

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE NATURALI

---

Corso di laurea in SCIENZE AMBIENTALI

ANALISI DEI REGIMI METEO-CLIMATICI  
DELL'AREA MEDITERRANEA

Tutore

Prof. NADIA PINARDI

Presentata da

NICOLETTA FABBRONI

II SESSIONE  
Anno Accademico 2001-2002

## INTRODUZIONE

Il Mar Mediterraneo è investito e forse partecipa alle anomalie atmosferiche di larga-scala. Sono state infatti trovate significative teleconnessioni o collegamenti dinamici che coinvolgono zone geograficamente lontane dal Mediterraneo stesso, influenzandone i regimi meteo-climatici estivi e invernali. Le diverse aree della Terra sono caratterizzate da una variabilità climatica, indotta non solo dal forzante solare e dall'interazione aria-terra-mare locale, ma anche da segnali provenienti da regioni remote, che si 'propagano' nell'area di interesse e ne influenzano il clima. Queste correlazioni planetarie tra diverse aree del globo prendono il nome di teleconnessioni.

Nel passato, vari autori hanno avanzato l'ipotesi che i regimi climatici del Mediterraneo fossero fortemente connessi ai regimi del Nord Atlantico (Wallace and Gutzler, 1981) e al regime monsonico indiano (Rodwell e Hoskins, 1995). L'ipotesi di una teleconnessione tra il settore Atlantico ed Europeo è nata dalle evidenti correlazioni negative esistenti tra le temperature medie superficiali della Groenlandia-Labrador e nord-ovest Europa e tra le pressioni a livello del mare dell'Islanda e l'ampia fascia che si estende dalla costa est degli Stati Uniti al Mediterraneo (Wallace and Gutzler, 1981). Già all'inizio del secolo Walker e Bliss (1932) consideravano le variazioni di temperatura superficiale e di pressione del Nord Emisfero manifestazioni della variabilità atlantica. Quindi per caratterizzare la climatologia dell'area Mediterranea bisogna studiare le teleconnessioni che quest'ultima sviluppa con la variabilità climatica planetaria. Mentre per i regimi climatici estivi si sono analizzate già in precedenza le strutture delle teleconnessioni con il Mare Mediterraneo attraverso una tesi (Stevanato, 1998), per i regimi invernali non è ancora stata fatta una analisi sistematica delle stesse.

Lo scopo della tesi è di analizzare la meteo-climatologia dell'area Mediterranea e di descrivere i regimi invernali, coinvolti in un sistema complesso di anomalie atmosferiche di scala globale. Dopo un breve sguardo ai regimi estivi del Mediterraneo è stata rivolta particolare attenzione alla climatologia invernale. Si analizzeranno i parametri atmosferici e oceanici di superficie al fine di descrivere i regimi invernali e si svilupperà lo studio delle correlazioni tra la North Atlantic Oscillation - NAO, sistema di variabilità climatica globale localizzata sull'Oceano Atlantico, e il Mediterraneo (Fig.1).

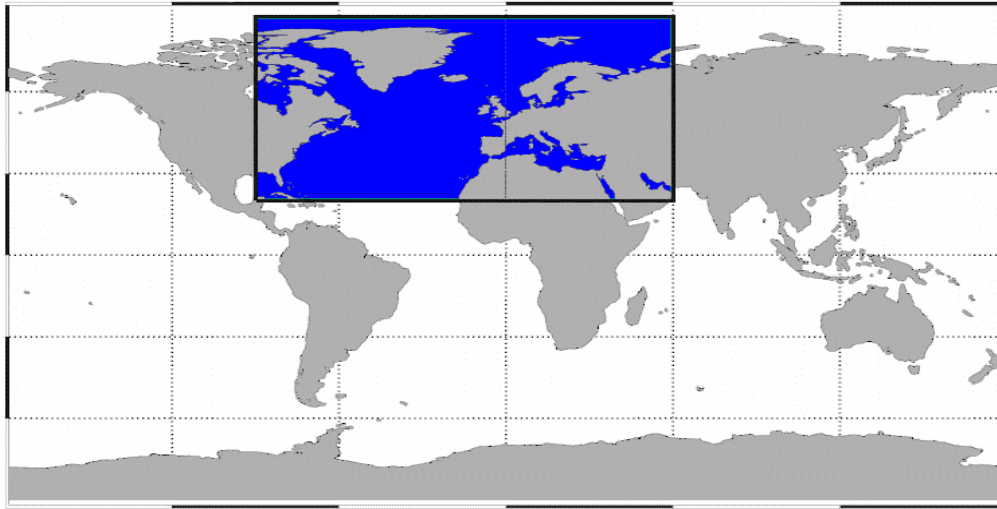


Fig.1: Rappresentazione dell'area di studio del Mediterraneo e le correlazioni con la variabilità Atlantica.  
Coordinate del dominio: Longitudine  $[-90.0, 60.0]$ , Latitudine  $[20.0, 87.5]$ .

## REGIMI ESTIVI: LE TELECONNESSIONI TRA MEDITERRANEO, INDIA E SAHEL

Studi precedenti hanno dimostrato che il Mediterraneo, in estate, partecipa ad un sistema climatico tropicale connesso ai regimi climatici del Monsone Indiano e del Sahel (Ward 1996, Stevanato 1998, Raicich et al, 2002).

In India ha luogo uno dei fenomeni meteorologici più rilevanti della Terra: il Monsone Indiano. Questo è caratterizzato da venti stagionali e da un'alternanza di massimi e minimi di precipitazione: umido in estate e secco in inverno.

Il Sahel, afflitto da una persistente siccità, è un'ampia regione dell'Africa sub-sahariana, caratterizzata da una forte variabilità stagionale ed interannuale delle precipitazioni che comunque prevalgono solo durante i mesi estivi.

Il Mediterraneo è influenzato dai segnali climatici prodotti dal Monsone Indiano durante la stagione estiva, periodo in cui presenta la minore precipitazione e il Sahel la precipitazione maggiore.

Queste connessioni sono supportate da correlazioni trovate da Ward (1992, 1996) tra la pressione a livello del mare (slp), le temperature superficiali marine (sst), il vento con componente meridionale del Mediterraneo Orientale e i regimi di precipitazione del Sahel e dell'India. Attraverso uno studio dettagliato di mappe di correlazione si è potuto osservare una situazione differente per il bacino occidentale e orientale del Mediterraneo.

Nel settore orientale del Mediterraneo l'indice di precipitazione indiano e il campo di pressione presentano un massimo negativo (anticorrelazione) nel periodo luglio-agosto-settembre (jas) mentre nel settore occidentale si ha il massimo di correlazione nel periodo settembre-ottobre-novembre (son) con un ritardo di due mesi. Il massimo di correlazione negativo tra pressione e l'indice salesiano è invece anticipato di un mese, nel periodo giugno-luglio-agosto (jja) mentre nel periodo son si ha una correlazione positiva nel settore orientale. Questo implica che in corrispondenza dell'aumento delle precipitazioni su il Sahel e l'India, in tempi differenti, si instaura un sistema di bassa pressione sul Mediterraneo Orientale che precede il periodo delle piogge nell'area sub-sahariana. La stessa analisi temporale, eseguita però tra l'indice di precipitazione e il vento alla superficie nel settore Orientale esprime i stessi risultati, il massimo di anticorrelazione del Sahel è in anticipo rispetto a quello del Monsone Indiano. Si dimostra così il legame tra i regimi di precipitazione e il regime degli Etesi, venti stagionali estivi provenienti dalla Russia e dal Mar Caspio, che possiamo vederli come precursori delle precipitazioni nel Sahel.

Il Mediterraneo, soprattutto il bacino Orientale, è luogo di interazione tra i regimi atmosferici dell'India e del Sahel, si può asserire che:

- 1) Il Monsone Indiano è connesso con i campi di bassa pressione che si sviluppano in estate sull'area del Mediterraneo Orientale e Medio-Oriente.
- 2) La forza dei venti Etesi è associata all'ampiezza delle regioni di basse pressioni che si instaurano nel Medio-Oriente.
- 3) Il ramo superficiale che si immette nella circolazione ascendente della cella di Hadley costituisce la struttura dei venti Etesi.

I risultati sperimentali e modellistici evidenziano l'esistenza di un regime monsonico estivo sul Mediterraneo che partendo da questo mare, attraverso i venti Etesi, contribuisce al ramo superficiale della cella di Hadley locale. Le relazioni con le precipitazioni del Sahel non sono ancora molto chiare: si ipotizza un trasporto meridionale di umidità dal Mediterraneo al Sahel guidato dai venti Etesi o spostamenti latitudinali stagionali dell'ITCZ (InterTropical Convergence Zone - Zona di Convergenza InterTropicale) Africana (F. Raicich et al., 2002).

Un altro studio interessante sulla fenomenologia del Mediterraneo è proposto da Rodwell e Hoskins (1995). Il Monsone Indiano determina sul Mediterraneo la discesa adiabatica di un treno di onde di Rossby, queste onde interagiscono con i venti occidentali (westerlies) alle medie latitudini e determinano la discesa forzata di masse d'aria in corrispondenza del

Mediterraneo; il moto di subsidenza che ne consegue provoca, per riscaldamento adiabatico, l'aridità dell'atmosfera ed impedisce eventuali precipitazioni. L'avvezione verticale, alle medie latitudini, dovuta alla discesa adiabatica è compensata dal trasporto meridionale di calore, cioè da un'avvezione orizzontale (Hoskins, 1986), sottolineando il legame esistente tra il Monsone Indiano e i venti alla superficie del Mediterraneo

## REGIME INVERNALE: LE TELECONNESSIONI CON L'ATLANTICO

La partecipazione del Mediterraneo al sistema di teleconnessioni con il Monsone Indiano e il Sahel è attiva nel periodo estivo, in quello invernale il Mediterraneo si trova al centro di un altro grande sistema di variabilità del Nord Atlantico, chiamato North Atlantic Oscillation (NAO) o Oscillazione Nord Atlantica.

La NAO influenza il clima di tutto il bacino Atlantico e controlla la variabilità climatica dalla costa orientale degli Stati Uniti alla Siberia, dall'Artico all'Atlantico subtropicale. Rappresenta un'oscillazione, a larga-scala, di masse atmosferiche con centri d'azione l'Islanda e l'Atlantico subtropicale, centrato sull'Azzorre. Nonostante sia un fenomeno presente tutto l'anno, l'ampiezza dell'oscillazione è molto pronunciata durante la stagione invernale. La NAO determina le variazioni sia delle temperature superficiali che delle precipitazioni.

La NAO, presenta una fase positiva e una negativa, rappresentate in Fig. 2, anche se vi possono essere fasi che riprendono caratteristiche dell'uno e dell'altro tipo. La fase positiva, è causata da una diminuzione della media della pressione sul circolo polare Artico, questo provoca il rinforzo delle alte pressioni subtropicali, instaurando una forte differenza di pressione tra i due campi barici. L'interazione tra questi sistemi di pressione tra loro opposti determina il rinforzo dei venti occidentali che fluiscono alle medie latitudini dall'Atlantico verso l'Europa. Questi venti occidentali responsabili dello scambio termico tra Nord America, Oceano Atlantico settentrionale ed Europa non mantengono sempre la stessa latitudine ma risentono dei sistemi barici, spingendosi periodicamente molto più a sud o più a nord del normale. Nella fase positiva, poiché nell'emisfero nord l'aria fluisce in senso orario intorno a zone di alta pressione e in senso antiorario in zone a bassa pressione, i venti occidentali, intensificati, fluiscono a latitudini più alte investendo la Groenlandia, l'Artico canadese. Come risultato si hanno inverni caldi e umidi in nord

Europa mentre inverni asciutti nel sud Europa. La fase negativa, illustrata ancora in Fig. 2, è al contrario contraddistinta da un aumento della pressione sul circolo polare artico, dove di solito in inverno è posizionato il vortice polare, una zona di bassa pressione stazionaria. In questo modo è minima la differenza di pressione tra il circolo polare artico e le zone subtropicali, dove vi risiede una fascia di alte pressioni stabili (come il famoso anticiclone delle Azzorre). I venti occidentali provenienti dall'America si spingono a latitudini più basse, investono l'Europa meridionale portando aria umida sul Mediterraneo, mentre il Nord Europa e l'America Orientale sono interessate da inverni freddi e asciutti.

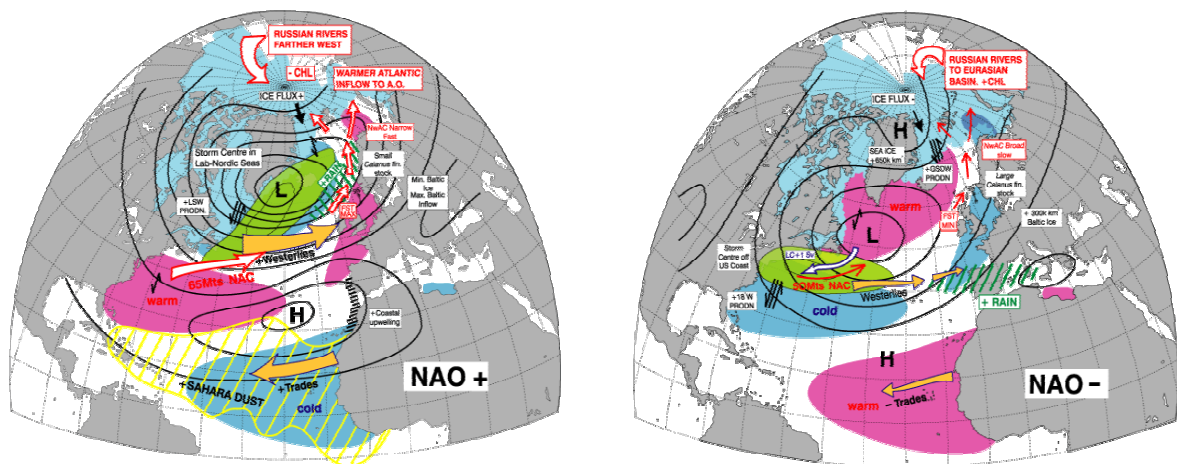


Fig.:2: Fase positiva della NAO nel riquadro a sinistra, i venti occidentali nel Nord Atlantico sono intensificati, ne derivano inverni miti e umidi sul Nord Europa. (Stephenson, 1999).

Fase negativa della NAO nel riquadro a destra, i venti occidentali nel Nord Atlantico sono deboli, questo determina inverni freddi e asciutti nel Nord Europa (Stephenson, 1999).

La variabilità della NAO viene valutata con lo studio dei campi di pressione in termini di differenza, Namias (1980) ha definito un indice NAO ottenuto dalla differenza delle medie pressioni a livello del mare tra due stazioni situate nei centri d'azione, Akureyri in Islanda e Ponte Delgrada nell'Azzorre, Hurrell (1995-1996) invece scelse come stazioni Stykkisholmur in Islanda e Lisbona in Portogallo (Fig.3). L'indice Azzorre/Islanda è una semplificazione dell'originale indice NAO ideato da Walker nel 1920, nel quale incorporò la pressione, la temperatura dell'aria, la precipitazione di molte stazioni posizionate lungo la costa Atlantica. La consapevolezza che l'indice NAO poteva essere semplificato, considerando solamente differenze di pressione subtropicale e subpolare, fu suggerita da

Namias nel 1980 che vide questo indice sempre come una descrizione della forza dei venti occidentali.

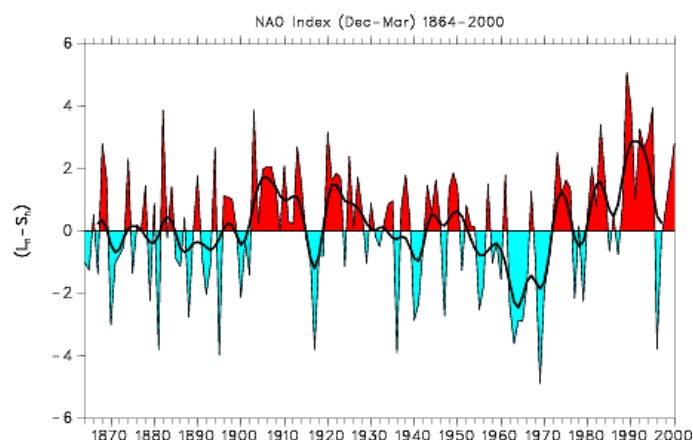


Fig.3: Valori indice NAO ottenuti dalle differenze di pressione normalizzate tra Lisbona, Portogallo, e Stykkisholmur, Islanda, dal 1864 al 2000. Periodo considerato è quello di dicembre-marzo. (Hurrell, 2000).

Dalla Figura 3, si vede che l'indice NAO presenta una variabilità interannuale e interstagionale con prolungati periodi di entrambi le fasi. Dai primi del 1940 fino ai primi del 1970 la NAO presentava una fase negativa, determinando nella stagione invernale temperature più basse della media su quasi tutta l'Europa. Si ha avuto un'inversione negli ultimi 30 anni, la NAO è entrata in una fase positiva senza precedenti, negli inverni del 1983, 1989, e 1990 ha raggiunto valori record (Hurrell 1995).

La NAO, che rappresenta un fenomeno di variabilità naturale, è fortemente influenzato dall'oceano, dalla stratosfera e da processi umani. Recentemente Thompson e Wallace (1998, 1999) hanno avanzato l'ipotesi che la variabilità della NAO sia strettamente correlata ai cambiamenti della forza del vortice polare, collocato nella stratosfera dell'emisfero nord le cui variazioni prendono il nome di Arctic Oscillation (AO). L'AO rappresenta una circolazione anulare con oscillazioni di masse tra il Nord polare e le medie latitudini. Nel periodo invernale i venti occidentali stratosferici, che circondano il polo, sono intensificati e il vortice polare rinforzato, così l'AO e la NAO tendono a essere in una fase positiva. Baldwin e Dunkerton (1999) consolidarono l'ipotesi del legame tra AO e NAO affermando che la circolazione troposferica sul bacino nord atlantico è correlata ai processi e alla forza del vortice polare stratosferico. Questa interazione tra NAO e AO influenza sensibilmente la circolazione nell'Oceano Artico, definita da un indice di vorticità ottenuto dagli indici NAO e AO (Mysak 2001). L'indice può assumere valori

positivi e negativi determinando percorsi orari e antiorari nella circolazione oceanica artica.

La NAO condiziona tutta la climatologia del bacino Nord Atlantico ed esercita una grande influenza sulle temperature invernali di quasi tutto il nord emisfero (Fig.4). Le temperature superficiali (sst) dell'Oceano Nord Atlantico e del Mediterraneo, e le temperature del Nord America e dell'Eurasia sono significativamente correlate con la variabilità della NAO. Le anomalie delle temperature superficiali marine sono guidate dall'azione del vento e dallo scambio di calore tra aria-oceano che a loro volta sono influenzate dalla variabilità della NAO. Come tendenza generale si è assistito a un raffreddamento degli oceani e a un riscaldamento dei continenti (Hurrell 1995). A questi cambiamenti sono associate variazioni nel trasporto di umidità e nella distribuzione dei regimi di precipitazione ed evaporazione. L'evaporazione supera le precipitazioni su parte della Groenlandia e dell'Artico canadese durante le fasi positive, questa condizione si riscontra anche nel centro-sud Europa, nell'area Mediterranea e parte del Medio-Oriente. Al contrario l'Islanda e la Scandinavia sono interessate da precipitazioni maggiori. Cambiamenti nei modelli di circolazione sono accompagnati da cambiamenti nell'intensità e numero delle perturbazioni. Queste perturbazioni rappresentano circolazioni sinottiche atmosferiche operanti su tempi scala di circa una settimana (Hurrell 1995). Durante l'inverno, definiti percorsi delle anomalie sinottiche connettono il Nord Pacifico con il Nord Atlantico, con massima attività sull'oceano. Fasi positive della NAO determinano spostamenti verso nord delle perturbazioni atmosferiche, investendo l'Islanda e il Nord Europa ed evitando il Sud Europa.

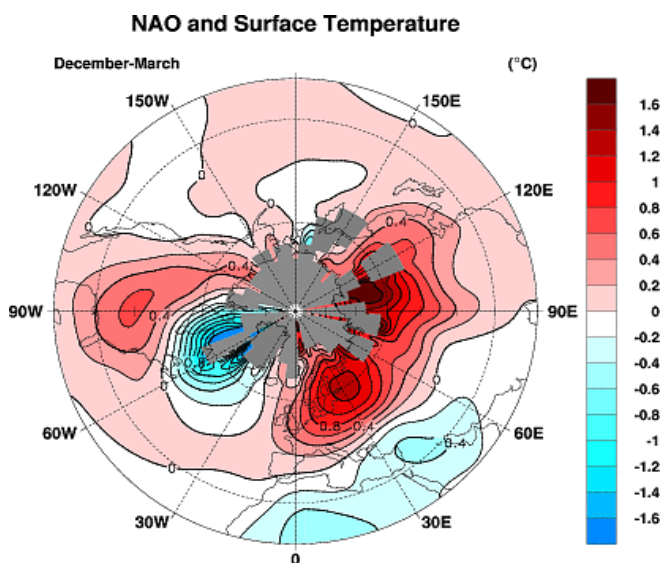


Fig 4 Cambiamenti nelle temperature medie superficiali (°C) corrispondenti a un' unità di cambiamento dell'indice NAO per i mesi invernali (Dicembre-Marzo) dal 1935 al 1999. L'incremento è di 0.2° C. Le regioni con insufficienti dati non sono segnate.

## REGIMI INVERNALI DEL MEDITERRANEO

In questa relazione la climatologia invernale del Mediterraneo e l'interazione di questa area con il bacino Nord Atlantico viene analizzata attraverso lo studio della variabilità atmosferica dei dati ECMWF (European centre for Medium Range Weather Forecast).

Questi dati sono il frutto di una complessa elaborazione fatta presso il servizio meteorologico-europeo sopraindicato. Le osservazioni provengono da varie fonti: da rilievi eseguiti a bordo di navi mercantili, da profili ottenute da radiosonde rilasciate sistematicamente nell'atmosfera, da indagini di satellite, da rilievi effettuati in stazioni a terra e con aerei. Le osservazioni sono fuse con le simulazioni di modelli numerici dell'atmosfera e il risultato di questo processo è una 'analisi' che offre la stima migliore dello stato dell'atmosfera a frequenza temporale di poche ore.

In questo lavoro useremo le analisi operative dal 1 gennaio 1979 al 31 dicembre 2001. I dati sono a disposizione 4 volte al giorno, ogni 6 ore, a partire dalle ore 00-00 UTC. I dati sono espressi su una griglia la cui risoluzione spaziale è di circa  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  di latitudine e longitudine. L'area interessata da questa analisi climatologica è tutto il bacino Mediterraneo.

Le variabili d'interesse sono:

1) la temperatura dell'aria a 2 metri in  $^\circ\text{C}$ ; 2) la pressione a livello del mare in mbar; 3) la componente zonale del vento a 10 metri in m/s; 4) la componente meridionale del vento a 10 metri in m/s;

### ANALISI DATI

L'analisi è stata svolta mediando i campi su due aree distinte del Mediterraneo: il bacino occidentale del Mediterraneo di coordinate 6E-11E, 30N-45N ed quello orientale di coordinate 30N-42N, 11E-36E.

### TEMPERATURA SUPERFICIALE DELL'ARIA

I grafici di temperatura, illustrati nella figura 5, mostrano per tutto il periodo 79/01 un andamento stabile e ciclico ovvero il ciclo stagionale. Nel periodo invernale (dicembre-gennaio) si raggiungono le temperature minime che sfiorano i 7 gradi in alcuni anni, mentre in agosto si raggiungono quelle massime attorno ai 27 gradi. Non vi sono

differenze significative tra il bacino ovest ed est del Mediterraneo, in entrambi è possibile osservare un probabile aumento delle minime invernali e delle massime estive a partire dal 1996.

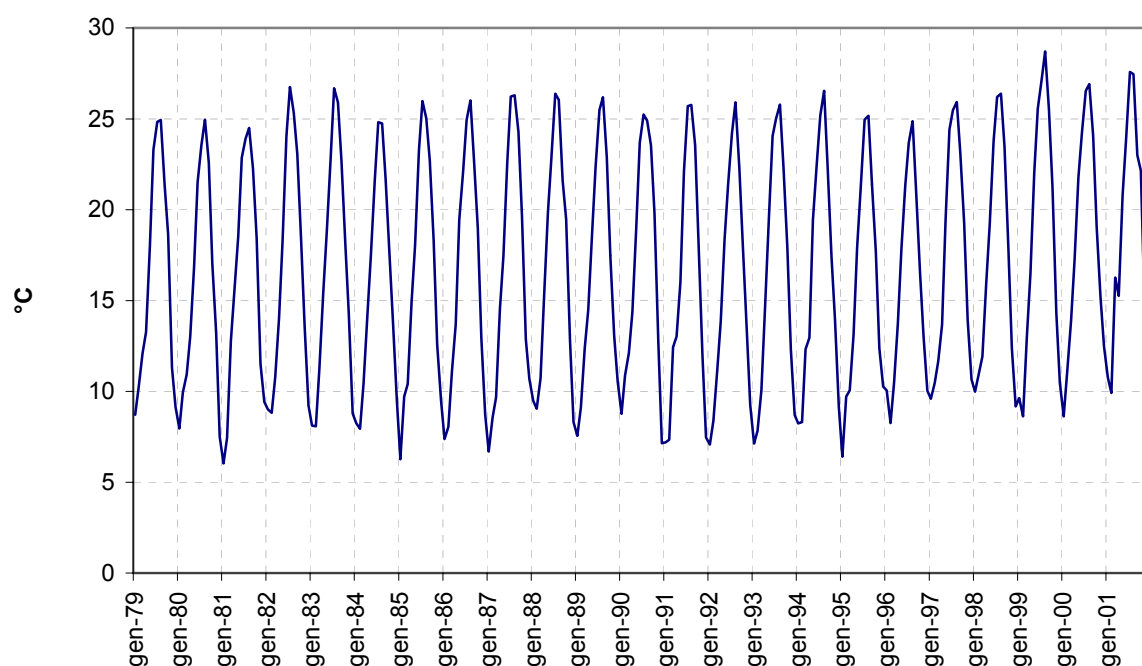
#### PRESSIONE AL LIVELLO DEL MARE

I grafici della pressione, rappresentati nella figura 6, mostrano una situazione simile sia nel settore orientale che occidentale. Si può evidenziare la formazione, nei mesi invernali, di sistemi di alta pressione probabilmente sotto l'influenza dell'anticiclone delle Azzorre, e sistemi di bassa pressione, nei mesi estivi (giugno-luglio), che presumibilmente sono da collegarsi alla zona di bassa pressione centrata sul Medio Oriente e discussa in precedenza.

#### VENTO A 10 M

Nell'analisi del vento vengono utilizzati i dati riguardanti le due componenti del vettore vento che indicano la direzione zonale (x) e meridionale (y). In inverno la circolazione orizzontale sull'area mediterranea, a prescindere dalle profonde deviazioni indotte dall'orografia, è prevalentemente zonale sia nel settore orientale che occidentale, questa circolazione invernale è tipica delle medie latitudini. In estate lo scenario è profondamente mutato, si ha l'instaurarsi del vento con componente nettamente meridionale soprattutto nel settore orientale, questo fatto è da collegarsi all'instaurarsi dei regimi Etesi, di cui abbiamo discusso in precedenza. A un regime tipico delle medie latitudini subentra un regime caratteristico dell'area tropicale. (Raicich et al, 2002).

### Bacino Occidentale Mediterraneo



### Bacino Orientale Mediterraneo

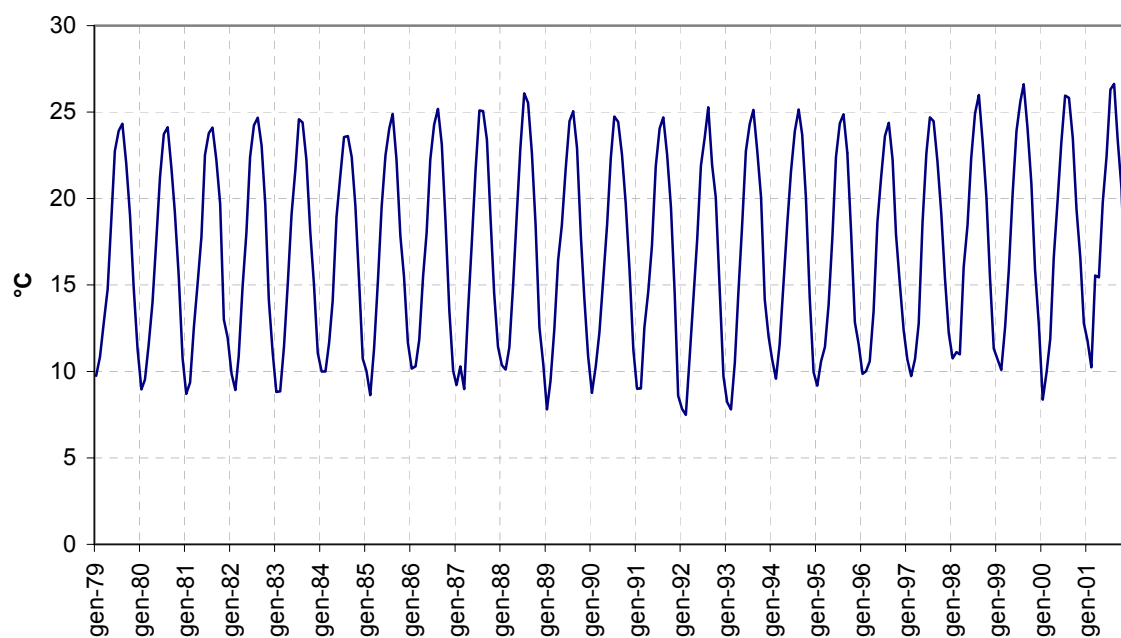
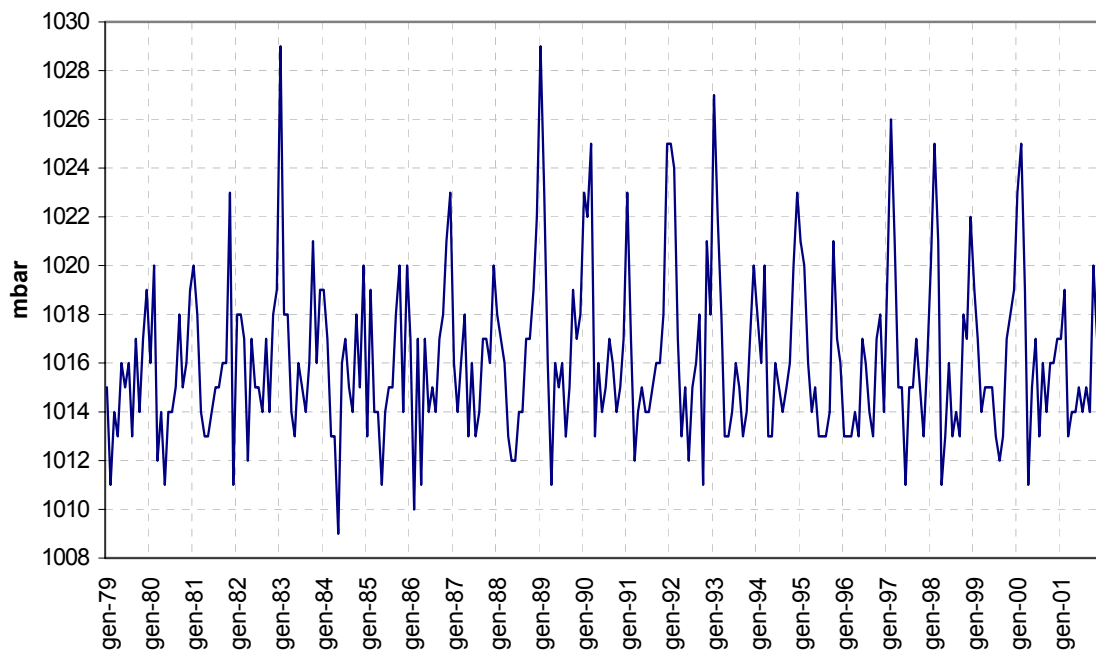


Fig.5. Grafici della temperatura dell'aria a 2 metri, misurata in °C, dal 1 gennaio 1979 al 31 dicembre 2001.

### Bacino occidentale Mediterraneo



### Bacino orientale Mediterraneo

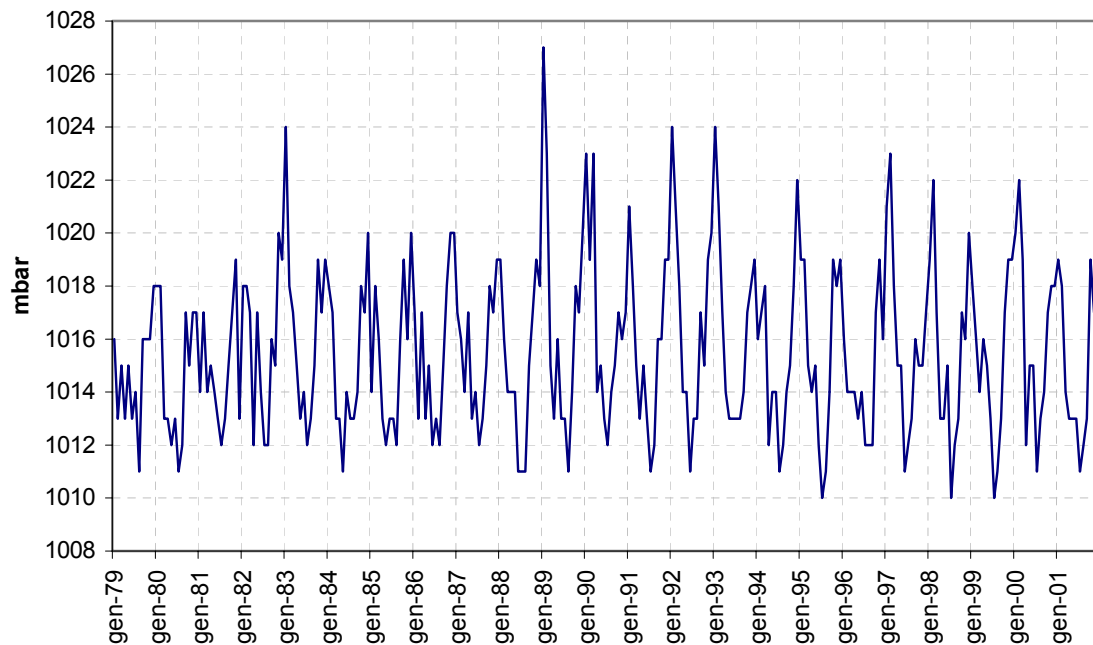


Fig.6: Grafici della pressione sul livello del mare, misurata in mbar, dal 1 gennaio 1979 al 31 dicembre 2001.

## TELECONNESSIONI TRA MEDITERANEO E NAO

L'indice NAO invernale, utilizzato in questo lavoro, è calcolato dalle differenze di pressione a livello del mare tra la stazione di Ponte Delgrada, nelle Azzorre (38°N, 26°W) e Stykkisholmur/Reykjavik, in Islanda (66°N, 18°W). Le anomalie di pressione a livello del mare in queste stazioni sono normalizzate: i valori di pressione vengono divisi per la loro deviazione standard. I dati di pressione delle stazioni sono stati ottenuti dalla banca dati del World Monthly Surface Station Climatology (WMSSC, <http://dss.ucar.edu/datasets/ds570.0/>). Hurrell (1999, <http://cgd.ucar.edu/~jhurrell/nao.html>) li ha elaborati per costruire l'indice NAO.

Gli indici NAO utilizzati in questa ricerca sono valori mensili che coprono il periodo dal 1979 al 2000, il loro andamento è mostrato nella figura 7.

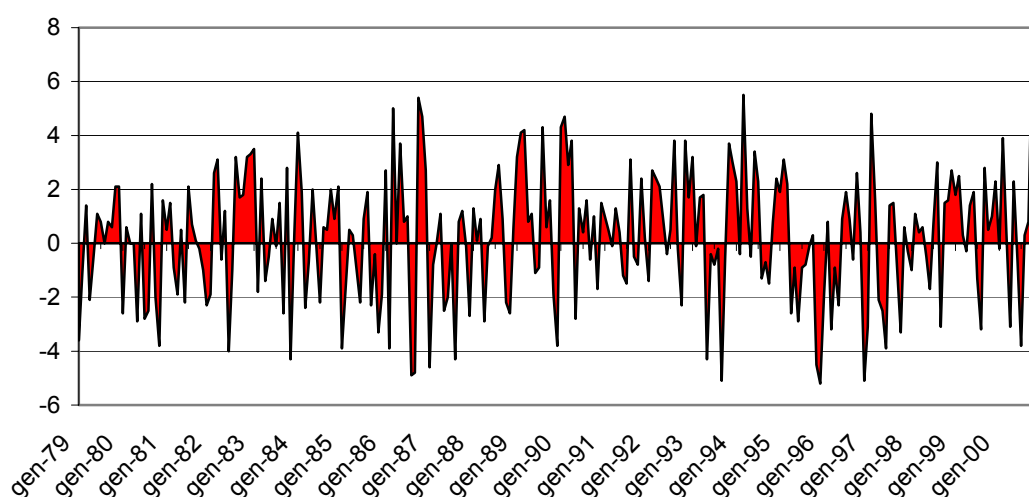


Fig. 7: Grafico valori NAO normalizzati dal 1 gennaio 1979 al 31 dicembre 2000

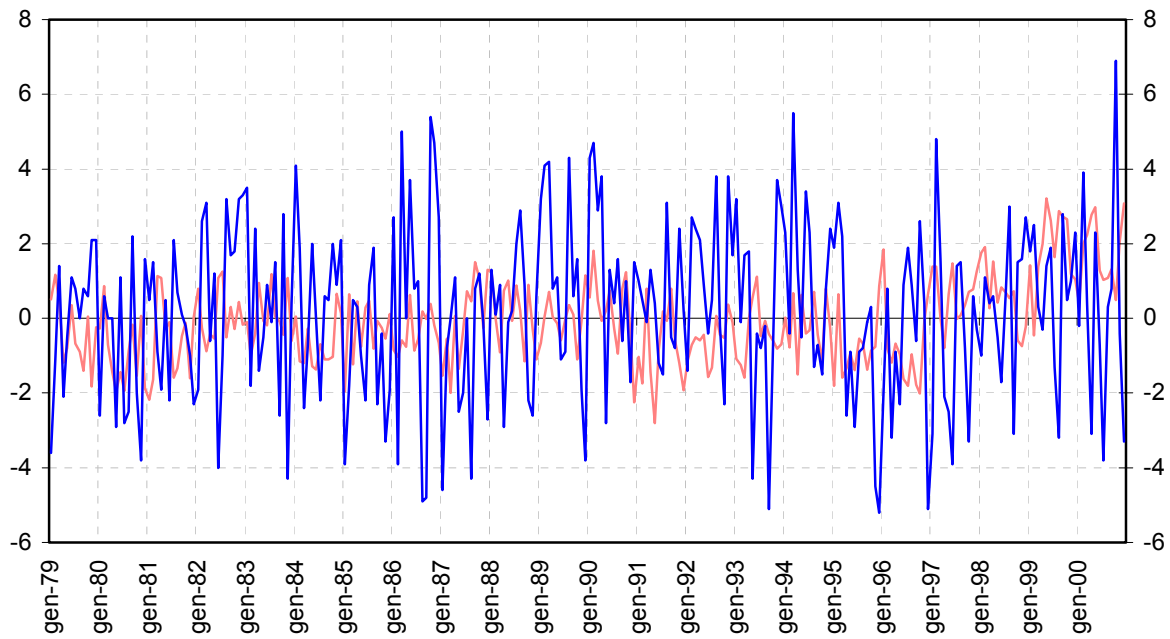
Vogliamo ora studiare le possibili correlazioni esistenti tra l'indice NAO e le anomalie di temperatura e pressione del bacino Mediterraneo. Attraverso l'analisi dei rispettivi grafici e mediante la loro sovrapposizione possiamo delineare il probabile ruolo del bacino Atlantico nella variabilità atmosferica del Mediterraneo e le relazioni che intercorrono tra le due aree. Questo studio è stato effettuato considerando distintamente il settore orientale e occidentale del Mediterraneo. Per correlare la pressione o la temperatura sul Mediterraneo e l'indice NAO, abbiamo calcolato l'anomalia rispetto al ciclo stagionale di due delle variabili che abbiamo descritto nella sezione precedente.

Nei grafici seguenti (Fig. 8) vengono mostrate le sovrapposizioni dei grafici delle anomalie di temperatura, riferite prima al settore occidentale poi a quello orientale del Mediterraneo, e l'indice NAO, per il periodo 1 gennaio '79 – 31 dicembre '00. Osservando il grafico possiamo osservare per entrambi i bacini del Mediterraneo, una possibile correlazione positiva tra le due grandezze in diversi periodi. Questa analisi preliminare sulla temperatura e l'indice NAO mensile mette però in rilievo che le scale di correlazione possono essere più lunghe, ovvero bisognerebbe usare l'indice NAO filtrato a scale interdecennali. Le anomalie di temperatura infatti sembrano oscillare su scala decennale e quindi potrebbero essere più correlate o anticorrelate con l'indice NAO ad esempio calcolato solo sui mesi di dicembre-marzo (vedi Fig. 3).

La stessa analisi, eseguita tra le anomalie di pressione e gli indici NAO (Fig. 9), fornisce risultati molto più chiari. Sia nel bacino Occidentale che Orientale è evidente una forte correlazione positiva tra le due variabili, valori positivi dell'indice NAO determinano anomalie di pressione alte. Nel futuro sarà necessario calcolare le correlazioni in maniera più precisa, ovvero calcolando il valore preciso della correlazione e l'errore associato.

Questa analisi iniziale ha messo in rilievo che la variabilità dei regimi climatici del Mediterraneo e dei suoi sottobacini ha una stretta correlazione con quella del Nord Atlantico

### Bacino Occidentale



### Bacino Orientale

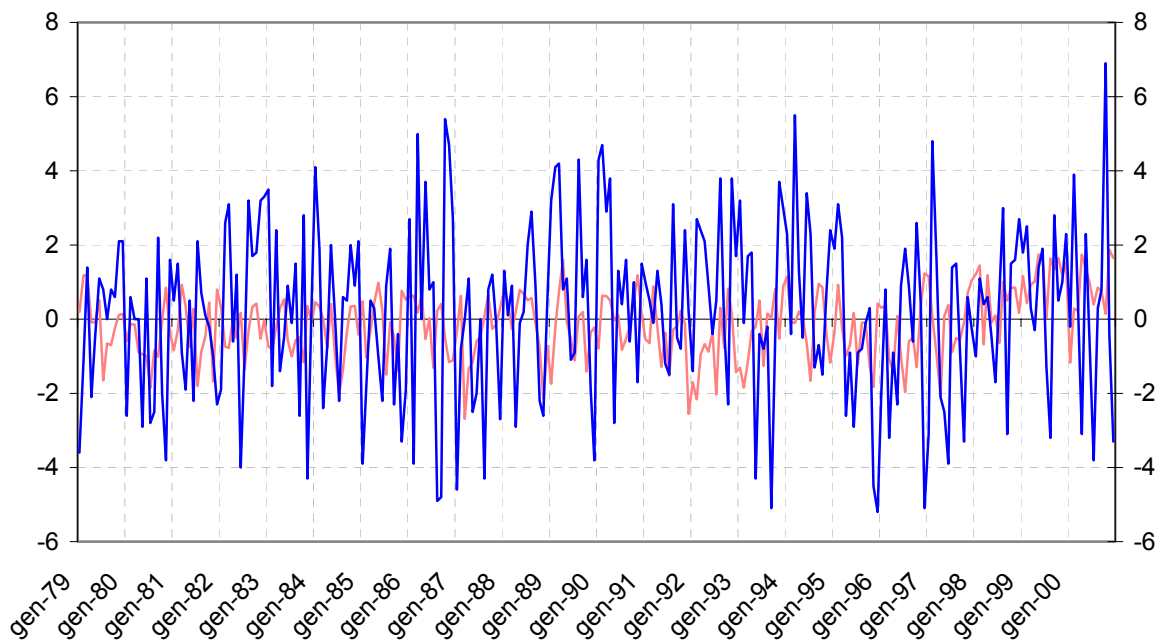
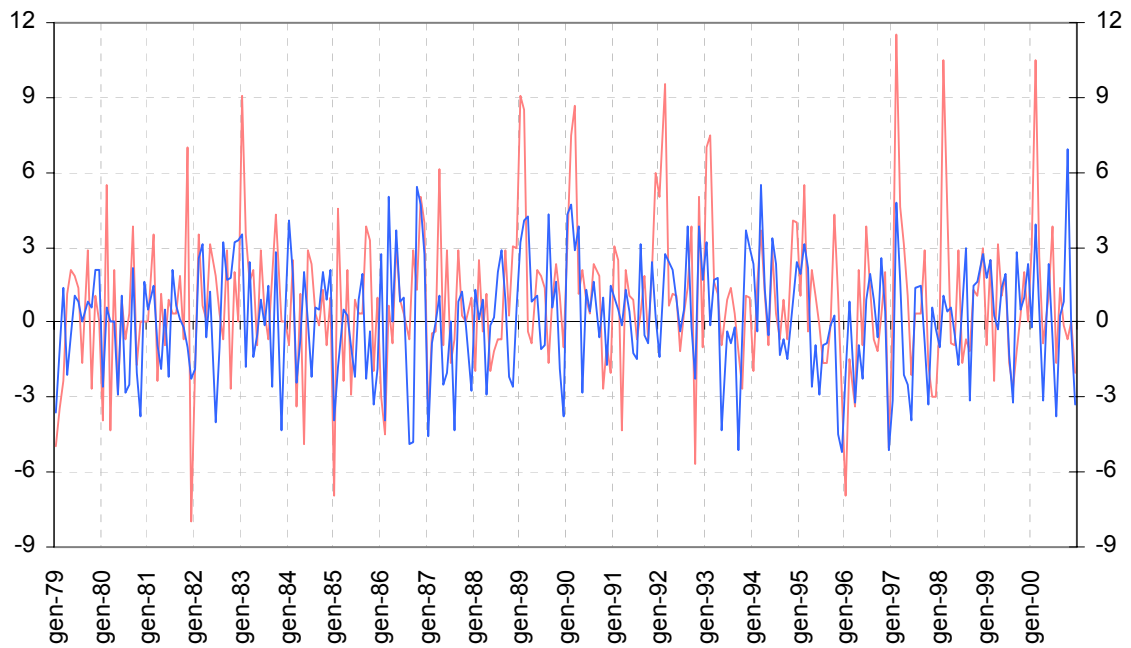


Fig. 8: Grafici di anomalie di temperatura sui due settori del Mediterraneo (curva rosa) e indici NAO (curva blu).

### Bacino Occidentale



### Bacino Orientale

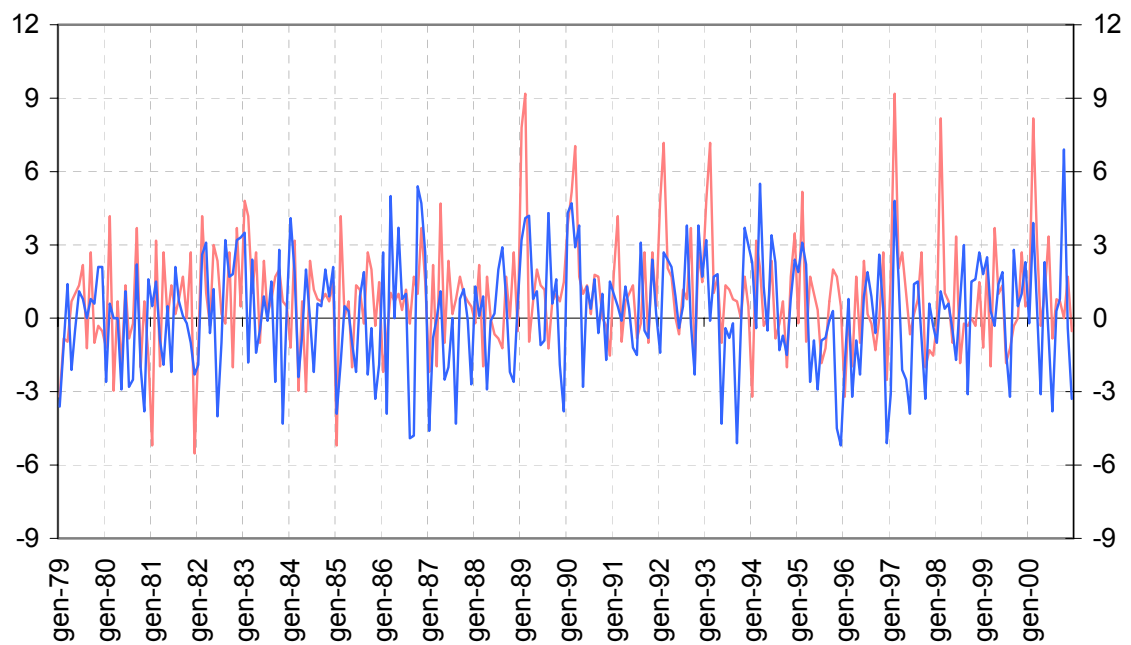


Fig.9: Grafici di anomalie di pressione sui due settori del Mediterraneo (curva rosa) e di indici NAO (curva blu).

## BIBLIOGRAFIA

Hurrell J. W. *Decadal trends in the north Atlantic Oscillation regional temperatures and precipitation*. Science. 1995; 269, 676-679.

Mysak L. A. *Patterns of Arctic Circulation*. Science. 2001; 293, 1269-1270.

Raicich F., Pinardi N., Navarra A. *Teleconnections between Indian monsoon and Sahel rainfall and the Mediterranean*. 2002; In pubblicazione su Int. J. Clim.

Rodwell M. J., Hoskins B. J. *Monsoons and the Dynamics of Deserts*. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 1996; 122, 1383-1404.

Stevanato A. *Regimi climatici del Mediterraneo*. Tesi in meteorologia e oceanografia. 1998.

Wallace J. M., Gutzler D. S. *Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter*. Monthly weather review. 1981; 109, 784-812.

Ward M. N. *Local and remote climate variability associated with East Mediterranean sea-surface temperature anomalies*. Proceeding, Conf. on Mediterranean Forecasting, La Londe Les Maures, France, European Science Foundation. 1996; 16-25

Watanabe M., Nitta T. *Decadal changes in the atmospheric circulation and associated surface climate variations in the Northern Hemisphere winter*. J. Climate. 1999; 12, 494-510.