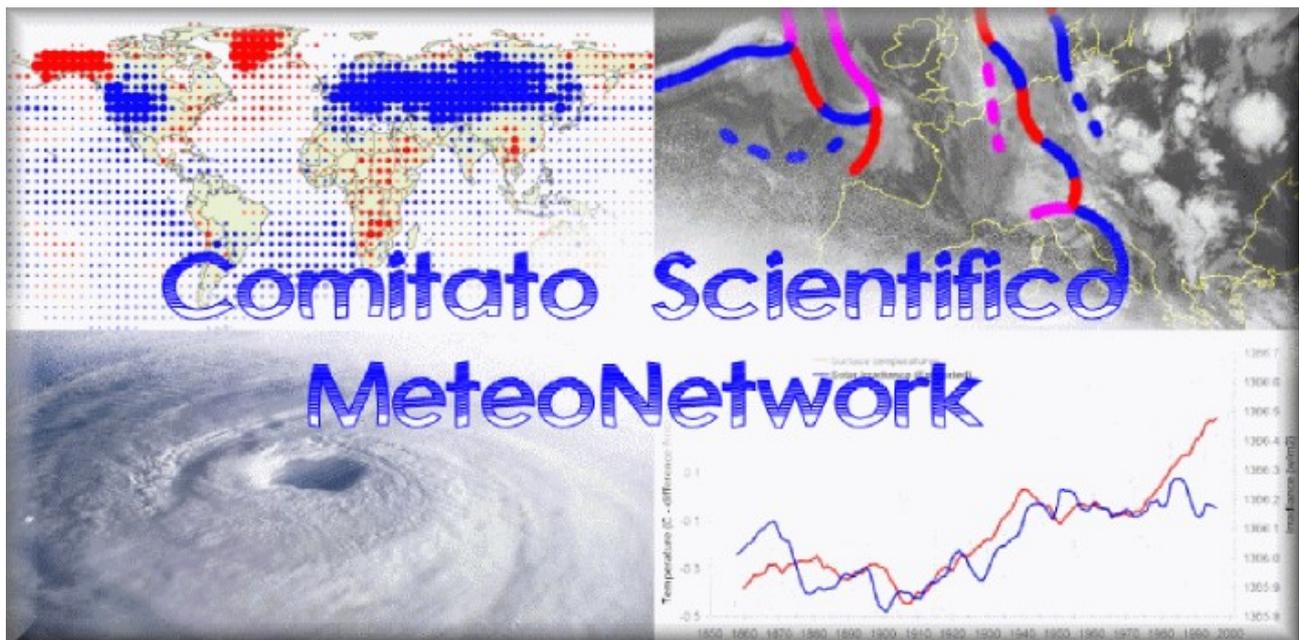


# *North Atlantic Oscillation*

**A cura di Luigi Bellagamba.**

**Publicazione a cura del Comitato Scientifico MeteonetWORK.**  
Il Comitato ha per scopo lo sviluppo e la diffusione della conoscenza delle scienze meteorologiche, climatologiche, dell'ambiente, idrologiche e vulcanologiche e delle loro molteplici espressioni sul territorio, con particolare riguardo alle realtà microclimatologiche, topoclimatologiche e climatologiche, su scala locale, regionale, nazionale ed a scala globale ed alle realtà meteorologiche emergenti su Internet.



**Il Comitato è parte integrante dell'Associazione MeteonetWORK.**



## **INDICE.**

### **Capitolo 1 Definizione della NAO.**

- 1 Il Daily NAO Index
- 2 Cosa distingue AO/NAM dalla NAO ?

### **Capitolo 2 Le fasi NAO.**

1. NAO positiva
2. NAO negativa

### **Capitolo 3 Gli effetti della NAO.**

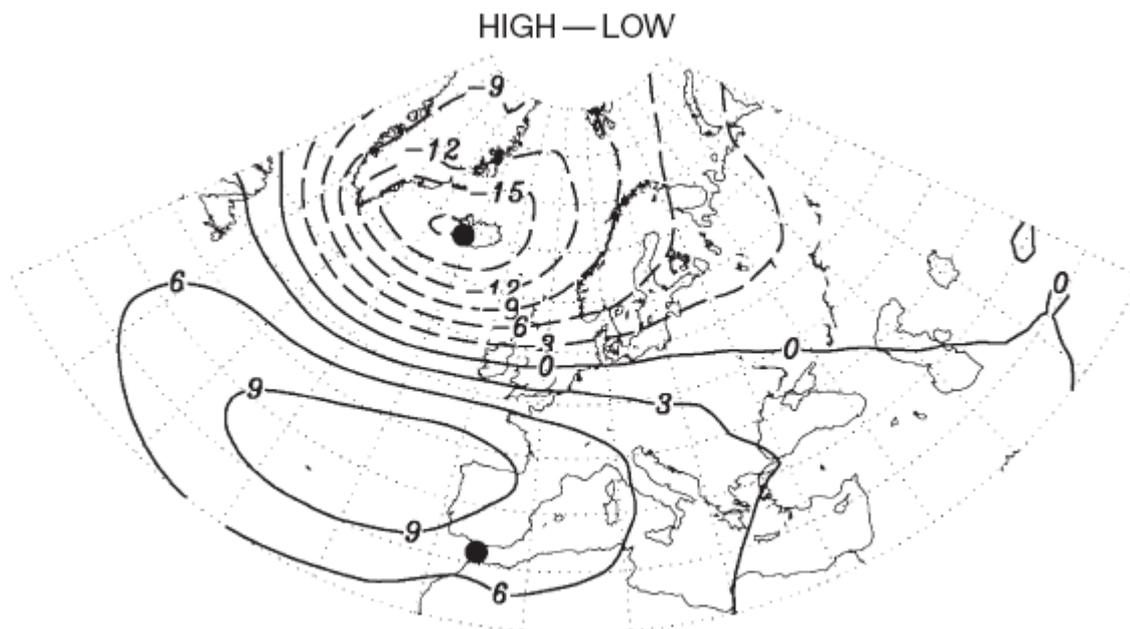
1. Influenza della NAO sulle temperature.
2. Influenza della NAO sulle precipitazioni.
3. Influenza della NAO a 300 hPa.
4. Influenza della NAO sui regimi circolatori.
5. Summer NAO.
6. Influenza della NAO invernale sulla circolazione atmosferica estiva

### **Capitolo 4 La variabilità della NAO.**

## 1. Definizione della NAO. (1,13,39)

La North Atlantic Oscillation (NAO) è, tra le teleconnessioni, quella che più influenza la circolazione atmosferica fra il Nordatlantico e l'Europa. Tale indice consiste in un dipolo nord-sud di anomalie con un centro localizzato sulla Groenlandia e l'altro localizzato tra il 35° - 40° di latitudine. I valori dell'indice sono calcolati come la differenza tra la pressione rilevata in una determinata località delle Azzorre e la pressione rilevata in una determinata località dell'Islanda. Gli indici più usati per definire la NAO sono(13):

1. differenza barica fra Azzorre e Islanda , più precisamente si misura la differenza nella pressione di superficie(SLP) fra Ponta Delgada nelle Azzorre e la stazione islandese di Akureyri (Roger 1997) e definisce l'inverno solo per DJF escludendo Marzo(28).
2. differenza barica fra Gibilterra e Islanda sud-occidentale (indice del Climate Research Unit, CRU, elaborato da Jones et al, 1997); vedi figura a fianco ). Il vantaggio usando Gibilterra (anziché Ponta Delgada) è di avere una stagione più lunga di inverno (DJFM)
3. differenza barica (SLP) fra Lisbona e Stykkisholmur (indice elaborato da Hurrell nel 1995, invernale DJFM);



**Fig 1 a : confronto delle SLP tra i mesi invernali ( DJFM) in anni con indice NAO > 1 e <-1 dal 1958 al 1997. Fonte Clim Res vol 20. The NAO influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms Ricardon M Trago**

I due artefici principali che influenzano la scena europea, ovvero la semipermanente d'Islanda e l'anticiclone delle Azzorre, assumono posizioni e caratteristiche differenti. La NAO ha molta più influenza durante l'inverno (tipicamente DJFM) perché assai più pronunciata (in entrambe le fasi) che d'estate. Confrontando le SLP nelle due fasi troviamo differenze anche superiori a 15 hPa nel Nord Atlantico. Nella sua fase positiva pressioni superiori alla media a sud del 55° N si associano a pressioni sotto media su tutta la regione artica. A causa delle dinamiche circolatorie che contraddistinguono anticiclone e depressioni la fase NAO + si associa ad un rinforzo delle correnti

occidentali alle medie latitudini ( westerlies). La variabilità della NAO è significativamente correlata con alterazioni della forza del vortice polare invernale fino alla stratosfera.

Anche a livello della bassa stratosfera troviamo la presenza di scambi di masse d'aria tra latitudini polari e medie latitudini, tuttavia si denota rispetto alla troposfera una maggiore tendenza a rispettare una simmetria circolare. In genere quando abbiamo una fase NAO+ possiamo osservare un vortice polare stratosferico che circonda simmetricamente il polo che risulta più forte e più freddo della norma, situazione questa che viene definita nell'ambito della variabilità delle teleconnessioni la Arctic Oscillation (AO)

La prima testimonianza scritta relativa alla NAO può essere attribuita al missionario Hans Egede Saabye che dalla semplice osservazione dei fenomeni individuò una correlazione tra inverni freddi in Danimarca, contrapposti ad inverni miti in Groenlandia. Da allora i mezzi hanno permesso prima il riscontro dei dati tramite le temperature (Dove 1839, Hann 1890) poi il raffronto con i dati pressori (Hildebrandsson 1897, Exner 1913). Successivamente Defant (1924) pubblicò uno studio sulle anomalie mensili delle SLP nel Nord Atlantico. Il primo tentativo di quantificare la NAO fu svolto da Walker and Bliss (1932) in un modo piuttosto complesso che comportava la registrazione di temperature e SLP dall'Europa al Nord America usando la seguente formula:

$NAO_{wb} = P_{Vienna} + T_{Bod\ddot{o}} + T_{Stornoway} + 0.7P_{Bermuda} - P_{Stykkisholmur} - P_{Ivigtut} - 0.7T_{Godthaab} + 0.7(T_{Hatteras} + T_{Washington})/2$ . con P che sta per pressione atmosferica e T che sta per temperatura dell'aria media durante il periodo Dicembre- Febbraio. Rossby, Willett, Namias, Lorenz, Bjerknes (1964) hanno contribuito alla versione odierna della NAO. Rogers (1984) e Hurrell (1995) crearono modelli di studio per la NAO ancora attuali. Per finire questo breve riassunto storico nello studio della NAO vanno anche menzionati i lavori di Schlesinger and Ramankutty (1994) che descrissero un'oscillazione nel sistema climatologico globale che mostrava una periodicità di 65-70 anni e Kerr (2000), il quale denominò questo altalenante cambio di fasi calde e fredde Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO).

Oltre alle 3 differenti definizioni di NAO sopra citate ci sono stati tentativi di estendere il periodo di studio della NAO Index attraverso gli studi sugli anelli dei tronchi degli alberi, delle carote di ghiaccio prelevate nell'Artico, delle stalagmiti delle Nuova Scozia, delle precipitazioni in Andalusia, delle prime rilevazioni di alcune stazioni meteorologiche (40).

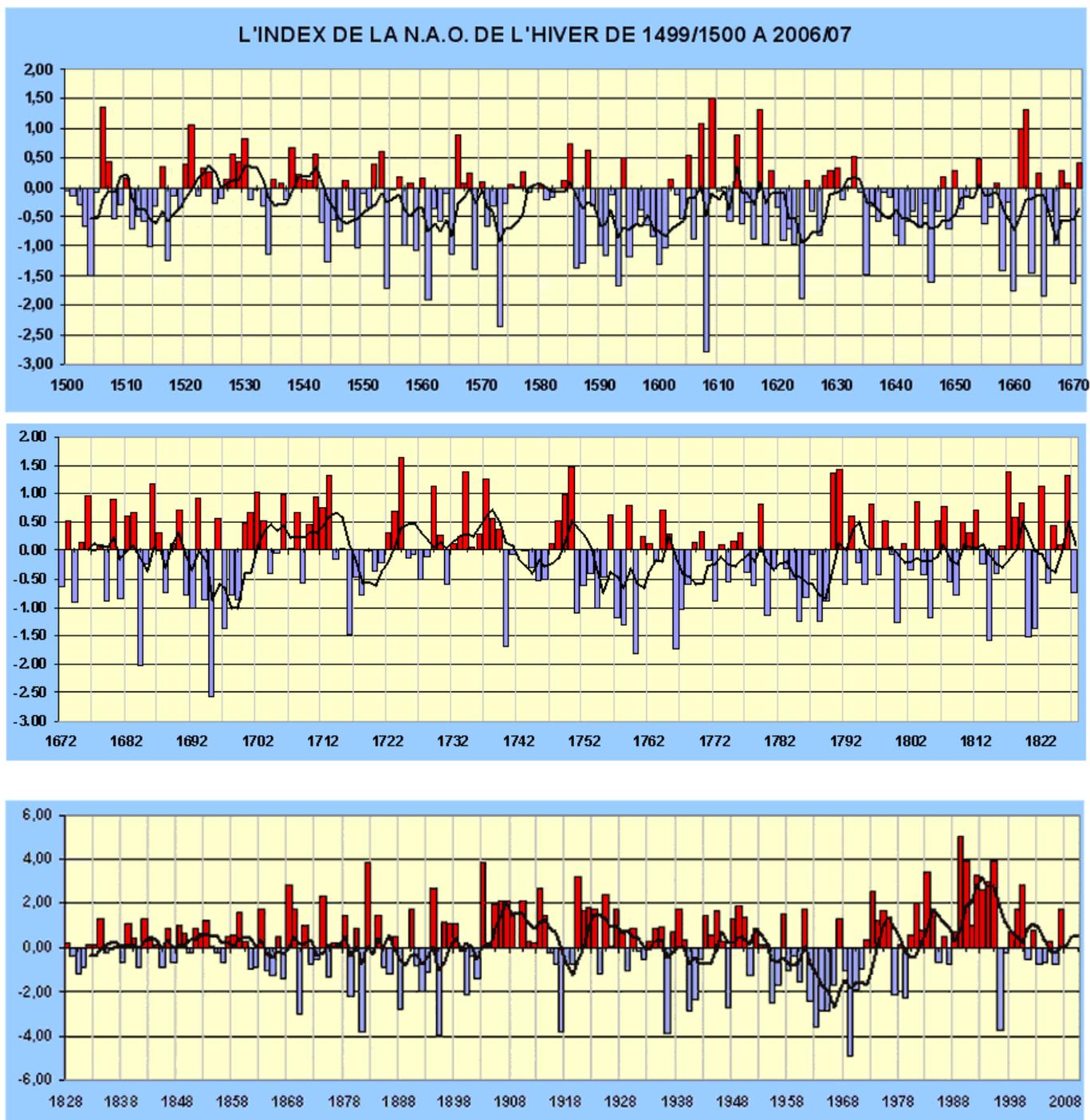


Fig 1b: andamento della NAO invernale nel periodo 1499-2007. <http://la.climatologie.free.fr/nao/NAO.htm>

## 1.1 Il Daily NAO Index (17)

Allo scopo di calcolare il NAO Index sono usati i valori gpt a 500 hPa e sulla base degli studi di Barnston and Livezey (1987) sono state definite due regioni dell'Atlantico alla stessa longitudine (70°W to 10°W), con la regione 1 situata tra 55°N a 70°N e la regione 2 tra 35°N a 45°N (fig 2)

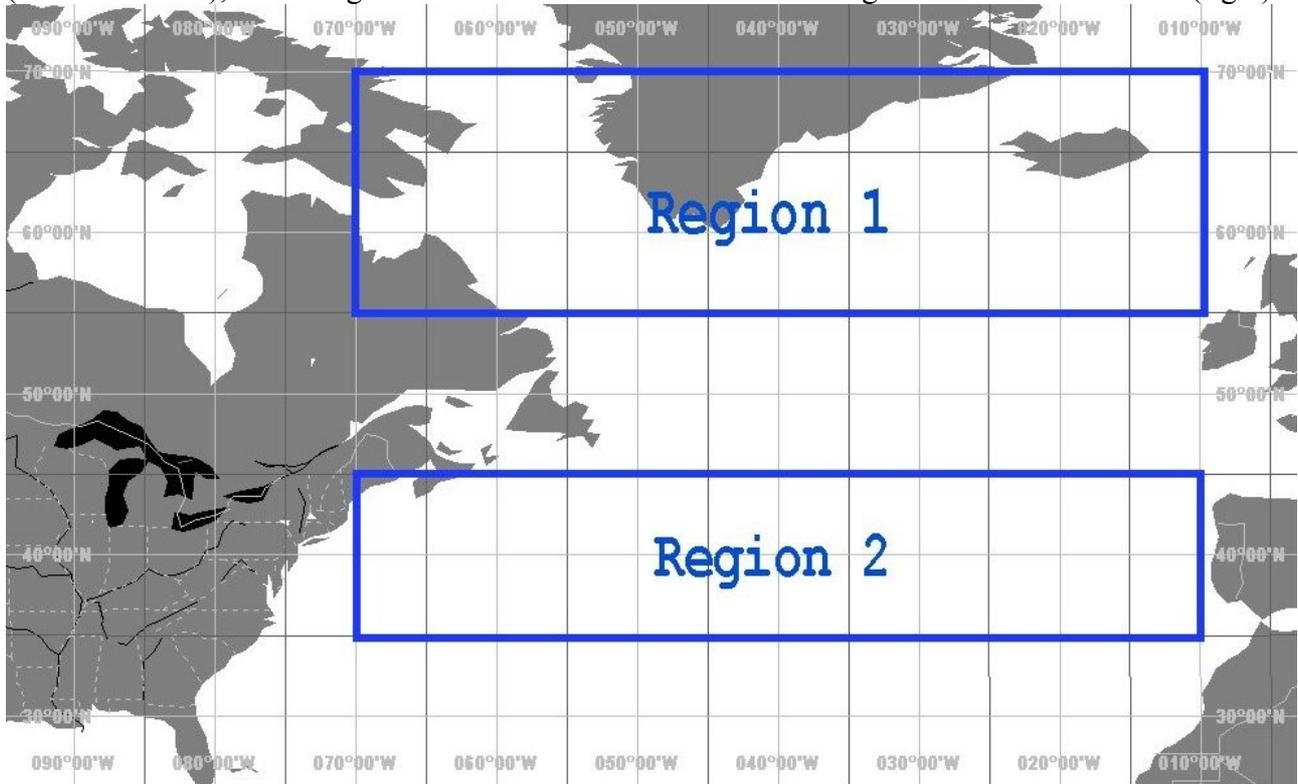


Fig 2 : daily NAO index.

Fonte: the NAO impact on temperature, precipitation, snowfall and snow depth

Il valore giornaliero medio all'interno di ogni area a 500 hPa ci indica il NAO Index quotidiano. Questo valore viene confrontato con la media climatologica basata sulle rilevazioni giornaliere dal 1968-1996 usando i dati forniti dalle rianalisi del NCEP. Il NAOI si ricava sottraendo la deviazione standard della regione 1 all'anomalia della regione 2

L'ultimo passo è di applicare un filtro su 3 giorni per rimuovere interferenze di frequenza.

## 1.2) Cosa distingue AO/NAM dalla NAO ? (1,13,39)

NAO e AO sono espressione di fenomeni atmosferici pur dipendendo sicuramente anche da feedback oceano-atmosfera. Essenzialmente con la NAO si monitorizza lo stato dell'Oceano Atlantico attraverso i due artefici principali che risultano essere la depressione Islandese e la alta pressione Azzorriana e proprio in Atlantico vanno ricercati i fattori capaci di influenzarla. La connotazione dell'AO va invece inquadrata essenzialmente nelle modifiche della circolazione zonale, quindi possono giocare un ruolo importante sia gli stessi fattori che vincolano sia la stessa NAO ma in questo caso specifico sono determinanti pure le alterazioni atmosferiche (e non solo) del compartimento asiatico e pacifico.

Va sottolineato che in modo analogo ad AO/NAM (**Northern Annular Mode**) troviamo pure a livello dell'emisfero australe una struttura simile la SAM (**Southern Annular Mode**). Entrambe risultano avere un comportamento simile nelle aree geografiche di loro pertinenza, sia in chiave di lettura stagionale che pluriennale.

Da quanto detto fin qui, appare evidente come l'AO riesce a spiegare meglio le anomalie climatiche su tutto l'emisfero boreale.

Si consideri ad esempio una circolazione zonale su base emisferica e le dinamiche sostenute da essa, mentre il concetto NAO allude spesso alle correlazioni oceano-atmosfera e alla influenza che questa ha sulla variabilità a breve termine.

Un'AO pienamente positiva è indice di un Vortice Polare (VP) molto forte e scarsamente propenso a traslare a latitudini inferiori rispetto al circolo polare artico grazie ad una corda zonale con westerlies ben tese.

Un'AO pienamente negativa indica al contrario l'instaurarsi di un robusto anticiclone tra la Groenlandia e il mar Artico con conseguente indebolimento del VP che tende a "collassare" verso latitudini inferiori.

Tuttavia non sempre AO e NAO hanno valori simili. Nel caso di AO e NAO con valori dello stesso segno abbiamo effetti rafforzati mentre, nel caso essi siano discordi, bisogna prendere in esame altri fattori. Esistono, però, alcune situazioni tipiche come NAO debolmente positiva e AO- che assieme favoriscono l'instaurarsi di un anticiclone dinamico sull'area scandinava.

Il segno della AO invernale spesso si associa a quello della NAO: questo perché esiste una coerenza "verticale" tra quanto avviene in troposfera e stratosfera cosa più evidente a latitudini polari rispetto a quanto possiamo osservare alle medie latitudini.

## 2. Le fasi NAO

Non ci sono solamente fasi francamente positive o negative della NAO, ma anche situazioni transitorie. Ciò significa che il NAO index va visto come un continuum di possibili stati più che a distinte fasi ben riconoscibili.

### 2.1 NAO positiva.

Nel caso la NAO sia positiva (valori  $> 0.5$ ) si ha un rafforzamento dell'anticiclone Atlantico che si

estende zonalmente alle basse latitudini e contemporaneamente un approfondimento della semipermanente Islandese. L'aumento di questa differenza di pressione determina un'intensificazione dell'attività ciclonica sull'oceano Atlantico e, allo stesso tempo, lo spostamento verso nord dei percorsi seguiti dalle perturbazioni, che quindi interessano principalmente le regioni del nord Europa. Quando la NAO è positiva produce **westerlies** più forti della norma alle medie latitudini. Ciò comporta inverni più umidi e miti sul nord Europa e più secchi ma freddi sull'Europa meridionale e sul Mediterraneo. Una NAO fortemente positiva è indice di forti depressioni alle alte latitudini (quindi **vortice polare** (VP) con correnti molto tese), e anticicloni alle basse latitudini.

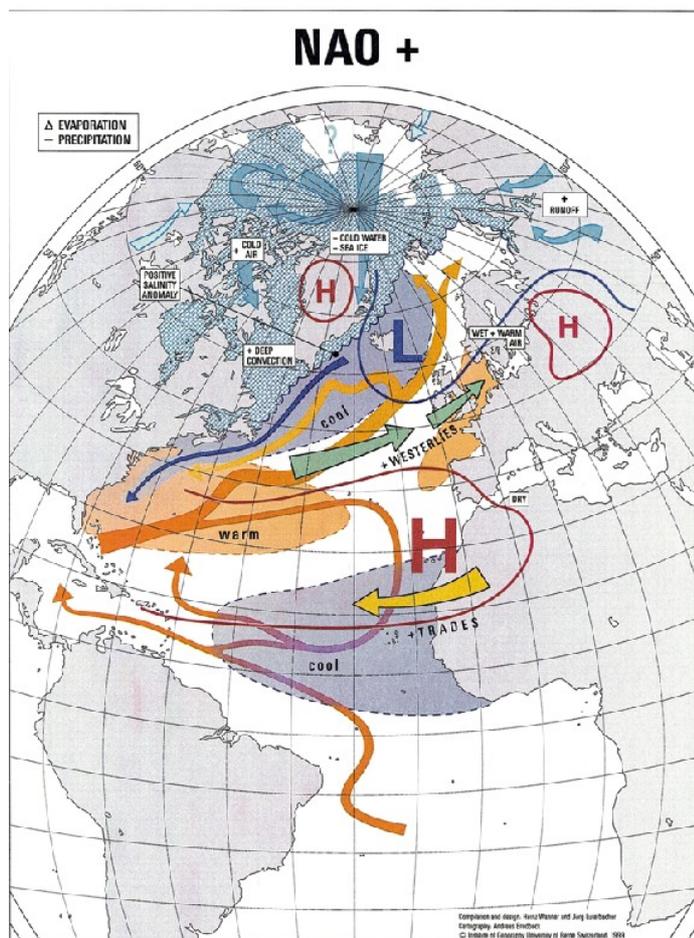
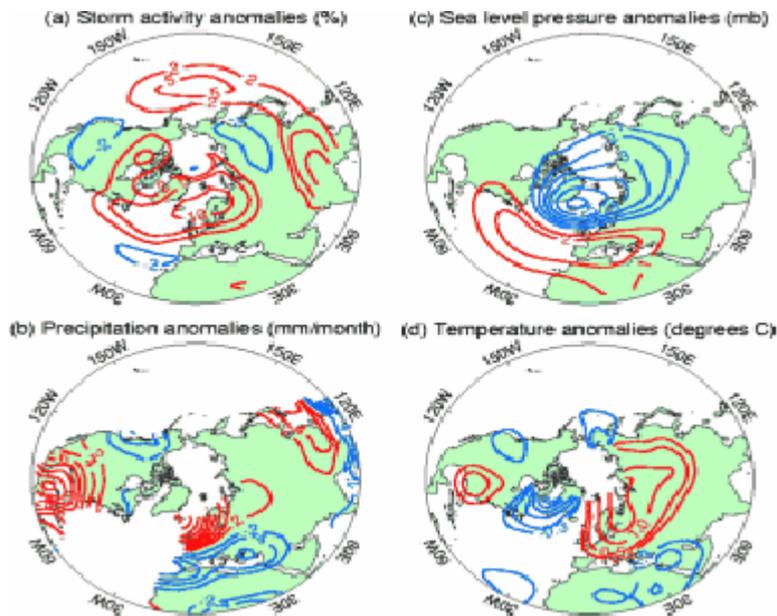


Fig 3. : viene rappresentata la situazione di un anno di NAO+. Vediamo le caratteristiche delle SST, le correnti oceaniche ed atmosferiche, le SLP e schematicamente vengono anche descritte le caratteristiche climatiche delle regioni influenzate dalla NAO.

Fonte: NAO concept and studies. H. Wanner

Le più pronunciate anomalie furono registrate nell'inverno del 1989 quando fu registrato il valore positivo record.

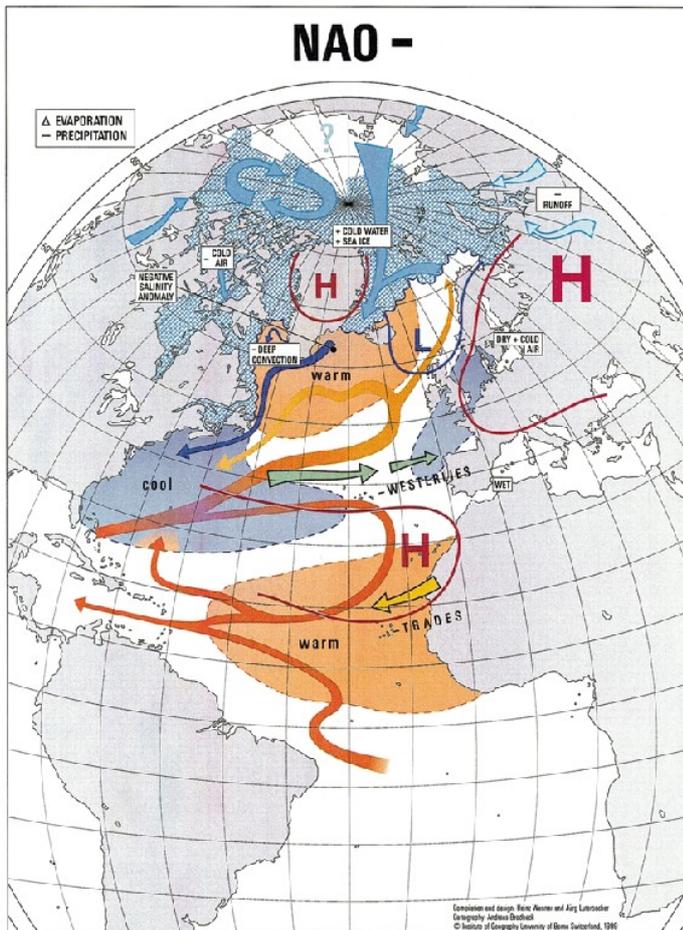


**Fig 4: storm activity , anomalie delle SLP, anomalie delle precipitazioni e delle temperature durante una fase NAO+**

**Fonte: North Atlantic Oscillation T. Osborn**

## 2.2. NAO negativa.

Nel caso la NAO sia negativa (valori  $< 0.5$ ) si ha la situazione opposta: entrambe le figure bariche risultano indebolite perciò sono più frequenti le azioni bloccanti in Atlantico con conseguente split



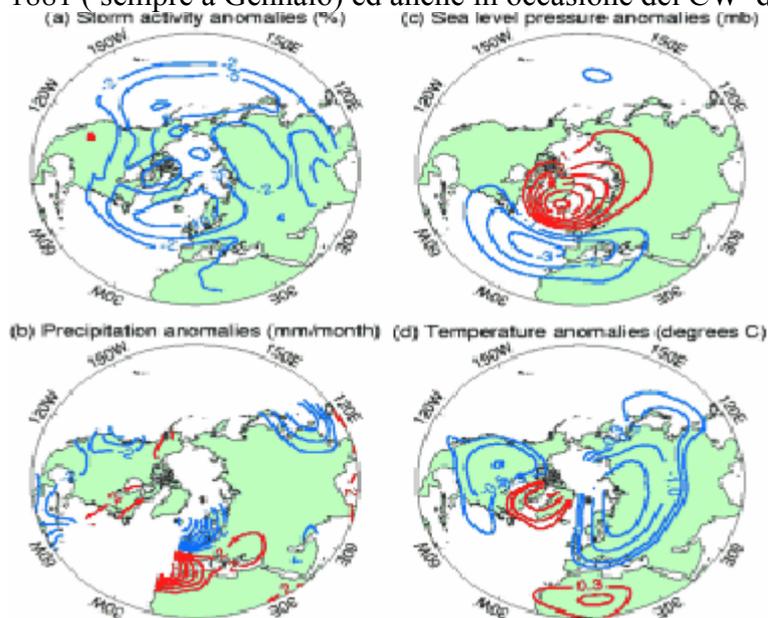
meridiano del getto polare in area Mediterranea. La riduzione del gradiente di pressione produce una riduzione dell'attività ciclonica sull'Atlantico ed uno spostamento verso sud del percorso dei cicloni extratropicali che d'inverno attraversano l'oceano raggiungendo l'Europa. Questa migrazione verso sud, fa sì che in questa fase della NAO gli inverni siano più secchi e freddi sul nord Europa, e più umidi e miti sull'Europa meridionale e sul Mediterraneo.

Sull'altra sponda dell'oceano, nella costa orientale degli Stati Uniti, invece, intrusioni d'aria fredda producono inverni freddi e nevosi. Viceversa, una NAO fortemente negativa indica la presenza di hp ad alte latitudini, quindi saranno possibili anche retrogressioni molto fredde da est, qualora però le altre figure bariche lo permettano.

**Fig 5:** viene rappresentata la situazione di un anno di NAO-. Vediamo le caratteristiche delle SST, le correnti oceaniche ed atmosferiche, le SLP e schematicamente vengono anche descritte le caratteristiche climatiche delle regioni influenzate dalla NAO.

Fonte: NAO concept and studies. H. Wanner

Esiste anche una configurazione più rara ( complete reversal NAO) con una alta pressione sulla regione islandese più alta di quella presente sulle Azzorre definite da un indice NAO estremamente negativo. Una situazione di questo tipo si è presentata nel Gennaio 1963 che fu caratterizzato da un forte flusso da est nelle regioni orientali del Nord Atlantico, e durante altre annate quali 1918 e nel 1881 ( sempre a Gennaio) ed anche in occasione del CW dell'Ottobre scorso .



**Fig 6: storm activity , anomalie delle SLP, anomalie delle precipitazioni e delle temperature durante una fase NAO+**

**Fonte: North Atlantic Oscillation T. Osborn**

### 3. Gli effetti della NAO.

#### 3.1) Influenza della NAO sulle temperature (7,12,23 )

I campi di anomalia di Tmax (Tmin) per i mesi con indice NAO positivo e negativo possono essere osservati nella fig. 7, 8. Durante le fasi positive della NAO nell' Atlantico meridionale , i **gradienti di SLP** sono aumentati, contribuendo al **rinforzo del westerlies** (Figs 7a e 8a). Tale rinforzo dei westerlies è responsabile di un'avvezione di aria calda umida al nord-est, producendo temperature più calde sopra la Scandinavia e la zona della Russia del Nord.

Questo calore anomalo inoltre si estende a buona parte dell' Europa centrale (e perfino sulla penisola iberica, Italia del Nord e Balcani) per la temperature massime di giorno (fig. 7), ma non per la temperatura minima di notte (fig. 8).

Sarà indicato successivamente che per i mesi di NAO invernale positiva, l' Europa centrale e la penisola iberica sperimentano in modo anomalo la circolazione anticiclonica e precipitazioni ridotte (come vediamo nella fig. 9a) e queste sono associate con nuvolosità ridotta. La radiazione solare ricevuta di giorno e le radiazioni a onda lunga uscenti la notte possono spiegare la differenza fra i risultati di Tmin e di Tmax.

Fonte Trigo et al ( 7)

13

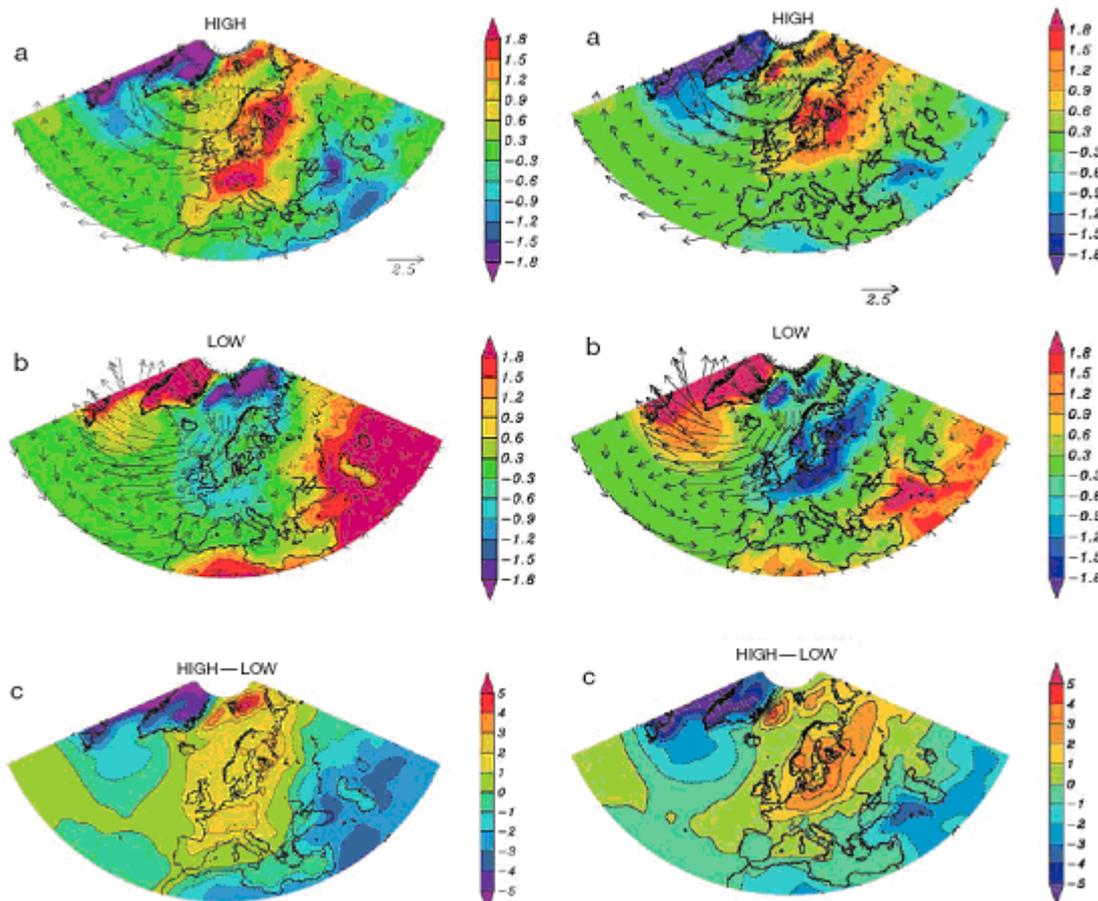


Fig. 7

Fig 8

Fig 7 : anomalie di t max (° C) per i mesi con NAO > 1 (a), NAO <-1 (b) e in (c) loro differenza. Sono anche rappresentati i vettori di anomalie del campo del vento a 10 m in caso di NAO + e -

Fig 8 : anomalie di t min con (a), (b), (c) come in fig 7

Fonte : M. Trigo (7).

Dal lato occidentale del bacino del nord Atlantico, una zona di forti anomalie negative si sviluppa fra Terranova e la Groenlandia come conseguenza dell'avvezione di aria fredda dalle latitudini polari e dal continente freddo.

Durante le fasi negative di NAO, il gradiente meridionale di SLP è indebolito, favorendo l'avvezione di aria atlantica calda sopra parte della Groenlandia e Terranova che è responsabile per una larga area delle anomalie positive sia di T max (fig. 7b) che di T min (fig. 8b). Un forte anomalo flusso dalle zone artiche effettivamente spinge aria fredda sul nord Europa. Tuttavia l'effetto di tale aria fredda continentale sull'Europa del Nord è significativamente più grande per T min che per T max. La risposta asimmetrica dei campi di T min e di T max sull'Europa è principalmente causata dalla mancanza di nubi durante le situazioni sinottiche tipiche che caratterizzano la fase negativa di NAO sull'Europa del Nord, vale a dire anticicloni di blocco e flusso easterly.

Vale la pena di notare che i valori di T max sono registrati solitamente durante la luce del giorno, mentre i valori di T min sono osservati solitamente verso la conclusione della notte. Quindi, durante il giorno la rafforzata radiazione ad onda corta solare è capace parzialmente di compensare l'avvezione di aria polare fredda per rendere minori le anomalie di T max, mentre durante la notte l'emissione di forti radiazioni ad onda lunga raffredda ulteriormente la troposfera più bassa. Tuttavia, l'analisi presentata qui dimostra l'importanza di un terzo processo. Questo processo è la modulazione data da anomalie nella copertura nuvolosa (connesso con la circolazione atmosferica anomala). Le influenze della copertura nuvolosa e del bilancio radiativo, modulano la risposta a NAO principalmente in termini di generazione delle anomalie differenti di temperatura di notte e di giorno.

La differenza in T max (T min) fra i mesi di alto ed indice basso di NAO è evidenziata nella fig. 7c (fig. 8c).

Come previsto, le più grandi differenze si trovano in Europa, Terranova /Groenlandia e sulla regione nord Africana- mar Caspio. L'ampiezza delle differenze Europee è più grande per T min che per T max. Tuttavia, l'estensione spaziale di tali differenze per la zona nordica del Africa/ mare Caspio è più grande per T max che per T min. Interessante sia T max che T min presentano importanti anomalie alle alte latitudini, sulla Groenlandia e a est di Spitsbergen.

È possibile che la circolazione media anomala precedentemente descritta possa guidare una distribuzione anomala corrispondente di **sea ice** sopra quelle 2 regioni, così da contribuire alle anomalie negative (positive) di T min e di T max per valori di indice di NAO bassi (alti).

In un ulteriore studio (12) è risultato che la relazione tra NAO e temperature hanno differenti caratteristiche a seconda delle aree studiate. Ci sono aree, come le isole Britanniche o la Scandinavia meridionale che sono influenzate sempre dallo stato della NAO. Inoltre queste aree presentano le massime anomalie associate sia a valori della NAO positivi (anomalie intorno a 1,5 ° C) che negativi ( anomalie negative di 1,5-2° C) e alta coerenza in tutte le fasi e con tutte le varie intensità della NAO

Altre zone, come l'Europa centrale, sono scarsamente influenzate dalla NAO durante fasi moderatamente positive, ( anomalie inferiori a 0,5° e coerenza del 60-70 %) , anche se durante episodi di NAO forte l'influenza cresce di molto, tanto da registrare una coerenza di oltre il 90 % e anomalie intorno a 1-1,5° C. In fase di NAO negativa, sempre in queste aree perde influenza sia in termini di temperatura che di coerenza.

Sulla penisola Iberica sembra esserci maggiore influenza in fasi moderatamente positive rispetto a fasi fortemente positive. Questo semplice fatto suggerisce che le temperature in buona parte dell'Europa non variano in maniera lineare rispetto alla fase e all'intensità della NAO.

### 3.2) Influenza della NAO sulle precipitazioni (7)

In questo paragrafo faremo riferimento alle medie mensili di 2 variabili rianalizzate, vale a dire, tasso di precipitazione quotidiano ed acqua precipitabile (PW).

I campi di anomalia del rain rate per i mesi invernali caratterizzati da alti e bassi valori di indice NAO sono indicati nella fig. 9a, b, rispettivamente. Entrambi i pannelli presentano segni opposti di anomalia a seconda della fase NAO. Questo fatto è descritto chiaramente dal campo high-low di indice di NAO rappresentato nella fig. 9c. i valori positivi di anomalia di rain rate sono concentrati alle latitudini nordiche e si estendono dalla Groenlandia del sud alla Russia del Nord, con i massimi vicino all'Islanda ed alla Scozia. Alle latitudini più basse, una fascia negativa del tasso di precipitazione quotidiano si allarga dagli U.S.A. orientali attraverso l'Atlantico costeggiando la Spagna, e continua presentando un allungamento più debole attraverso il Mediterraneo fino al Medio Oriente.

Per concludere, una più piccola anomalia ma costantemente positiva può essere rilevata nelle parti orientali dell'Africa del nord e del Mediterraneo del sud-est. La precipitazione aumentata dovrebbe essere spiegabile in termini di disponibilità e/o stati di incrementata umidità che aumentano la condensazione di vapore acqueo.

Il PW (precipitable water) fornisce una misura del primo termine, esprimendo il contenuto totale del vapore acqueo in una colonna verticale dell'atmosfera. I campi di anomalia di PW per i mesi di inverno caratterizzati da valori alti e bassi di indice NAO sono indicati nella fig. 10 a e 10b, rispettivamente.

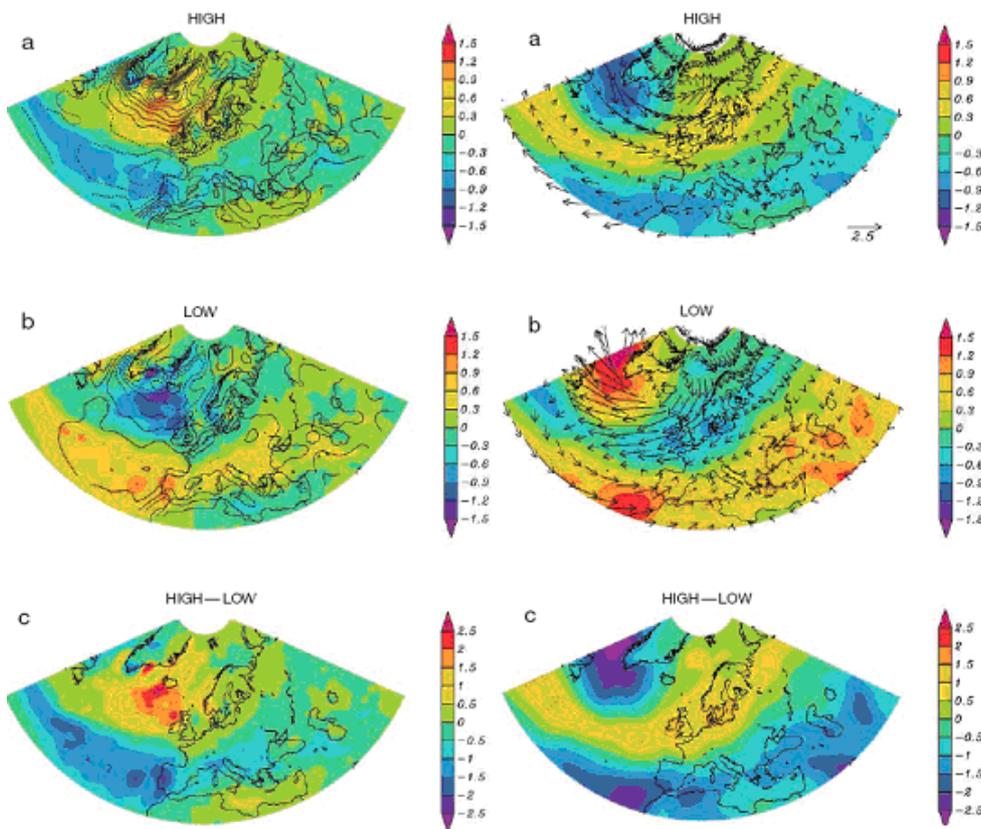


Fig 9

Fig 10

Fig 9: anomalie del tasso di precipitazione (mm/die) in caso di NAO > +1 (a) e NAO < -1 (b)

Fig 10: Anomalie dell'acqua precipitabile (mm/die)

Fonte M .Trigo (7)

La fig. 10a (fig. 10b) indica che mesi con un alto (basso) valore di indice NAO presentano una fascia positiva (negativa) di anomalia che si estende (che si estende dal Sud-Ovest al Nord-Est) da Terranova attraverso le isole britanniche fino in Russia del Nord. Questa fascia diagonale è circondata da due regioni dei segnali opposti di anomalia, uno presentante un forte concentrato di valori massimi a Sud della Groenlandia e l'altra fascia più vasta, dall'Atlantico subtropicale, attraverso il Mediterraneo fino al Medio Oriente, che si caratterizza per valori non così intensi di anomalia

Le caratteristiche di queste 3 regioni, sono aumentate nel campo high-low (fig. 10c). È ben noto che il contenuto del vapore acqueo in una colonna di atmosfera è altamente associato con la temperatura di quella stessa colonna. Così, le caratteristiche su grande scala del campo high-low di PW (fig. 10c) sono differenti dalle caratteristiche equivalenti del rain rate (fig. 9c) ma costantemente più simili ai modelli atmosferici corrispondenti di anomalia di temperatura (cioè, la media dei modelli di Tmax [ fig. 7c ] e di Tmin [ fig. 8c ]).

Gran parte della risposta del rain rate agli alti (fig. 9a) e bassi (fig. 9b) valori di indice NAO è associata a i valori anomali del campo di vorticosità. Il valore massimo di vorticosità positiva (negativa), rappresentata dalle strisce (tratteggiate) continue, è costantemente localizzato alcuni gradi a Nord delle regioni con più alto (più basso) valore medio del rain rate. Ricapitolando, anomalie del rain rate possono essere principalmente attribuite alla vorticosità (fig. 9), ma pure alle caratteristiche transitorie di circolazione di NAO correlate ai modelli di PW (fig. 10).

In uno studio sulla NAO (16) e le correlazione con schemi precipitativi è stata osservata un'alta correlazione tra NAO invernale e precipitazioni primaverili. Le più alte correlazioni le troviamo con le regioni occidentali. Le correlazioni più evidenti sono con i Balcani e l'Italia ma anche con la regione caucasica del Sud. Va comunque notato come la NAO non sia un fenomeno stazionario per cui nelle analisi a lungo termine i risultati delle correlazioni geografiche tendono a variare.

Sempre in questo studio viene confermata la correlazione tra NAO primaverile e **precipitation rate** estivo in alcune aree del Mediterraneo (Spagna, Ovest Africa, Sud Italia, Europa orientale). Anche per i mesi autunnali si è riscontrato una correlazione tra il **precipitation rate** e la NAO in particolare su Francia, Nord Africa, regioni Balcaniche, sud della Russia e Mediterraneo orientale.

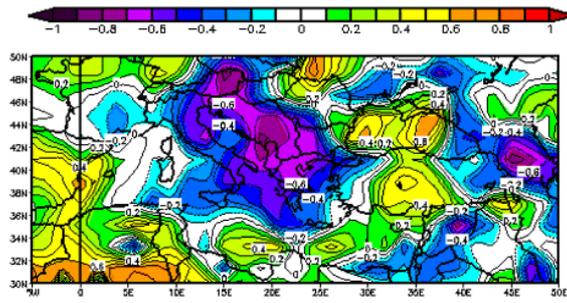


Fig 11 a

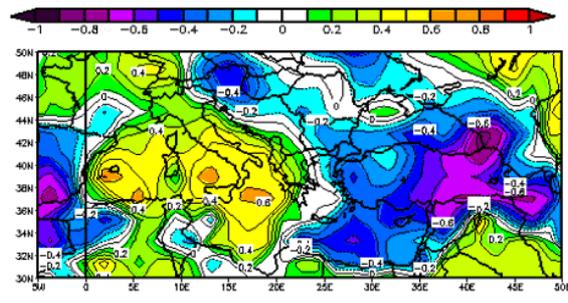


Fig 11 b

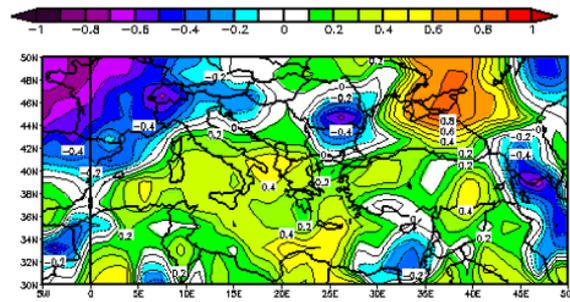


Fig 11 c

**Fig 11a:** correlazione stagionale tra precipitatio rate dei mesi Apr-May (1995-2005) e segno della NAO in Feb-Mar

**Fig 11b:** correlazione stagionale tra precipitation rate dei mesi Jun-Jul (1995-2005) e segno della NAO in Apr-May

**Fig 11c:** correlazione stagionale tra precipitation rate dei mesi Sept-Oct (1995-2005) e segno della NAO in Jul-Aug

Fonte: Oleg M. Pokrovsky (16)

### 3.3 Influenza della NAO sulla superficie isobarica di 300 hPa

La NAO ha distinte strutture nell'alta troposfera. In figura 12 si vede la correlazione tra l'anomalia di altezza gpt e l'indice NAO durante i mesi invernali (Novembre –Aprile) dal 1958 al 1997 (sec Roger)

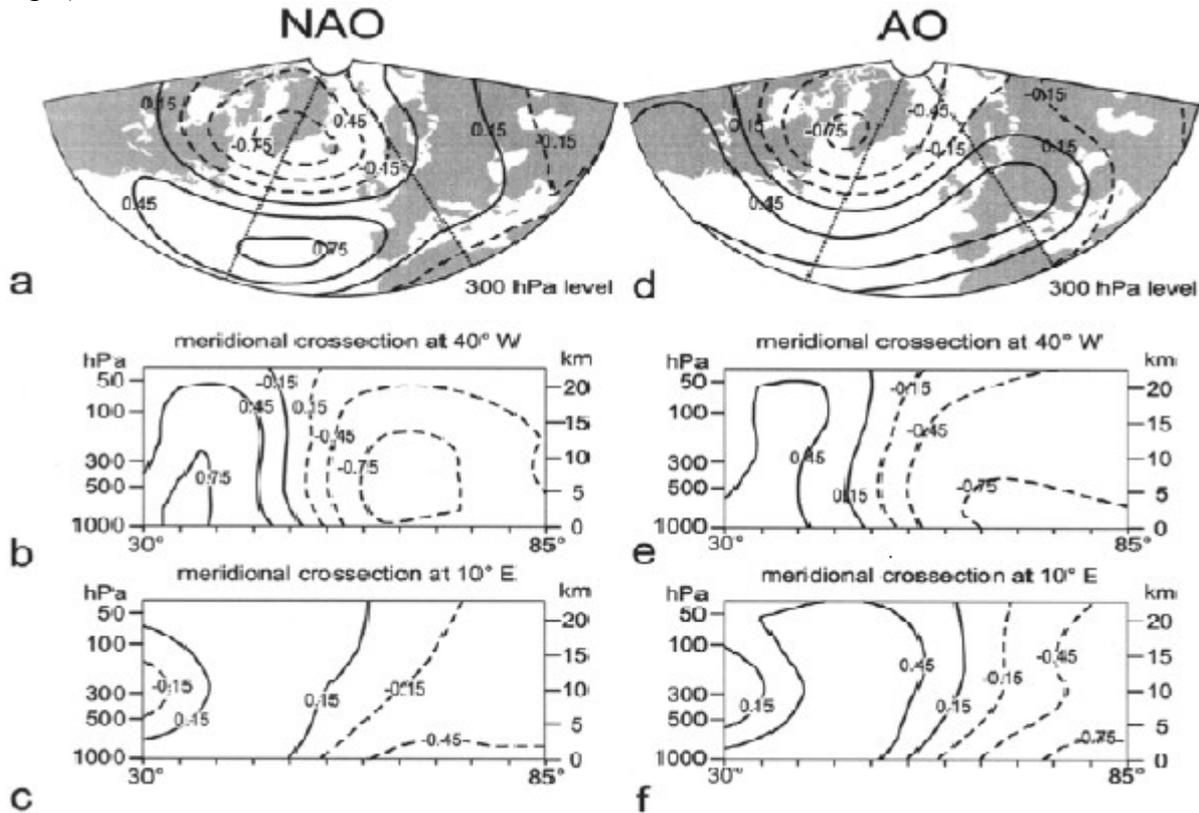
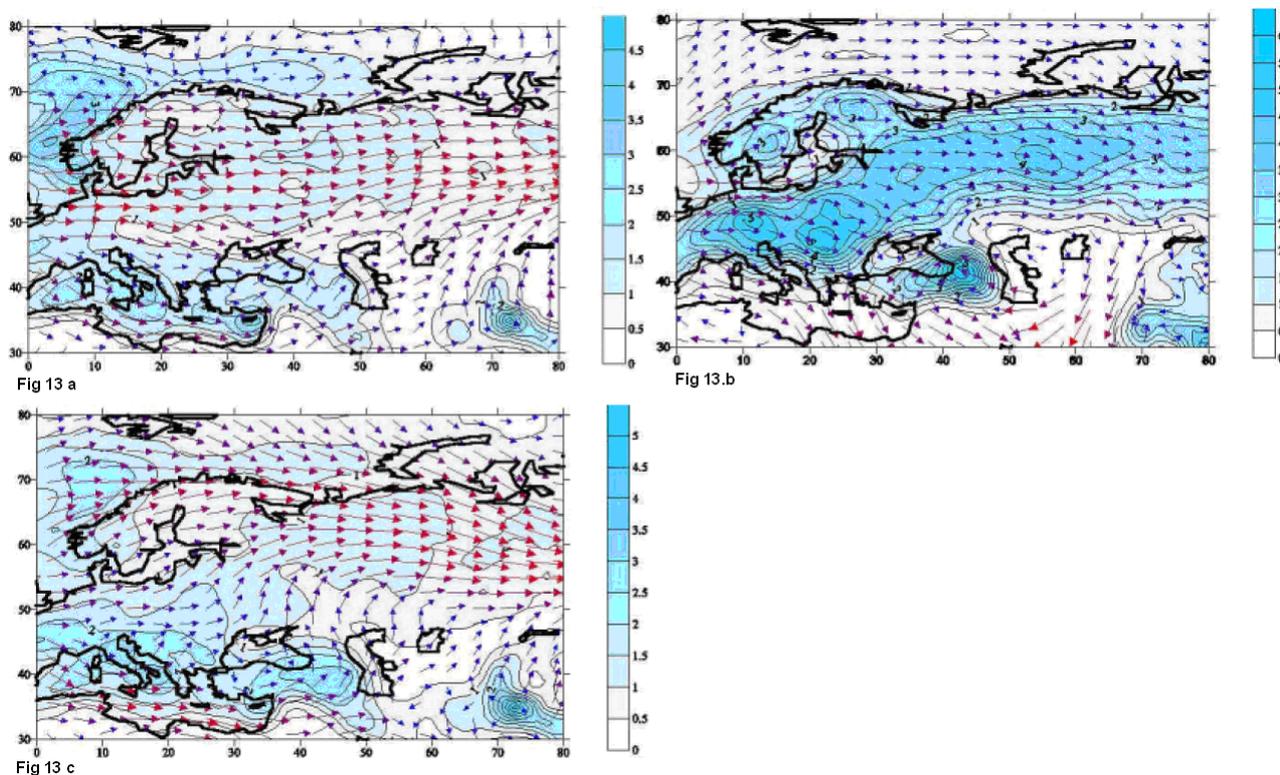


Fig 12: correlazione tra anomalie gpt e NAOI (a-c) e AOI (d-f) rispettivamente per i mesi da Nov ad Apr (1958-1997). In (a-d) mappa delle correlazioni a 300 hPa. In (b-e) crossection meridionale a 40° W. In (c-f) crossection a 10° E.

Fonte: H. Wanner (14)

Le correlazioni sono mostrate a 300 hPa in due sezioni al quarantesimo parallelo ovest e al decimo est. La carta a 300hPa differisce dalle SLP per pochi dettagli ( in alta troposfera le strutture dominanti sono spostate leggermente ad Ovest).Una struttura particolare viene rilevata a livello subtropicale senza ritrovarla a livello di superficie. Nelle figure **d-f** vediamo le correlazioni di altezza gpt con la AO. Nell'alta troposfera e stratosfera AO e NAO mostrano simili strutture nel nord Atlantico, ma i campi di altezza gpt rivelano chiaramente una più alta correlazione con AO. Il chiaro segnale nella stratosfera merita ulteriore attenzione poiché l'accoppiamento stratosfera-troposfera è rilevante per molti processi climatici quali il forcing climatico indotto dall'attività solare o da eruzioni vulcaniche o sistemi dinamici interni come gli improvvisi *stratwarming*, gli effetti dell'ENSO e della QBO e può essere pure utile per capire la variabilità a lungo termine dell'ozono stratosferico. Gli studi sul sistema accoppiato troposfera-stratosfera rivelano uno schema stratosferico che descrive la forza e la posizione del vortice polare e uno schema troposferico che assomiglia alla NAO.

### 3.4 Influenza della NAO sui regimi circolatori (16,39) :



**Fig.13:** nelle 3 figure sono indicati i venti a 850hPa e il precipitation rate tipico del periodo invernale (a), estivo (b), e tra autunno ed inverno (c).  
Fonte Oleg M. Pokrovsky (16).

Gli studi sulla relazione tra NAO e circolazione atmosferica negli ultimi 50 anni, hanno rivelato la correlazione con definiti pattern che coinvolgono l'Atlantico orientale e l'Europa. Passiamo a descrivere i tre principali regimi corrispondenti a variabilità stagionale. Il primo regime è principalmente zonale e determina un accentuarsi del rain rate su Alpi, Balcani, e catena Appenninica.

Il regime estivo sostanzialmente devia dalla struttura zonale e individua tre principali sistemi di vorticità a livello del NW della Scandinavia, del Mediterraneo occidentale e nella regione Caucasica. Si rilevano anomalie pluviometriche con massimi di rain rate localizzati tra il 50-60 ° N mentre i minimi li localizziamo nel sud Europa a causa del richiamo Africano.

Infine in tardo autunno e inizio inverno ritroviamo tre sistemi di vorticità nel NW Europa sul'Africa settentrionale e sulla Russia settentrionale ( mar di Kara). Riprende vigore la circolazione zonale europea e giungono un maggior numero di perturbazioni dall'Atlantico. Il rain rate invernale è più uniformemente distribuito a varie latitudini europee rispetto a quanto avviene d'estate, e precipitazioni più intense sono registrate nel sud Europa a causa del trasporto di umidità proveniente dall' Atlantico. Un altro importante meccanismo è il flusso non zonale meridiano nel mediterraneo occidentale e nell' area caucasica.

NAO così come AO ha sostanzialmente aumentato la forza a partire dalla fine dell' ottocento e per tutto il novecento. Gli schemi circolatori atmosferici sono stati spostati verso nord in questo periodo. Di conseguenza il clima in Sud Europa è divenuto più asciutto e più siccitoso nei mesi caldi dell'anno, mentre tende ad essere più caldo rispetto al passato nei mesi freddi.

Generalmente durante una fase NAO + invernale si nota uno shift settentrionale dei sistemi perturbati, con attività rinforzata sul sud della Groenlandia verso l'Islanda ed il nord Europa, associato ad un ridotto coinvolgimento dell' Europa meridionale specie su penisola Iberica e regione Mediterranea. Questa situazione comporta anche l'aumento in altezza delle onde a latitudini settentrionali, il contrario a latitudini meridionali. I cambiamenti nei flussi atmosferici e nella

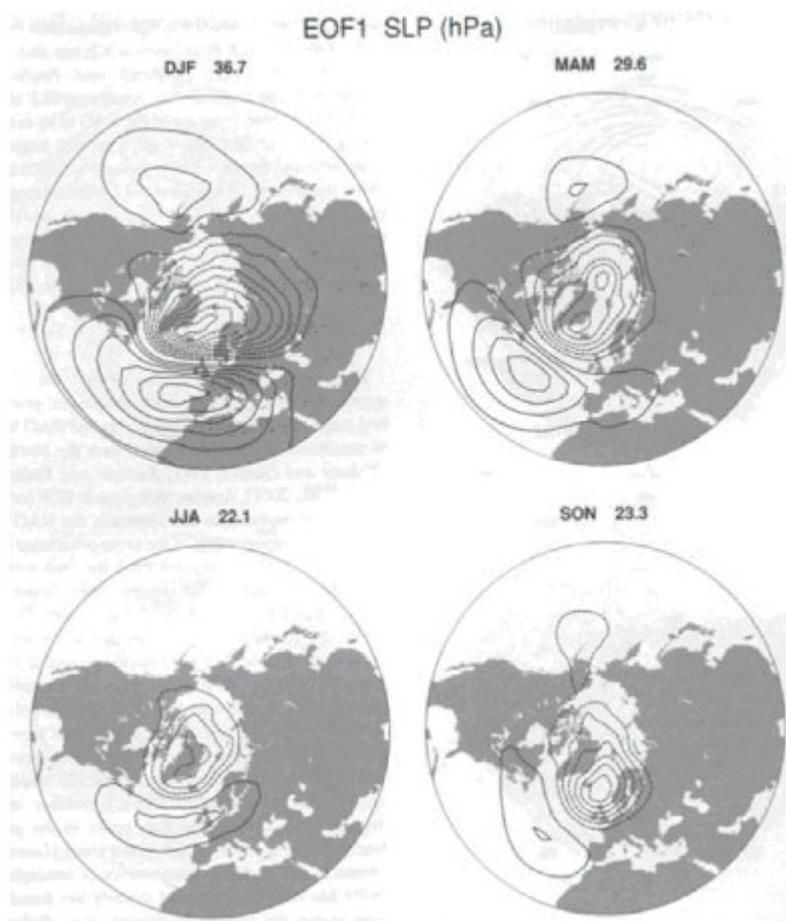
direttrice delle storm track causati dall'alternarsi di fasi NAO + e – determina ovviamente ( vd paragrafi precedenti) cambi nel trasporto e nella convergenza dell'umidità e perciò anche alterazioni dell'evaporazione e delle precipitazioni. La considerazione del trend di NAO + che viviamo a partire dagli anni 60 spiega anche un altro fenomeno: i ghiacciai delle regioni scandinave sono in controtendenza rispetto ai ghiacciai alpini e questo si spiega proprio con le maggiori precipitazioni che si realizzano a causa di questa situazione

### 3.5 Summer NAO (8)

La SNAO è l'analogo estivo della NAO: sia le SST che il segno della NAO invernale si influenzano scambievolmente almeno a livello interannuale. L'analisi MCA (Maximum Covariance Analysis) calcolata sul rapporto mensile tra SSTA e l'anomalia di altezza geopotenziale a 500 hPa nel bacino Pacifico durante il periodo 1958-1993, suggerisce che significanti risposte atmosferiche locali si realizzano in estate, secondo vincolo imposto dalle SSTA .

In estate la summer NAO (SNAO) è chiaramente associata con le SST . Interdecadalmente la SNAO è associata con AMO ed a livello interannuale con El Nino. Ci sono alcune evidenze che gli effetti di El Nino sulla SNAO possano essere più forti che quelli indotti dalla Nina.

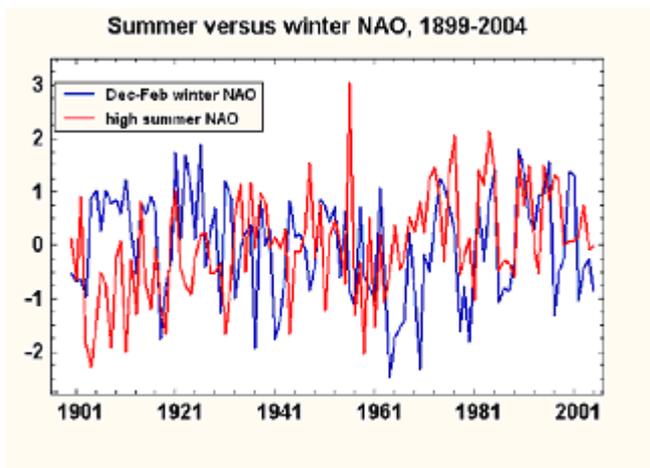
Infine notiamo che l'influenza aggiuntiva in inverno, in special modo per l'inizio di inverno della zona RM ( che potrà essere calda o fredda ) comparato col tripolo invernale atlantico, è interessante.



**Fig 14**

**Fig 14: ciclo annuale della NAO come definito dall'EOF sulla base delle SLP nella regione 20°-70°N , 90°W-40°E. Fonte: C. Folland (23).**

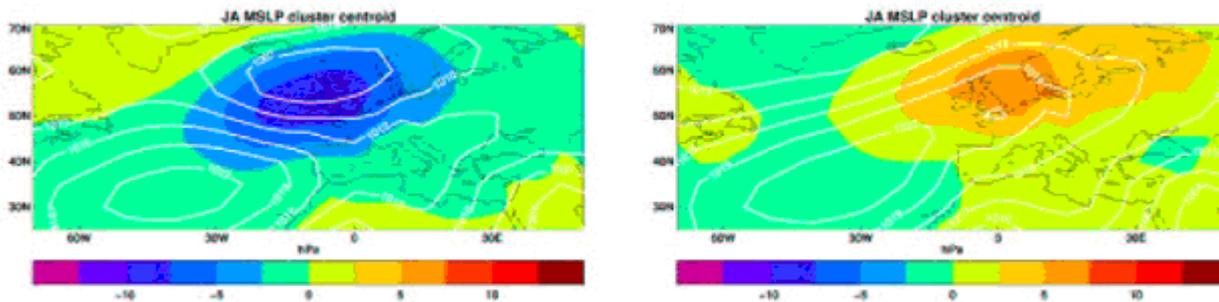
La correlazione con la NAO invernale come da figura 15 è molto bassa anche se possiamo distinguere nel grafico una maggiore concordanza dopo il 1950, comunque non particolarmente significativa. E pertanto possono essere considerate come variabili indipendenti. Le anomalie negative della SNAO tendono ad essere poche centinaia di km ad ovest rispetto a quelle della SNAO positiva come si può osservare in fig. 16. Il cluster negativo corrisponde ad un flusso ciclonico indirizzato verso l'Europa occidentale (specialmente su UK), mentre il cluster positivo è associato a condizioni anticicloniche, sempre nella stessa regione. Possiamo quindi osservare come la SNAO assuma notevole importanza nella variabilità climatica europea estiva, al pari della NAO invernale.



**Fig 15**

**Fig 15 Summer NAO versus winter NAO**

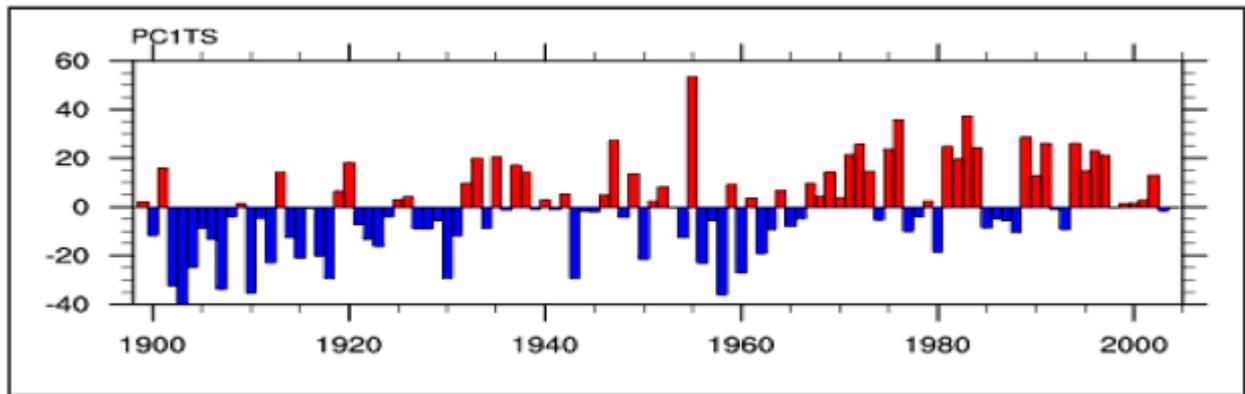
Fonte C. Folland (8).



**Figura 16**

**Fig. 16: SLP secondo I due modelli SNAO negative e positive nel periodo 1850-2003. Le pressioni assolute sono rappresentate dalle linee bianche mentre le anomalie riscontrate nel periodo 1961-1990 sono colorate**

Fonte: C. Folland (8)

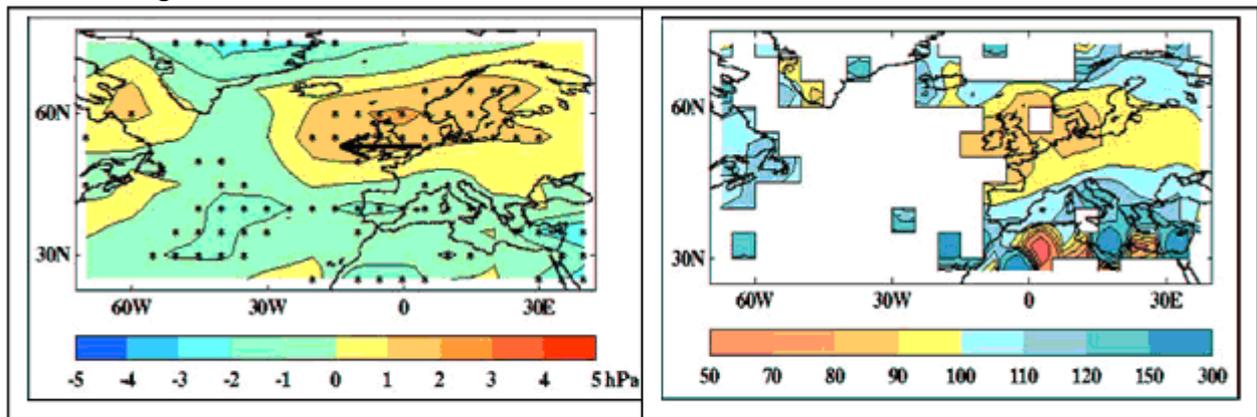


**Fig 17**

**Fig 17: andamento multidecadale della summer NAO.**  
 Fonte: C.Folland et al. (8).

Pure la summer NAO segue fluttuazioni multidecadali (fig 17). Tende ad essere negativa nei primi anni del 900, neutrale tra il 1930 ed il 1955, negativa nella decade successiva e successivamente una tendenza all'aumento fino a raggiungere un picco negli anni 80 , tendendo quindi a diminuire con un trend confermato negli anni 90.

Come la NAO invernale la SNAO può influenzare debolmente le SLP e le precipitazioni come mostrato in fig. 18.



**Fig 18**

**Fig 18: differenze nelle SLP tra un periodo di alta SNAO (1967-1998) rispetto ad uno di valori relativamente bassi (1921-1960). Gli asterischi indicano i luoghi dove esistono significative differenze tra le SLP dei due periodi. A destra stesso confronto riguardante le precipitazioni**  
 Fonte C.Folland et al (8).

La tendenza ad estati siccitose sull'UK e sulla Russia occidentale è evidente. Sul Mediterraneo l'estate tende a divenire più piovosa. Tuttavia questa tendenza sembra ultimamente invertita.

## Anomalous Rainfall (JA) 1967-2000

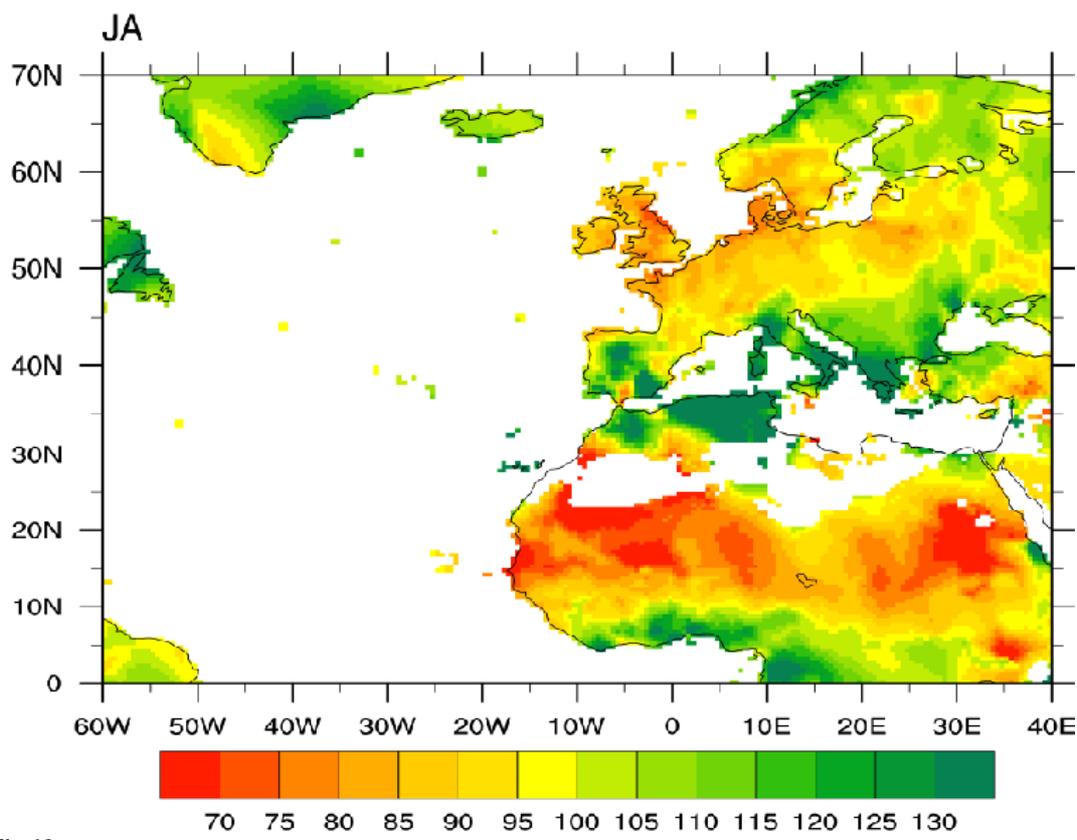
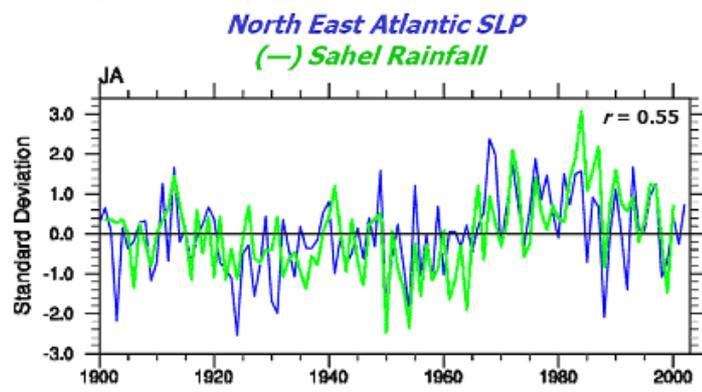


Fig 19

**Fig 19** Precipitazioni nel periodo estivo 1967-2000 minus 1921-1960  
 Fonte C. Folland (8).

La fig 19 evidenzia un collegamento tra le variazioni di precipitazioni registrate in Europa e nella regione del Sahel relativamente al confronto tra 1921-1960 e 1967-2000. Questo collegamento fu notato inizialmente da Folland et al(1988).

E' ben noto che le SST in varie parti del mondo hanno un influenza sulle precipitazioni nella regione Sahel attraverso la modulazione dei flussi umidi verso la zona di convergenza Nord Africana ( ITCZ). Le stesse SST sono usate come il principale fattore influenzante le previsioni stagionali delle precipitazioni nel Nord Africa fatte da Met Office. Su scala decennale le influenze delle SST sono molto diffuse. C'è da chiedersi se le variazioni della summer NAO possano essere collegate alle precipitazioni del monzone Africano. Per definire l'influenza delle SST sulla SNAO esaminiamo prima le variazioni delle SST su una scala subdecadale.



**Fig 20:** precipitazioni estive del Sahel e SLP dell'Atlantico Nord orientale dal 1899 al 2002.  
 Fonte C. Folland et al (8)

Fig 20

La Fig 21 evidenzia alcune apparenti influenze dell' ENSO sulla SNAO negli schemi delle SST per i mesi di Giugno e Luglio che rafforzano col progredire della stagione. Appare influenzante anche la presenza dello schema tripolare sul N atlantico anche se coll'avanzare della stagione perdono importanza. Apprezziamo come gli schemi delle SST siano opposti nelle due situazioni proponibili per SNAO. Questa correlazione con le SST si perdono coll'avanzare della stagione. Va notato nelle stesse figure la correlazione esistente tra ENSO e precipitazioni nella regione del Sahel.

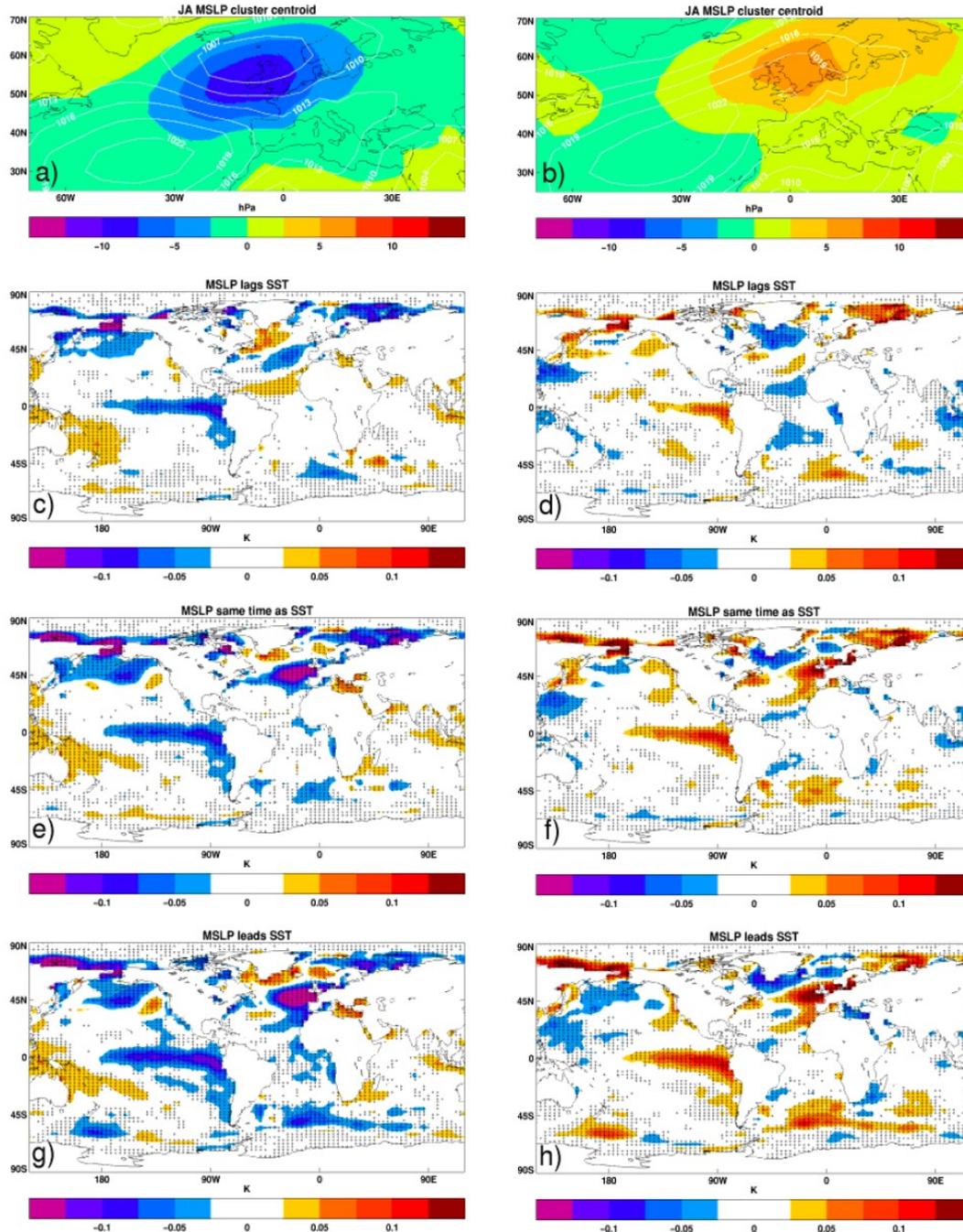


Fig 21

**Fig 21: associazione tra i due cluster della SNAO e le SST mondiali, filtrate in modo da evidenziare solo le variazioni delle SST. Sotto i due cluster di SNAO sono evidenziate le anomalie delle SST associate al periodo precedente (c,d) simultaneo (e,f) e successivo (g,h).**

Fonte: C. Folland (8).

### 3.6 Influenza della NAO invernale sulla circolazione atmosferica estiva. (9,10)

Il clima estivo nel Nord Europa è influenzato dalla NAO del precedente inverno. Ricontriamo questa influenza nei valori estivi di temperatura superficiale, altezza geopotenziale, SST, presenza di ghiaccio marino/ copertura nevosa, venti.

Gli studi di Rigor et al [2002] mostrarono che la concentrazione estiva di ghiacci sul mare nell'Oceano Artico era collegato alla fase AO del precedente inverno.

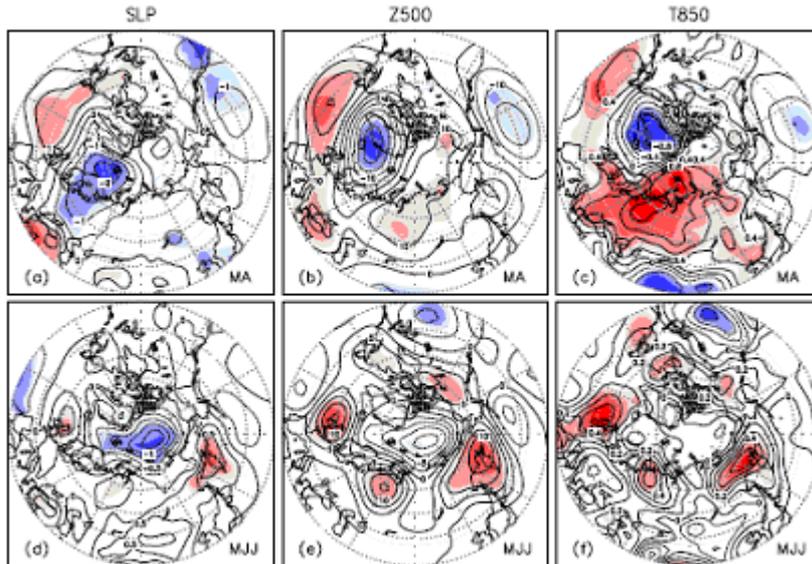


Fig 22

Fig 22: confronto tra le SLP, altezza gpt a 500 hPa e temperature a 850 hPa tra primavera (MA) ed estate (MJJ)  
Fonte: M.Ogi (9).

I modelli atmosferici correlati alla NAO sono mostrati in figura 22. Il quadro delle SLP primaverili mostra un'alternanza tra una area positiva sul nord Atlantico e negativa centrata sul mar di Groenlandia( fig 22a). In figura 22b vediamo la carta a 500 hPa che mostra uno schema simile sulle aree sopra menzionate, solo in Siberia si notano differenze. La carta delle temperature a 850 hPa (fig 22 c ) mostra un area calda sul Nord Atlantico che si estende ad est attraverso l'eurasia ed un più evidente segnale si colloca sulla Siberia (ove era presente l'anomalia barica).

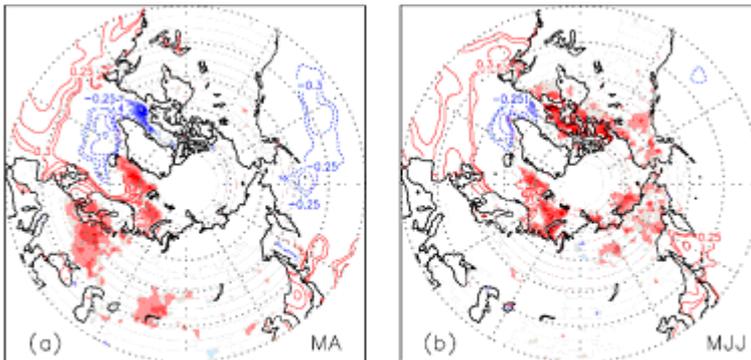
Vediamo cosa succede in estate: SLP e carta a 500 hPa sono caratterizzate da uno schema alternante tra regione artica (negativa) e sub artica (positiva, specie sulle isole Britanniche, sulla Siberia centrale e nel nord del mare di Okhotsk). Le anomalie del mare di Okhotsk sono relative all'anticiclone che ivi staziona in estate e che è in grado di influenzare le precipitazioni monsoniche in Giappone, Corea e Cina. Nella mappa a 850 hPa si vedono evidenti positività nella zona circumpolare specialmente sul nord-ovest Europa, Siberia centrale e nordorientale. Quando la NAO invernale è in fase positiva le temperature sulla regione circumpolare sono più calde, con una correlazione tra le aree più calde con quelle con più alta anomalia geopotenziale. Una struttura dipolare con correlazione positiva individuata tra 70-75°N e negativa tra 50-55°N è chiara. Perciò quando la NAO invernale è in fase positiva le westerlies estive a 70-75°N tendono ad essere più forti e quelle tra i 50-55° N tendono ad essere più deboli.

Attorno a 40°N, dove si colloca il jet subtropicale, non c'è correlazione significativa. Questo indica che dopo una NAO invernale positiva si determina in estate una struttura dipolare che è da imputare a fenomeno di blocking atmosferico.

Vediamo ora la correlazione che c'è tra NAO invernale e copertura nevosa/ sea ice. Abbiamo visto come la NAO sia in grado di influenzare la circolazione atmosferica estiva, pur se l'atmosfera stessa non mantiene una sorta di memoria per cui l'influenza è limitata solo fino al mese di Marzo.

Discorso diverso va invece fatto per SST, ghiacci marini e copertura nevosa.

In anni di NAO + invernale (fig 23) si notano SST più calde, meno ghiacci marini e meno copertura nevosa. Un'area di SST fredde con presenza di ghiaccio in mare la ritroviamo nel Nord Atlantico e nel mare del Labrador. Questa area fredda è circondata da SST calde a sud e ad est e dalla presenza di meno ghiacci sul mar di Groenlandia e sul mare del Barents. Queste anomalie delle SST e dei ghiacci marini associate con la NAO persistono durante l'estate, e ciò indica che l'influenza della NAO invernale è memorizzata nell'Oceano e nei ghiacci marini, che hanno una grande inerzia più che l'atmosfera. Un altro candidato per la memoria pluriennale è la copertura nevosa: anomalie negative della copertura nevosa sull'Europa dell'ovest e Asia centrale in primavera e quelle sopra la Siberia orientale in estate sono statisticamente evidenziate in fig. 23



**Fig 23:**

**Fig 23: correlazione tra NAO invernale (DJF) e le SST, sea ice e snow cover primaverili (MA). Con le linee sono evidenziate le correlazioni positive ( in rosso), e negative (blu) delle SST. Le aree tratteggiate sull'Oceano indicano le correlazioni con il sea ice, le aree colorate sui continenti lo snow cover.**

**Fonte: M.Ogi (9).**

Poiché l'est della Siberia è montagnosa lo scioglimento della neve è ritardato se confrontato alle altre regioni ed il segnale della copertura nevosa è presente in questa area pure d'estate. L'anomalia della copertura nevosa in estate sulle zone sub-artiche nord americane risultano essere spesso negative. Un precoce disgelo sull'ovest dell'Eurasia è considerato l'effetto delle temperature più alte e da minori nevicate nell'inverno. In generale il tempo del disgelo nelle regioni circumpolari in entrambe i continenti è più semplice da calcolare negli anni con NAO positivo che dopo uno negativo.

La copertura nevosa influenza il locale riscaldamento attraverso il fenomeno dell'**albedo** durante la stagione. Anche dopo lo scioglimento la copertura nevosa influenza il riscaldamento atmosferico attraverso l'umidità. Gli effetti di un eccessivo innevamento nel continente eurasiatico in primavera influenza il clima sia in Eurasia che in Nord America.

## 4. La variabilità della NAO(1).

Fino a questo punto abbiamo dato le basi per capire cosa sia la NAO e la fenomenologia associata alla variabilità di questo indice. Andiamo ora a studiare la NAO secondo la variabile temporale e geografica. Nello schema sottostante abbiamo la possibilità di apprezzare come questo indice tenda a mutare continuamente mostrando variabilità intramensile, interannuale e comunque anche un trend multiannuale. Osservando il grafico notiamo infatti come vi siano stati periodi continuativamente con indice positivo e negativo: una fase tendenzialmente negativa (faccio notare come intervallati comunque vi siano anni con NAO positiva anche se non franca) è apprezzabile dagli anni 50 agli anni 70 (con brevi intervalli in modalità positiva non accentuata). Da allora stiamo subendo invece l'influenza di una fase positiva che tuttavia come mostrato dal grafico successivo è in fase di inversione.

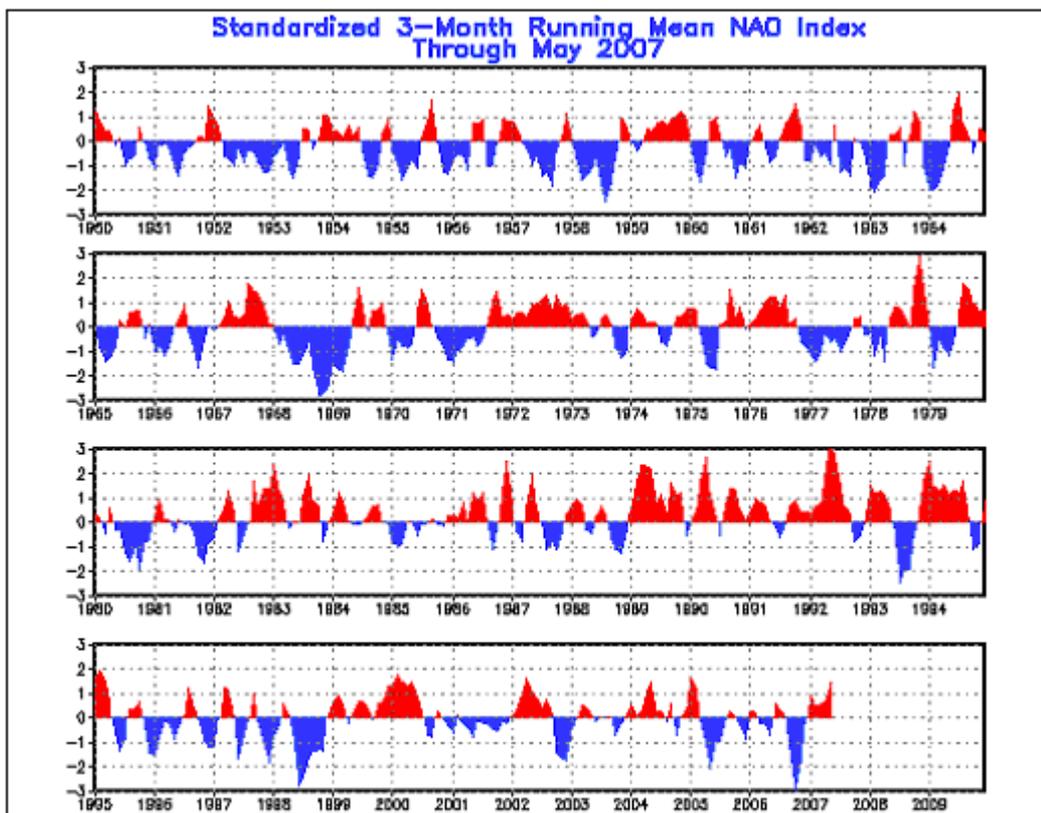


Fig 24

Fig 24: variabilità della NAO  
Fonte CPC.

Se guardiamo questo secondo grafico, riferito alla media stagionale invernale (JFM) standardizzata della NAO, vediamo che dalla metà degli anni 90 il trend è verso una fase negativa, descrivendo appunto l'andamento ciclico di cui abbiamo parlato sopra. Tuttavia si sta valutando la possibilità che gli attuali cambiamenti climatici e la variabile antropogenica (*Global Warming*) possano indurre un'alterazione nel comportamento della NAO.

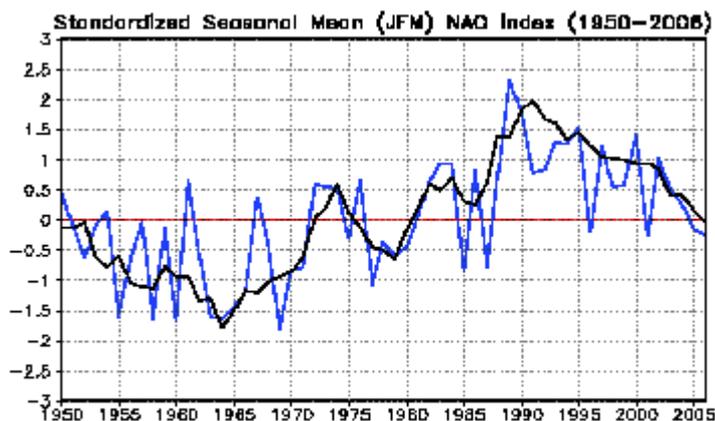


Fig 25

Fig 25: media standardizzata invernale (JFM) della NAO dal 1950 al 2006.  
Fonte: NAO stato dell'arte. S. Augustoni.

Quello appena descritto è semplicemente lo schema accademico, dato che la disposizione dei due centri governanti la NAO è davvero molto variabile, sia in termini di localizzazione che in termini di forza. La disposizione tipica mostra i due centri di azione nell'Oceano Atlantico (quindi LP islandese ed HP tra le Azzorre e la Spagna), ma sono possibili spostamenti nelle diverse direzioni, per cui potranno proporsi schemi configurativi di volta in volta più oceanici o più continentali. Tuttavia shift in tutte le varie possibili direzioni sono possibili, quindi potranno proporsi disposizioni di volta in volta più oceaniche o più continentali. Proprio su questa base potranno proporsi disposizioni che portano alla proposizione di innesco di pattern "collaterali":

1. se i due centri tendono a posizionarsi maggiormente sul continente, con bassa pressione fra le isole Faer Oer e la Scandinavia e alta pressione dinamica sul Mediterraneo. Questa configurazione contiene il pattern EA+ per quel che riguarda l'alta pressione subtropicale (fra Nord africa e Mediterraneo).
2. In fase NAO- notiamo una configurazione continentale, con alta pressione fra Islanda, Scandinavia e Russia europea e bassa pressione fra basso Nordatlantico e Mediterraneo (questa figura può contenere il pattern SCAND+). Oppure si ha una configurazione maggiormente oceanica con NAO neutra, con alta pressione dinamica in risalita dalle Azzorre verso Groenlandia/Islanda e canale di bassa pressione fra regione finno/russa e Mediterraneo centro-orientale (questa configurazione può contenere il pattern SCAND- per quel che riguarda l'bassa pressione subpolare e contemporaneamente EA- per quel che riguarda l'alta pressione in risalita sul Nordatlantico).

Negli ultimi tempi a dominare sono le figure meno tipiche: con NAO+ si ha spesso la "configurazione continentale", con NAO- quella "oceanica". Come mai?

- una sorta di "shift" di tutti i sistemi barici verso nord, tale per cui NAO+ oggi tende ad identificarsi con la configurazione estiva, quindi alta pressione fra medio Nordatlantico,

UK e Europa centro-occidentale e bassa pressione più a nord, fra Groenlandia e mar di Norvegia; con NAO- si avrebbe invece l'opposto.

- durante la fase NAO+ i centri d'azione sono semplicemente spostati verso est e durante la fase NAO- verso ovest. Perché succede questo? Alcuni autori fanno riferimento alla fase attuale delle SSTA+ nordatlantiche (AMO+) o nord pacifiche (PDO-).
- In un clima più caldo come quello attuale rispetto ai decenni precedenti, sia la bassa pressione subpolare che l'alta pressione subtropicale tenderebbero a spostarsi verso nordest.
- Sarebbe una conseguenza del trend pluriennale verso NAO maggiormente + durante le ultime decadi del XX secolo.

In termini di fenomenologia si deve fare una considerazione: una NAO – non implica gioco forza un inverno freddo, come del resto una NAO + non dà la certezza di inverni più miti. Questo perché al di là di realtà regionali che possono sfuggire a questa regola si deve sempre tenere in conto che la NAO non opera da sola ma in sinergia con altre teleconnessioni.

A volte capita che in un ciclo di NAO + o di NAO - vi siano anni intermedi o anni di transizione o anni di inversione di tendenza; questo perché all'interno di un ciclo il clima reagisce con una sorta di gestazione dell'evento futuro oppure con una sorta di memoria (rispetto agli anni precedenti e a questo proposito risulta giocare un ruolo importante la capacità dell'oceano di risultare più a lungo un serbatoio termico).

Nelle ultime decadi la NAO è anche influenzata dai recenti cambiamenti climatici alle medie e alte latitudini dell'emisfero boreale, sia a carico dell'ecosistema terrestre che marino.

Tra i cambiamenti climatici a cui facciamo riferimento ci sono:

1. Rinforzate westerlies subpolari dalla superficie alla bassa stratosfera. (Thompson et al. 1999).
2. Inverni più miti in Europa e Asia, al contrario, inverni più freddi nel Canada orientale e sul NW Atlantico (Hurrell 1995a; Wallace et al. 1995; Hurrell 1996; Shabbar et al. 1997; Thompson and Wallace 1998).
3. Notevoli cambiamenti negli schemi precipitativi. (Hurrell 1995a; Hurrell and van Loon 1997; Dai et al. 1997) risultanti nell'avanzata di alcuni ghiacciai europei (Hagen 1995; Sigurdsson and Jonsson 1995 riferendosi ai ghiacciai Scandinavi che al momento sembrano gli unici in ambito boreale di controbattere il GW) e la ritirata dei ghiacciai alpini (Frank 1997).
4. Cambi nella copertura dei ghiacci marini polari (Chapman and Walsh 1993; Maslanik et al. 1996; Cavalieri et al. 1997; Parkinson et al. 1998; McPhee et al. 1998; Deser et al. 1999). Quest'anno la riduzione volumetrica ha fatto registrare un record.
5. Pronunciata riduzione del sea level pressure (SLP) sull'Artico (Walsh et al. 1996).
6. Cambio nelle proprietà fisiche delle acque dell'Oceano Artico. (Sy et al. 1997; Morison et al. 1998; McPhee et al. 1998; Dickson 1999; Dickson et al. 1999a,b). Affronteremo anche in questa dispensa le influenze della salinità delle acque e delle acque profonde.
7. Cambiamento nell'intensità della convezione in Labrador, e nei mari della Groenlandia e Islanda. (Dickson et al. 1996; Houghton 1996) che a turno influenzano la forza e il tipo della circolazione overturning atlantica meridionale.
8. Il raffreddamento stratosferico sopra il circolo polare (Randel and Wu 1999), e la perdita dell'ozono più a nord del 40° parallelo (Randel and Wu 1999; Thompson et al. 1999).
9. Alterazioni nella storm activity e spostamento dello storm track. (Hurrell 1995b), cambiamenti nella variabilità intrastagionale (ad es. Blocking).
10. Tendenza all'aumento in N Atlantico dell'altezza delle onde. (Kushnir et al. 1997).
11. Cambiamento nella lunghezza delle stagioni sull'Europa (Post and Stenseth 1999)

Tutte queste alterazioni sembrano imputabili all'attuale trend della NAO.

## Bibliografia.

### Link utili:

[Climate Prediction Center - Teleconnections: North Atlantic Oscillation](http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao_update.htm)

[http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao\\_update.htm](http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao_update.htm)

<http://www.met.rdg.ac.uk/cag/NAO>

<http://www.cgd.ucar.edu/~jhurrell/nao.html>

[www.cpc.ncep.noaa.gov/data/snow/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/snow/) copertura nevosa eurasiatica

## Bibliografia

1. **NAO state dell'arte (1-6):** a cura di Stefano Agustoni (Comitato Scientifico MeteoNetwork).
2. **North Atlantic Oscillation** Tim Osborn <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/nao/>
3. **Welcome to the North Atlantic Oscillation** www-page 1.mht Page Created by Ian Bell and maintained by M. Visbeck.
4. **What Is the Best Lagged predictor of the Winter North Atlantic Oscillation?** C. G. Fletcher and M. A. Saunders COAPEC Student Workshop, July 2004. [http://forecast.mssl.ucl.ac.uk/docs/EGUTALK\\_270404.pdf](http://forecast.mssl.ucl.ac.uk/docs/EGUTALK_270404.pdf)
5. **Seasonal predictability of the winter NAO from north Atlantic sea surface temperatures** Mark A. Saunders and Budong Qian. Geophysical research letters vol. 29, 2002.
6. **Role of ozone on the solar cycle modulation of the North Atlantic Oscillation** By Yuhji Kuroda, Koji Yamazaki and Kiyotaka Shibata. Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 06672, 2007
7. **The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms.** Ricardo M. Trigo, Timothy J. Osborn, João M. Corte-Real. Climate Research, Vol. 20: 9–17, 2002
8. **Assessment of time varying influence of SST and atmospheric circulation on European surface temperature and precipitation** Tara Ansell, Chris Folland, David Fereday, Adam Scaife, Jeff Knight, Andreas Philipp, Jucundus Jacobeit, Paul Della-Marta, Pascal Yiou, Nicolas Fauchereau, David Lister, Phil Jones, Anders Moberg, Rezwan Mohammad, Manola Brunet. [http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/emulate/EMULATE\\_D11.pdf](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/emulate/EMULATE_D11.pdf)
9. **Impact of the wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) on the summertime atmospheric circulation** Masayo Ogi, Yoshihiro Tachibana and Koji Yamazaki. Geophysical Research Letters, Vol. 30, n°. 13, 2003.
10. **Summer extent heralding of the winter North Atlantic Oscillation.** M.A. Saunders, B. Qian, B. Lloyd-Hughes. EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #9264
11. **Tropical Atlantic Variability: Patterns, Mechanisms, and Impacts** Shang-Ping Xie, James A. Carton. American Geophysical Union Geographical Monograph Ocean-atmosphere interaction and climate variability October 16, 2003, submitted
12. **A study on NAO variability and its possible non-linear influences on European Surface Temperature.** Pozo-Vázquez, M. Staudt, F.S. Rodrigo and Y. Castro Díez Dpto. Física, Universidad de Jaén, Spain. <http://xtide.ldeo.columbia.edu/~visbeck/nao/poster/Pozo.pdf>
13. **Teleconnessioni: introduzione generale** a cura di Marco Magnani (Comitato Scientifico MeteoNetwork). <http://forum.meteonetwork.it/showthread.php?t=56080>
14. **North Atlantic Oscillation concepts and studies.** H. Wanner, Stefan Bronnimann, Carlo Casty, Dimitrios Gyalistras, J. Luterbacher, C. Schmutz, D. Stephenson, E. Xoplaki. Surveys in Geophysics **22**: 321–382, 2001.

15. **Decadal change in the link between El Niño and springtime NAO and European- North African rainfall** P. Knippertz, U. Ulbrich, F. Marques, J. Cortereal. *Int. J. Climatol.* 23: 1293–1311 (2003)
16. **South European Rain Rate Modulation by NAO and Atmospheric Circulation Regimes** Oleg M. Pokrovsky  
[http://balwois.mpl.ird.fr/balwois/administration/full\\_paper/ffp-666.pdf](http://balwois.mpl.ird.fr/balwois/administration/full_paper/ffp-666.pdf)
17. **The North Atlantic Oscillation Impact on Temperatures, Precipitation, Snowfall, and Snow Depth** Luke Oman Department of Environmental Sciences Rutgers University  
<http://www.cep.rutgers.edu/~oman/NAO.htm>
18. **Spatial monsoon variability with respect to NAO and SO** S B Kakade and S S Dugam. *J. Earth Syst. Sci.* 115, No. 5, October 2006
19. **The perfect ocean for draught.** Barbara McGhean.  
[http://www.oar.noaa.gov/spotlite/archive/spot\\_drought.html](http://www.oar.noaa.gov/spotlite/archive/spot_drought.html)
20. **Atmospheric blockings. Their influences on the NAO and PNA.** Croci-Maspoli, M., Schwierz, C., and Davies, H.C. Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich, Switzerland. <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/120033.pdf>
21. **An observational study of the impact of the North Pacific SST on the atmosphere** Qinyu Liu, Na Wen and Zhengyu Liu . *Geophysical Research Letters* Submitted, Feb. 27 Revised, May, 28
22. **An Overview of the North Atlantic Oscillation** James W. Hurrell<sup>1</sup>, Yochanan Kushnir<sup>2</sup>, Geir Ottersen<sup>3</sup>, and Martin Visbeck. *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact* Geophysical Monograph 134 Copyright 2003 by the American Geophysical Union
23. **Assessment of the variability of the observed North Atlantic and European atmospheric circulation for the last 150 years in relation to SST patterns.** Chris Folland, Adam Scaife, David Fereday, Jeff Knight, Thomas Toniazzo, Jucundus Jacobeit, Andreas Philipp and Paul Della-Marta. EMULATE Deliverable D11
24. **Observed influence of North Pacific SST anomalies on the atmospheric circulation.** Claude Frankignoul and Nathalie Sennéchal LOCEAN/IPSL, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France.
25. **Influence of the Ocean on North Atlantic Climate Variability 1871–1999** R. T. Sutton e D. L. R. Hodson Department of Meteorology, University of Reading, Reading, Berkshire, United Kingdom. *J. of climate* vol.16 Oct 2003.
26. **Investigating the impact of reemerging sea surface temperature anomalies on the winter atmospheric circulation over the North Atlantic** Christophe Cassou<sup>1, 2</sup>, Clara Deser<sup>2</sup> and Michael A. Alexander. Submitted to *Journal of Climate* 29 March 2006
27. **The role of snow cover fluctuations in multiannual NAO persistence** .Roxana Bojariu and Luis Gimeno Facultad de Ciencias de Ourense, Universidad de Vigo, Ourense, Spain. *Geophysical Research Letters*, VOL. 30, NO. 4, 2003
28. **The North Atlantic Oscillation** B. Geerts and E. Linacre <http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap12/nao.html>
29. **Role of the basic state in interseasonal variability in the south atlantic convergence zone.** Edilson Marton, José Antonio Aravequia.
30. **Climate Fluctuations of Tropical Coupled System: The Role of Ocean Dynamics** P. Chang, T. Yamagata, P. Schopf, S. K. Behera, J. Carton, W. S. Kessler, G. Meyers, T. Qu, F. Schott, S. Shetye, S.-P. Xie. Revised and Resubmitted to *Journal of Climate* November 2005
31. **Guinea Gulf SST and Mediterranean summer climate: analysis of the interannual variability** Marina Baldi\*, Francesco Meneguzzo, Giovanni A. Dalu, Giampiero Maracchi,

- Massimiliano Pasqui, Valerio Capecchi, Alfonso Crisci, Francesco Piani.  
<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/69914.pdf>
32. **The North Atlantic Oscillation** Richard J. Greatbatch Department of Oceanography, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, Canada B3H 4J1 Received December 1999; revised April 2000 ; accepted April 2000 . Stochastic Environmental Research and Risk Assessment Entretiens Jacques-Cartier, Montreal 2000Version as of May 4, 2000
  33. **Relazione sole-clima: Causa ed effetto** Daniele Campello (Climate Prediction Staff M3V)  
<http://www.meteotriveneto.it/modules/news/article.php?storyid=152>  
<http://www.meteotriveneto.it/modules/news/article.php?storyid=183>
  34. **The effect of solar cycle modulation on the Northern hemisphere sea level pressure variability** Ambarish V. Karmalkar. GSSP 2006 Report Printed August 24, 2006.
  35. **Regional oceanography: an introduction: Ch 14 Atlantic Ocean** M. Tomczak, J.S Godfrey. <http://www.es.flinders.edu.au/~mattom/regoc/pdffiles/colour/single/14P-Atlantic.pdf>
  36. **The Solar Cycle and Stratosphere-Troposphere Dynamical Coupling** Mark P. Baldwin and Timothy J. Dunkerton. Submitted to J.A.S.-T.P. Special Issue (Prague Workshop), 30 December, 2003
  37. **Global warming e transpolar drift stream: quali effetti ?** L. Bellagamba (comitato scientifico MNW). <http://forum.meteonetwork.it/showthread.php?t=57675>
  38. **The observed relationship between snow cover, soil moisture, and the asian monsoon.** Alan Robock\* and Mingquan Konstantin Y. Vinnikov, David Robinson.  
[http://ams.confex.com/ams/annual2002/techprogram/session\\_13233.htm](http://ams.confex.com/ams/annual2002/techprogram/session_13233.htm)
  39. **Climate: North Atlantic and Arctic Oscillation (NAO/AO)** James W. Hurrell National Center for Atmospheric Research. Hurrell, J.W. (2000). Encyclopedia of Atmospheric Sciences, Academic Press, 6,439-445.
  40. **Extending North Atlantic Oscillation reconstruction back to 1500.** J. Luterbacher . Atmospheric Science Letter 2002

**Abbreviazioni:**

AMO – Atlantic Multidecadal Oscillation;  
AO/NAM – Arctic Oscillation (synonym to Northern Hemisphere annular mode, NAM);  
AOGCM – Atmosphere-Ocean General Circulation Model;  
AOI – Arctic Oscillation Index;  
CCA – Canonical Correlation Analysis;  
ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts;  
ENSO – El Niño/Southern Oscillation;  
EOF – Empirical Orthogonal Function;  
EU – Eurasian Pattern;  
GC – Gyre Circulation;  
GCM – Global Circulation Model;  
GHG – Greenhouse Gas;  
GIN Seas – Greenland-Iceland-Norwegian Seas;  
GSA – Great Salinity Anomaly;  
ITCZ – Intertropical Convergence Zone;  
NAO – North Atlantic Oscillation;  
NAOI – North Atlantic Oscillation Index;  
NCEP/NCAR – National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research;  
NH – Northern Hemisphere;  
PCA – Principal Component Analysis;  
PNA – Pacific North American Pattern;  
QBO – Quasi Biennial Oscillation or Tropical Biennial Oscillation;  
SH – Southern Hemisphere;  
SIC – Sea Ice Concentration;  
SLP – Sea Level Pressure;  
SST – Sea Surface Temperature;  
TAV – Tropical Atlantic Variability;  
TDS – Transpolar Drift Stream;  
THC – Thermohaline Circulation;  
WES wind-evaporation-SST