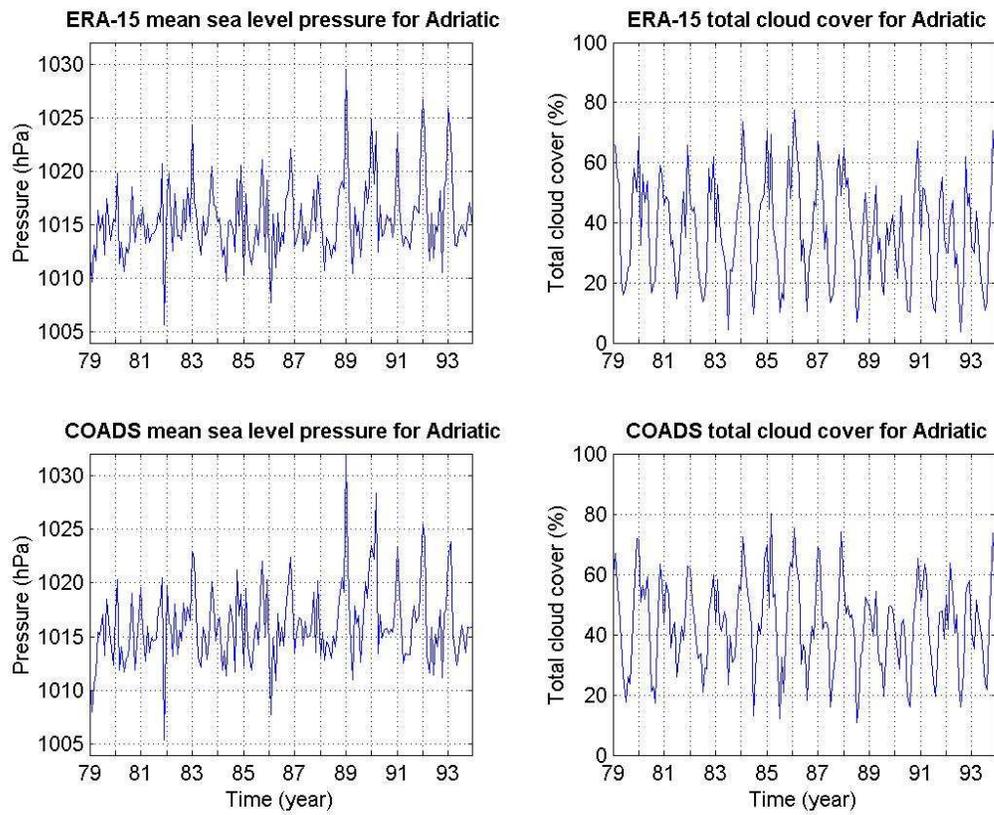


Figura 8. Medie mensili ERA-15 e COADS della pressione a livello del mare e della copertura nuvolosa totale nel Mare Adriatico

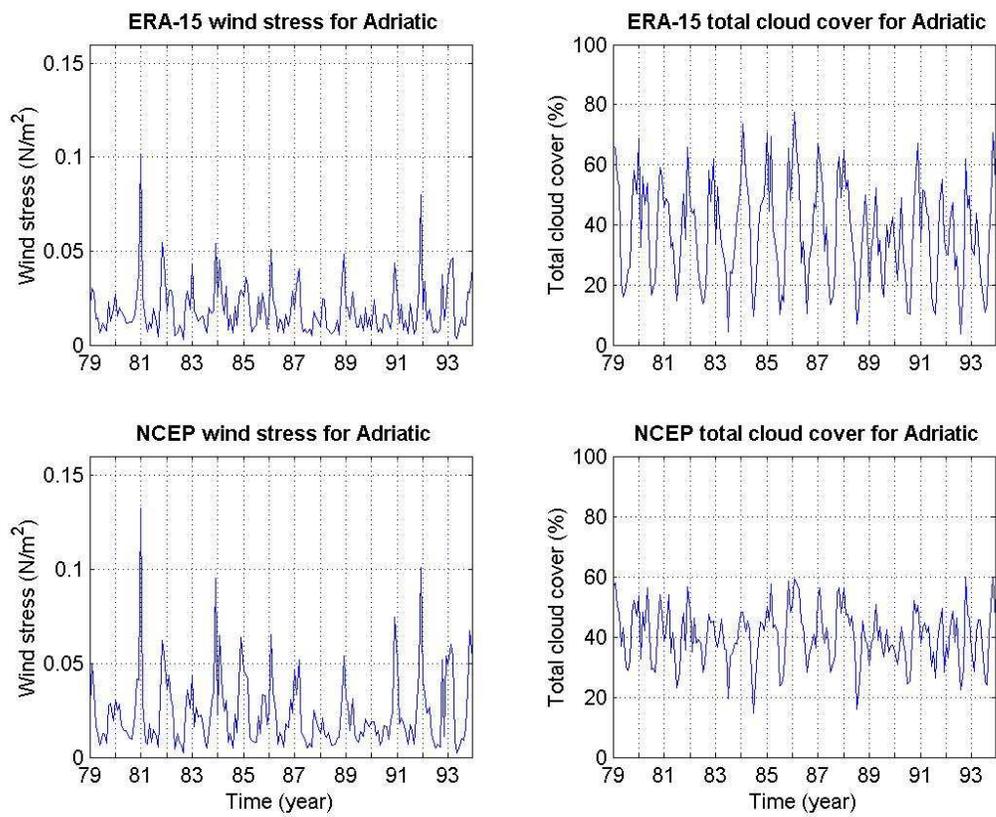


Figura 9. Medie mensili ERA-15 e NCEP della sforzo superficiale del vento e della copertura nuvolosa totale nel Mare Adriatico

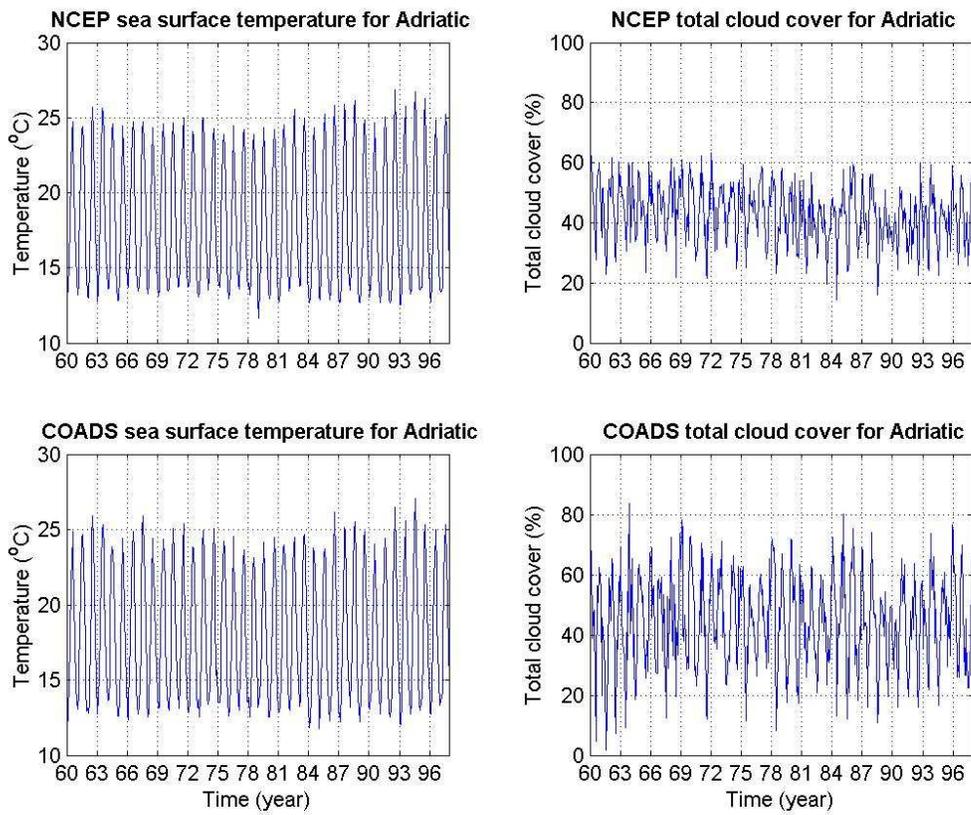


Figura 10. Medie mensili NCEP e COADS su 38 anni della temperatura di superficie e della copertura nuvolosa totale nel Mare Adriatico

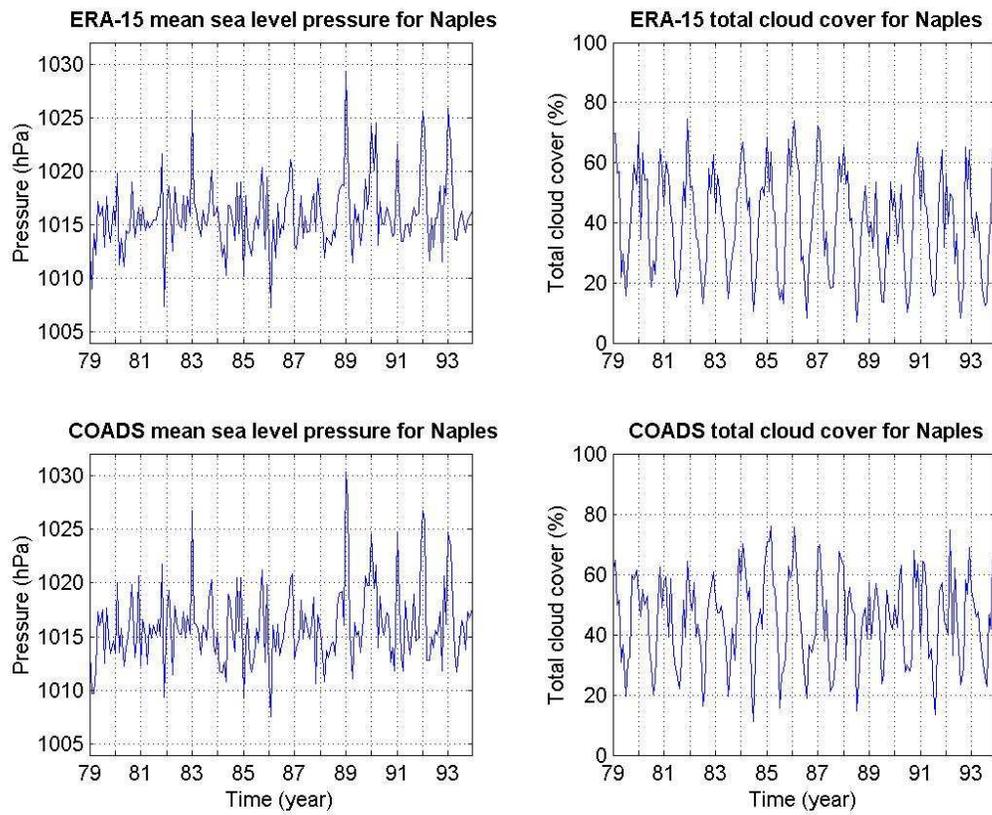


Figura 11. Medie mensili ERA-15 e COADS della pressione a livello del mare e della copertura nuvolosa totale nel Golfo di Napoli

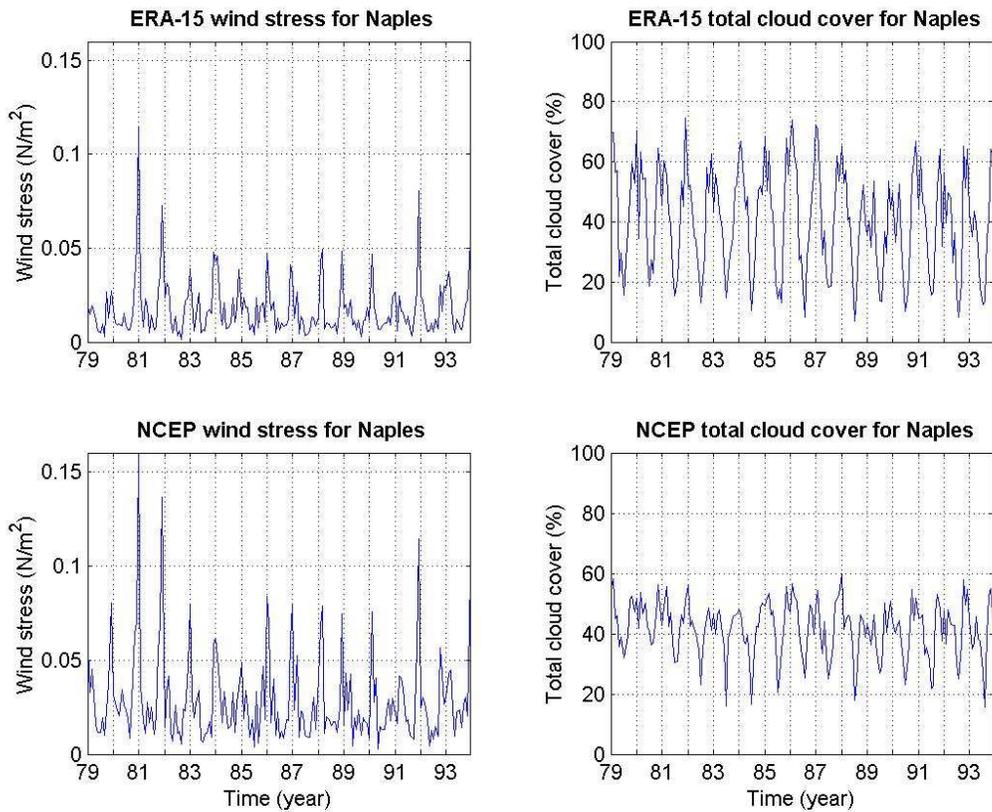


Figura 12. Medie mensili ERA-15 e NCEP della sforzo superficiale del vento e della copertura nuvolosa totale nel Golfo di Napoli

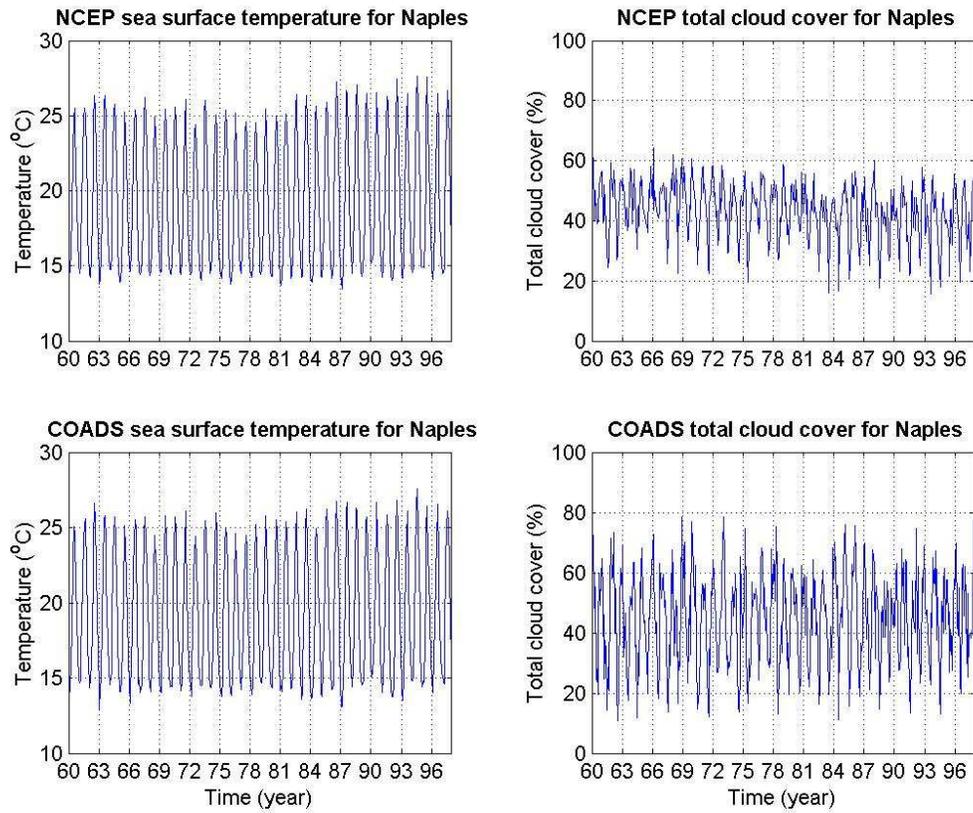


Figura 13. Medie mensili NCEP e COADS su 38 anni della temperatura di superficie e della copertura nuvolosa totale nel Golfo di Napoli

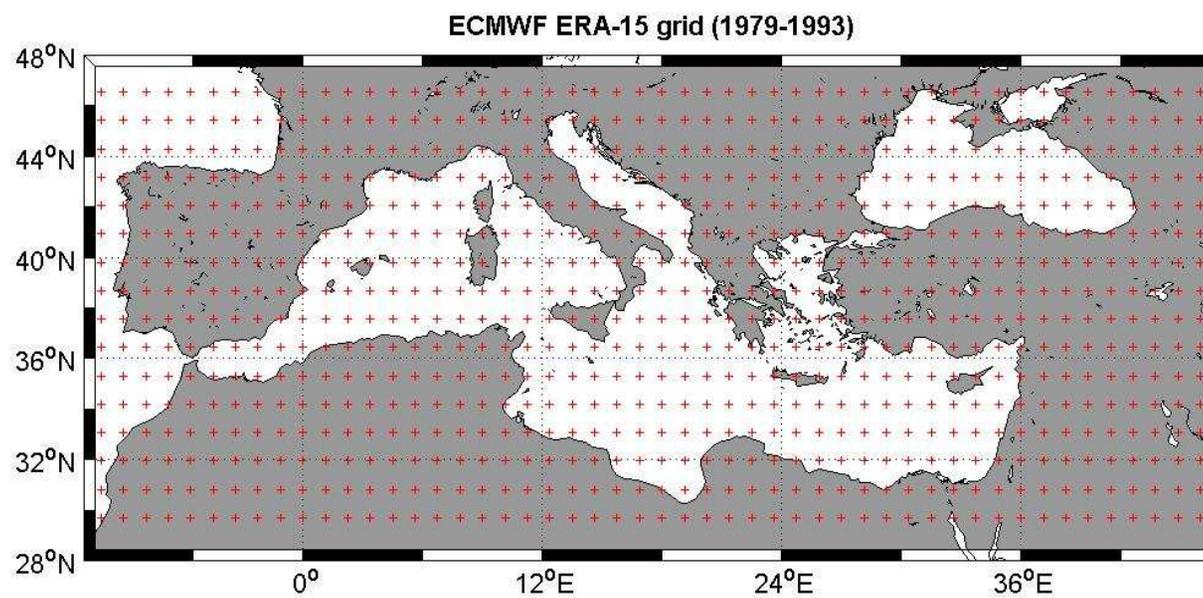


Figura 14. Punti di griglia per il *dataset* ERA-15.

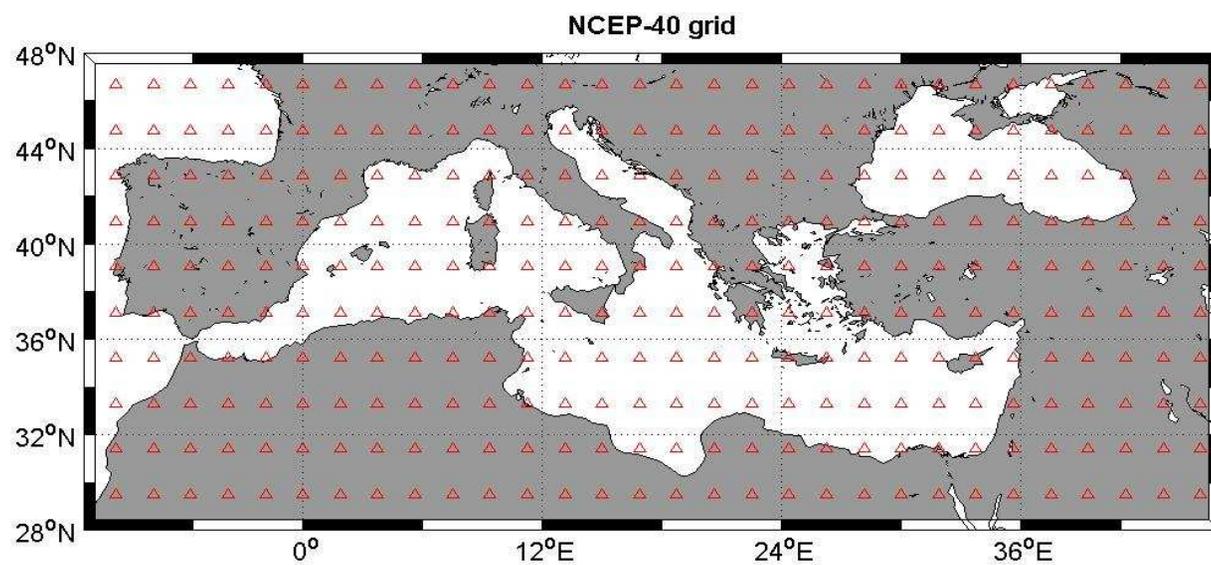


Figura 15. Punti di griglia per il *dataset* NCEP.

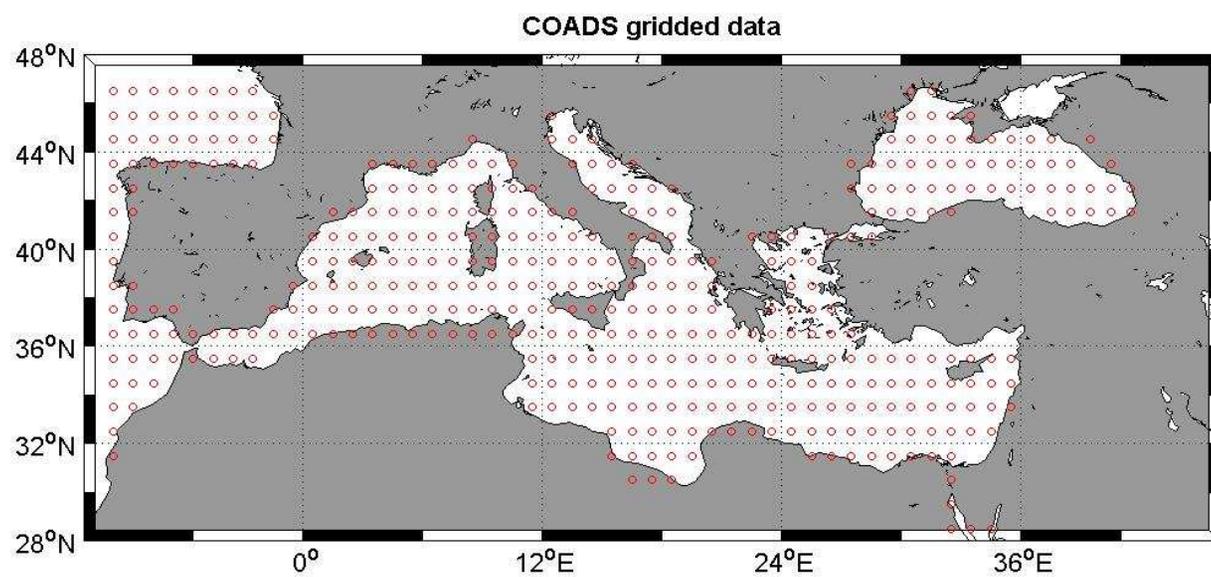


Figura 16. Punti di griglia per il *dataset* COADS (solo dati marini).

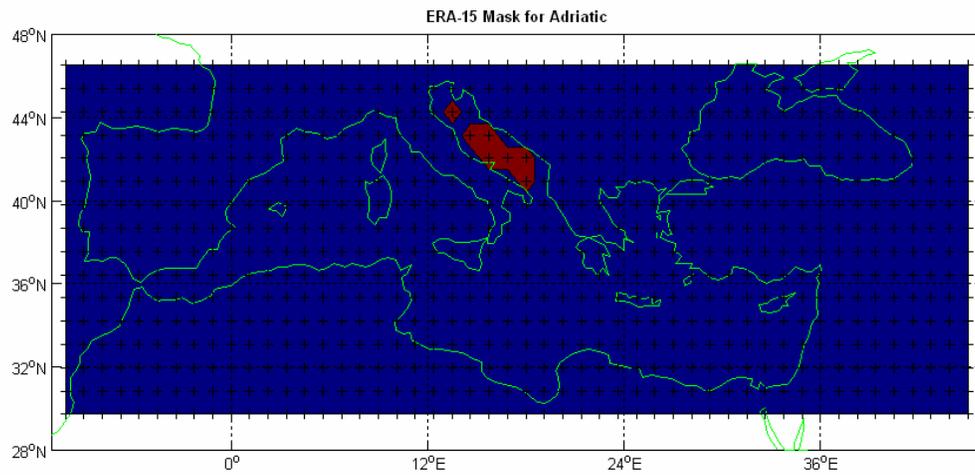
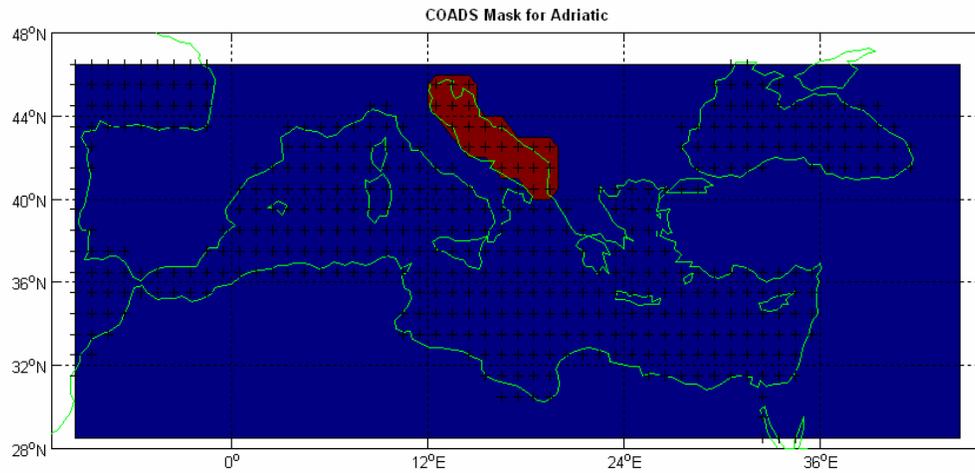


Figura 17 e Figura 18. Maschere utilizzate per mediare sull'area adriatica per i diversi *dataset*.

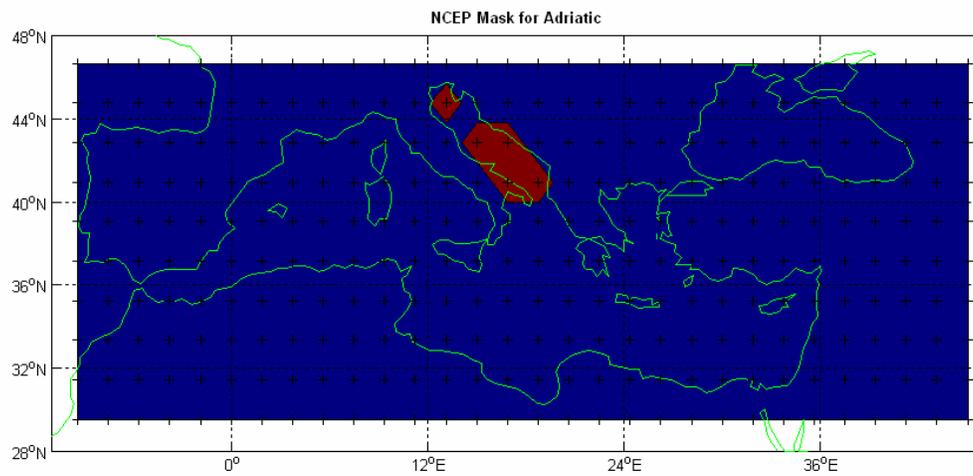


Figura 19. Maschere utilizzate per mediare sull'area adriatica per i diversi *dataset*.

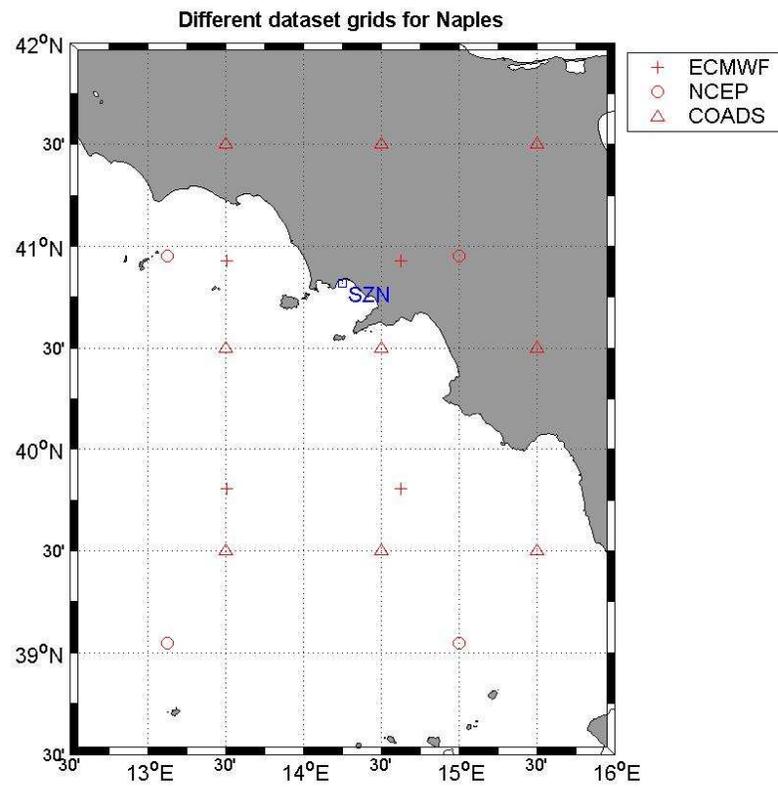


Figura 20. Punti di griglia per i tre *dataset* per l'area contenente il Golfo di Napoli.

Database	Variabile	Periodo	Frequenza	Area	Risoluzione
<b>COADS</b>	air temperature (A)	1960 - 1997	Medie mensili	Globale	1° x 1°
Gridded data	total cloudiness (C)	"	"	"	"
Comprehensive	scalar wind (W)	"	"	"	"
Ocean	U-wind (U)	"	"	"	"
Atmospheric	V-wind (V)	"	"	"	"
Data	U-wind pseudo stress (X=WU)	"	"	"	"
Set	V-wind pseudo stress (Y=WV)	"	"	"	"
"	sea level pressure (P)	"	"	"	"
"	sea surface temperature (S)	"	"	"	"
"	sea air temperature difference (D=S-A)	"	"	"	"
"	evaporation parameter (G=FW)	"	"	"	"
"	U-sensible heat parameter (I=UA)	"	"	"	"
"	V-sensible heat parameter (J=VA)	"	"	"	"
"	U-latent heat parameter (K=UQ)	"	"	"	"
"	V-latent heat parameter (L=VQ)	"	"	"	"
<b>ECMWF</b>	2 m temperature	1979 - 1993	Medie mensili	Globale	1.1250° x 1.1213°
Monthly Reanalysis	total cloud cover	"	"	"	"
European	surface latent heat flux	"	"	"	"
Center	surface sensible heat flux	"	"	"	"
for Medium range	surface thermal radiation	"	"	"	"
Weather	surface solar radiation	"	"	"	"
Forecast	top solar radiation	"	"	"	"
<b>ERA 15</b>	top thermal radiation	"	"	"	"
"	10 m U-wind velocity	"	"	"	"
"	10 m V-wind velocity	"	"	"	"
"	East-West surface stress	"	"	"	"
"	Nord-Sud surface stress	"	"	"	"
"	mean sea level pressure	"	"	"	"
"	convective precipitation	"	"	"	"
"	large scale precipitation	"	"	"	"
"	evaporation	"	"	"	"
"	runoff	"	"	"	"
National Centers for	total cloud cover	1958 - 1998	Medie mensili"	Globale	1.875°x 1.905°"
Environmental Prediction	surface latent heat flux	"	"	"	"
40 years Reanalysis	surface sensible heat flux	"	"	"	"
<b>NCEP</b>	surface net long wave radiation flux	"	"	"	"
"	surface net short wave radiation flux	"	"	"	"
"	surface upward short wave radiation flux	"	"	"	"
"	surface upward long wave radiation flux	"	"	"	"
"	top atm. downward short wave radiation flux	"	"	"	"
"	top atm. upward short wave radiation flux	"	"	"	"
"	top atm. upward long wave radiation flux	"	"	"	"
"	10 m U-wind velocity	"	"	"	"
"	10 m V-wind velocity	"	"	"	"
"	East-West surface stress	"	"	"	"
"	Nord-Sud surface stress	"	"	"	"
"	surface pressure	"	"	"	"
"	convective precipitation	"	"	"	"
"	total precipitation	"	"	"	"
"	corrected precipitation	"	"	"	"
"	runoff	"	"	"	"
"	sea surface temperature	"	"	"	"

Tab. 1. Metadatabase dei tre dataset considerati

## APPENDICE: Estensione Serie COADS

[http://www.cdc.noaa.gov/coads/e-doc/update\\_status](http://www.cdc.noaa.gov/coads/e-doc/update_status)

International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (I-COADS): Release 2.0  
Update Status 31 January 2003

---

*Document Revision Information (previous version: 9 September 2002): Changes in the schedule and scope of post-1997 near-real-time products.*

I-COADS observational products presently are available for 1784-1997, 2-degree monthly summaries for 1800-1997, and 1-degree summaries for 1960-97. These highly processed observations and products are known as the I-COADS delayed-mode (I-COADS.DM) archive, currently at Release 2.0. (Note that data from 1784 through the early 1800s are extremely sparse--based on scattered ship voyages.)

By the end of 2003, we hope to complete an update of I-COADS for 1998-2002, based on data from the Global Telecommunications System (GTS). Work also is underway to begin creating monthly updates in near-real-time (eventually within five days after the end of each data month). This (1997-forward) I-COADS "real-time" product line will be known as I-COADS.RT, and is planned to provide complete observational data, but only selected monthly summaries. Periodically, new I-COADS.DM Releases incorporating delayed-mode data and offering complete products, will replace the earlier portions of I-COADS.RT.

Meanwhile, individual GTS ship and buoy reports from NOAA's National Centers for Environmental Prediction (NCEP), known as NCEP real-time (NRT) data can be obtained (via ftp or browser access) in an abbreviated ascii format (starting in 1991) as described in this document (updated weekly and monthly): [http://www.cdc.noaa.gov/coads/ncep\\_obs/README](http://www.cdc.noaa.gov/coads/ncep_obs/README)

This abbreviated format contains only major meteorological elements, lacking for instance complete cloud elements and wave and swell fields. Also, it has not been subjected to I-COADS quality controls.

Preliminary 2-degree monthly summaries based on the NRT reports ("NCEP Real-time Marine Data") become available (via ftp or browser access) about 2-5 days after the end of each data month in netCDF format (starting in 1991) at this location:

<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.nmc.marine.html>, or in a simple ascii format (starting in 1998) as described here:

<http://www.cdc.noaa.gov/Datasets/ncep.marine/ascii/README>

These summaries include 13 variables, with just two statistics (the mean and number of observations) for each variable. Also, although they are on the same I-COADS 2-degree grid, the summaries differ from regular I-COADS (standard and enhanced) statistics in that they are: a) based on all platform types; and b) trimmed using 3.5 standard-deviation limits (based on Release 1 1950-79 data). Thus they are more compatible in data mixture and quality control with the original Release 1 (1854-1979) statistics than with current standard and enhanced products.

Note: Once fully operational, the I-COADS.RT processing will provide ongoing extensions of I-COADS, allowing us eventually to phase out the NRT processing.

For earlier periods, our plan is to make available some critical new data sources that likely represent unique new data as "add-ons" (in I-COADS formats, and with limited quality control) prior to merger in new I-COADS.DM Releases.

## LINKS BIBLIOGRAFICI (capitoli di libro disponibili in rete)

Drinkwater *et al.* (2003): <http://www.geo.cornell.edu/pershing/papers/docs/AGUNAOCH10.pdf>

Hurrell *et al.* (2003): <http://www.ldeo.columbia.edu/~visbeck/pdf/CH1.pdf>

Stephenson *et al.* (2003): <http://www.met.rdg.ac.uk/cag/publications/agu2002.pdf>

Visbeck *et al.* (2003): [http://rainbow.ldeo.columbia.edu/papers/ocean\\_chapter-5.pdf](http://rainbow.ldeo.columbia.edu/papers/ocean_chapter-5.pdf)

## BIBLIOGRAFIA

Aebischer N.J., J.C.Coulson and J.M.Colebrook, 1990. Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. *Nature* **347**:753-755.

Astraldi M., S.Balopoulos, J.Candela, J.Font *et al.*, 1999. The role of straits and channels in understanding the characteristics of Mediterranean circulation. *Progress In Oceanography* **44**:65-108.

Batten S.D. and D.W.Welch, 2004. Changes in oceanic zooplankton populations in the north-east Pacific associated with the possible climatic regime shift of 1998/1999. *Deep-Sea Research (II)* **51**:863-873.

Beaugrand G., 2003. Long-term changes in copepod abundance and diversity in the north-east Atlantic in relation to fluctuations in the hydroclimatic environment. *Fish. Oceanogr.* **12**:270-283.

Beaugrand G. and P.C.Reid, 2003. Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. *Global Change Biology* **9**:801-817.

Bethoux J.P., B.Gentili, P.Morin, E.Nicolas *et al.*, 1999. The Mediterranean Sea: a miniature ocean for climatic and environmental studies and a key for the climatic functioning of the North Atlantic. *Progress In Oceanography* **44**:131-146.

Brankart J.M. and N.Pinardi, 2001. Abrupt cooling of the mediterranean levantine intermediate water at the beginning of the 1980s: Observational evidence and model simulations. *J. Phys. Oceanogr.* **31**:2307-2320.

Castellari S. and R.Archetti, 2000. A study of the interannual variability of ECMWF surface re-analysis meteorological fields over the Mediterranean Basin for the period 1979-1993. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica C* **23**:227-250.

Cataletto B., E.Feoli, S.Fonda Umani and C.Sun, 1995. Eleven years of time-series analysis on the net-zooplankton community in the Gulf of Trieste. *ICES J. mar. Sci.* **52**:669-678.

Chelton D.B., 1982. Large-scale climatic variability of the physical and biological oceanography of the California Current. 155-169.

Colebrook J.M., 1978. Continuous Plankton Records: zooplankton and environment, North- East Atlantic and North Sea, 1948-1975. *Oceanol. Acta* **1(1)**:9-23.

Conversi A. and S.Hameed, 1997. Evidence for quasi biennial oscillations in zooplankton biomass in the subarctic Pacific. *J. Geophys. Res.* **102**:15,659-15,665.

Conversi A. and S.Hameed, 1998. Common signals between physical and atmospheric variables and zooplankton biomass in the subarctic Pacific. *ICES J. mar. Sci.* **55**:739-747.

Conversi A., S.Piontkovski and S.Hameed, 2001. Seasonal and interannual dynamics of *Calanus finmarchicus* in the Gulf of Maine (Northeastern US shelf) with reference to the North Atlantic Oscillation. *Deep-Sea Research (II)* **48**:519-530.

CPR Survey Team, 1992. Continuous plankton records: The North sea in the 1980s. *ICES mar. Sci. Symp.* **195**:243-248.

Crise A., G.Crispi, R.Mosetti, C.Solidoro *et al.*, 1999. The Mediterranean pelagic ecosystem response to physical forcing. *Progress In Oceanography* **44**:219-243.

Cushing D.H., 1990. Recent studies on long-term changes in the sea. *Freshwater Biology* **23**(1):71-84.

Demirov E. and N.Pinardi, 2002. Simulation of the Mediterranean Sea circulation from 1979 to 1993: Part I. The interannual variability. *J. Mar. Sys.* **33- 34**:23-50.

Dickson R.R., P.M.Kelly, J.M.Colebrook, W.S.Wooster *et al.*, 1988. North winds and production in the eastern North Atlantic. *J. Plankton Res.* **10**(1):151-169.

Dickson R.R., J.R.N.Lazier, J.Meinke, P.Rhines *et al.*, 1996. Long-term coordinated changes in the convective activity of the North Atlantic. *Prog. Oceanog.* **38**:241-295.

Drinkwater K.F., A.Belgrano, A.Borja, A.Conversi *et al.*, 2003. The response of marine ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. 211-234.

Edwards M., P.Reid and B.Planque, 2001. Long-term and regional variability of phytoplankton biomass in the Northeast Atlantic (1960-1995). *ICES Journal of Marine Science* **58**:39-49.

Fromentin J.M. and B.Planque, 1996. *Calanus* and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **134**:111-118.

Gallego A., J.Mardaljevic, M.R.Heath, D.Heinbucher *et al.*, 1999. A model of the spring migration into the North Sea by *Calanus finmarchicus* overwintering off the Scottish continental shelf. *Fish. Oceanogr.* **8**:107-125.

Gibson J.K., P.Källberg, S.Uppala, A.Hernandez *et al.*, 1999. ERA - ECMWF Re-Analysis Project Report Series 1. ERA-15 Description (Version 2 - January 1999). 1-74.

Greene C.H., A.J.Pershing, A.Conversi, B.Planque *et al.*, 2003. Trans-Atlantic responses of *Calanus finmarchicus* populations to basin-scale forcing associated with the North Atlantic Oscillation. *Progress In Oceanography* **58**:301-312.

Hare S.R. and N.J.Mantua, 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress In Oceanography* **47**:103-145.

- Heath M.R., J.O.Backus, E.McKenzie, E.McKenzie *et al.*, 1999. Climate fluctuations and the spring invasion of the North Sea by *Calanus finmarchicus*. *Fish. Oceanogr.* **8**:163-176.
- Hurrell J.W., 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science* **269**:676-679.
- Hurrell J.W., Y.Kushnir, G.Ottersen and M.Visbeck, 2003. An Overview of the North Atlantic Oscillation. 1-35.
- Hurrell J.W., Y.Kushnir and M.Visbeck, 2001. The North Atlantic Oscillation. *Science* **291**:603-605.
- Hurrell J.W. and H.van Loon, 1997. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation. *Clim. Change* **36**:301-326.
- Johnson R.G., 1997. Ice age initiation by an ocean-atmospheric circulation change in the Labrador Sea. *Earth and Planetary Science Letters* **148**:367-379.
- Jones P.D., T.Jonsson and D.Wheeler, 1997. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from gibraltar and south-west Iceland. *International Journal of Climatology* **17**:1433-1450.
- Kalnay E., M.Kanamitsu, R.Kistler, W.Collins *et al.*, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* **77**:437-471.
- Korres G., A.Lascaratos and N.Pinardi, 2000a. The ocean response to low-frequency interannual atmospheric variability in the Mediterranean Sea. Part I: Sensitivity experiments and energy analysis. *J. Climate* **13**:705-731.
- Korres G., A.Lascaratos and N.Pinardi, 2000b. The ocean response to low-frequency interannual atmospheric variability in the Mediterranean Sea. Part II: Empirical orthogonal functions analysis. *J. Climate* **13**:732-745.
- Lascaratos A., W.Roether, B.Klein and K.Nittis, 1999. Recent changes in deep water formation and spreading in the Eastern Mediterranean Sea: A review. *Progress In Oceanography* **44**:5-36.
- Licandro P. and F.Ibanez, 2000. Changes of zooplankton communities in the Gulf of Tigullio (Ligurian Sea, Western Mediterranean) from 1985 to 1995. Influence of hydroclimatic factors. *J. Plankton Res.* **22**:2225-2253.
- Licandro P., F.Ibanez, A.Conversi and J.Jossi, 2001a. Time series analysis of interrupted long-term data set (1961-1991) of zooplankton abundance in Gulf of Maine (northern Atlantic, USA). *Oceanol. Acta* **24**:453-466.
- Licandro P., F.Ibanez and T.Zunini Sertorio, 2001b. Long term variations of zooplankton in the Ligurian Sea (Western Mediterranean). *Archo Oceanogr. Limnol.* **22**:159-166.
- Mackas D.L., W.T.Peterson and J.E.Zamon, 2004. Comparisons of interannual biomass anomalies of zooplankton communities along the continental margins of British Columbia and Oregon. *Deep-Sea Research (II)* **51**:875-896.

- Malanotte-Rizzoli P., B.B.Manca, M.R.D'Alcala, A.Theocharis *et al.*, 1999. The Eastern Mediterranean in the 80s and in the 90s: The big transition in the intermediate and deep circulations. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* **29**:365-395.
- Marty J.C., J.Chiaverini, M.D.Pizay and B.Avril, 2002. Seasonal and interannual dynamics of nutrients and phytoplankton pigments in the western Mediterranean Sea at the DYFAMED time-series station (1991-1999). *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **49**:1965-1985.
- McGowan J.A., 1984. The California El Nino,1983. *Oceanus* **27**(2):48-51.
- McGowan J.A., D.R.Cayan and L.M.Dorman, 1998. Climate-ocean variability and ecosystem response in the northeast Pacific. *Science* **281**:210-217.
- Ottersen G., B.Planque, A.Belgrano, Post E. *et al.*, 2001. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. *Oecologia* **128**:1-14.
- Peterson W.T. and F.B.Schwing, 2003. A new climate regime in northeast pacific ecosystems. *Geophysical Research Letters* **30**:
- Pinardi N., G.Korres, A.Lascaratos, V.Roussenov *et al.*, 1997. Numerical simulation of the interannual variability of the Mediterranean Sea upper ocean circulation. *Geophysical Research Letters* **24**:425-428.
- Pinardi N. and E.Masetti, 2000. Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: A review. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **158**:153-174.
- Raich F., N.Pinardi and A.Navarra, 2003. Teleconnections between Indian monsoon and Sahel rainfall and the Mediterranean. *International Journal of Climatology* **23**:173-186.
- Rebstock G.A. and Y.S.Kang, 2003. A comparison of three marine ecosystems surrounding the Korean peninsula: Responses to climate change. *Progress In Oceanography* **59**:357-379.
- Reid P.C., B.Planque and M.Edwards, 1998. Is observed variability in the long-term results of the Continuous Plankton Recorder survey a response to climate change? *Fish. Oceanogr.* **7**:282-288.
- Ribera d'Alcala M., F.Conversano, F.Corato, P.Licandro *et al.*, 2004. Seasonal patterns in plankton communities in pluriannual time series at a coastal Mediterranean site (Gulf of Naples): An attempt to discern recurrences and trends. *Scientia Marina* **68**:65-83.
- Richardson A.J. and D.S.Schoeman, 2004. Climate Impact on Plankton Ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science* **305**:1609-1612.
- Roether W., B.B.Manca, B.Klein, D.Bregant *et al.*, 1996. Recent Changes in Eastern Mediterranean Deep Waters. *Science* **271**:333-335.
- Rogers J.C., 1984. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the northern hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* **112**:1999-2015.
- Send U., J.Font, G.Krahmann, C.Millot *et al.*, 1999. Recent advances in observing the physical oceanography of the Western Mediterranean Sea. *Progress In Oceanography* **44**:37-64.

SINAPSI, 2002. SINAPSI/Marine Ecosystems: Relazione Scientifica I° anno. Allegato 2. 23-30.

Stephenson D.B., H.Wanner, S.Bronnimann and J.Luterbacher, 2003. The History of Scientific Research on the North Atlantic Oscillation. 37-50.

Taylor A.H. and J.A.Stephens, 1998. The North Atlantic Oscillation and the latitude of the Gulf Stream. *Tellus* **50A**:134-142.

Tsimplis M.N. and S.A.Josey, 2001. Forcing of the Mediterranean Sea by atmospheric oscillations over the North Atlantic. *Geophysical Research Letters* **28**:803-806.

van Loon H. and J.C.Rogers, 1978. The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I: General description. *Mon. Wea. Rev.* **106**:296-310.

Vignudelli S., G.P.Gasparini, M.Astraldi and M.E.Schiano, 1999. A possible influence of the North Atlantic Oscillation on the circulation of the Western Mediterranean Sea. *Geophysical Research Letters* **26**:623-626.

Visbeck M., E.P.Chassignet, R.Curry, T.Delworth *et al.*, 2003. The Ocean's Response to North Atlantic Oscillation Variability. 113-145.