



In autunno l'Anticiclone delle Azzorre, contrariamente a quanto accade in inverno, tende a mantenersi verso latitudini più basse che nel passato, consentendo così al Ciclone dell'Islanda di scendere verso sud (NAO negativa), occupando in tal modo, in maniera più o meno stabile, l'area atlantica prossima alle coste francesi e rendendo, nello stesso tempo, più agevole l'ingresso delle depressioni atlantiche verso il Mediterraneo Occidentale.



Numero di mesi autunnali con NAO positiva oppure negativa		
PERIODO	MESI CON NAO POSITIVA	MESI CON NAO NEGATIVA
1979-1989	17	16
1990-2001	12	24

Tabella 7.3 – Frequenza dei mesi autunnali con NAO positiva o negativa nei periodi 1979-1989 e 1990-2001. È evidente l'incremento del numero di mesi caratterizzati da NAO negativa nell'ultimo decennio (Fonte: Centro Epson Meteo).

Ma la maggiore piovosità autunnale è favorita anche da altri fattori che agiscono assieme alla NAO. È noto infatti che la temperatura media estiva dell'aria sull'Italia e i mari limitrofi è aumentata di quasi 1 °C, un effetto da imputarsi in larga misura al surplus di calore immagazzinato dal suolo a causa, probabilmente, dell'aumento dei gas serra. Ma nei mari adiacenti la Penisola tale surplus calorico vi resta intrappolato per 2-3 mesi, a causa dell'elevata capacità termica dell'acqua. Ecco perché le misure effettuate dai satelliti hanno messo in luce che in autunno negli anni '90 le acque del Mediterraneo Occidentale sono diventate più calde di quasi 0,5 °C rispetto agli anni '80. Ma questo fa sì che le masse d'aria fredda che in autunno – trasportate dalle sempre più frequenti depressioni mobili – raggiungono i mari a ovest della Penisola, trovino un mare più caldo che una volta, diventando così più umide e più instabili e trasformandosi in tal modo in perturbazioni più piovose e più violente che nel passato.

NAO INDEX

L'intensità e il segno della NAO sono espressi da un indice calcolato come differenza tra le anomalie medie mensili di pressione al livello del mare a Punta Delgada (Azzorre) e le corrispondenti anomalie osservate ad Akureyri (Islanda). Si ottiene così un Indice NAO mensile. Indici analoghi si ottengono prendendo i valori della pressione a Lisbona o a Gibilterra per il Medio Atlantico, e a Reykjavik per il Nord Atlantico: in tal modo cambia il valore assoluto dell'indice ma non il suo trend generale. È possibile ricostruire anche un Indice NAO dell'intera stagione invernale: le due letture giornaliere della pressione sono mediate su tutto il periodo che va da novembre a marzo per ciascuna delle due stazioni, e la differenza tra di esse dà l'Indice NAO stagionale. Il primo a definire un indice che descrivesse la NAO è stato Rogers, nel 1984. Per l'indice di Rogers i dati sono disponibili a partire dal 1874 e l'indice invernale è stato definito considerando come mesi di riferi-

mento quelli di dicembre, gennaio e febbraio. Più recentemente J. Hurrell ha utilizzato come stazioni di riferimento Lisbona, in Portogallo, e Stykkisholmur, in Islanda: la serie di dati è in questo caso più lunga, grazie a osservazioni disponibili fin dal 1864, mentre il periodo invernale è stato esteso anche a marzo. I due indici mostrano chiaramente alcune differenze, ma la tendenza dominante è identica per entrambi. Altri studiosi ancora, come abbiamo già accennato, hanno preferito utilizzare Gibilterra come stazione di riferimento per le medie latitudini e Stykkisholmur per le alte latitudini: l'indice che si ottiene è detto *Indice NAO di Jones*, dal nome del meteorologo che l'ha proposto. Tale scelta consente di estendere l'Indice NAO a ritroso nel tempo fino al 1821.

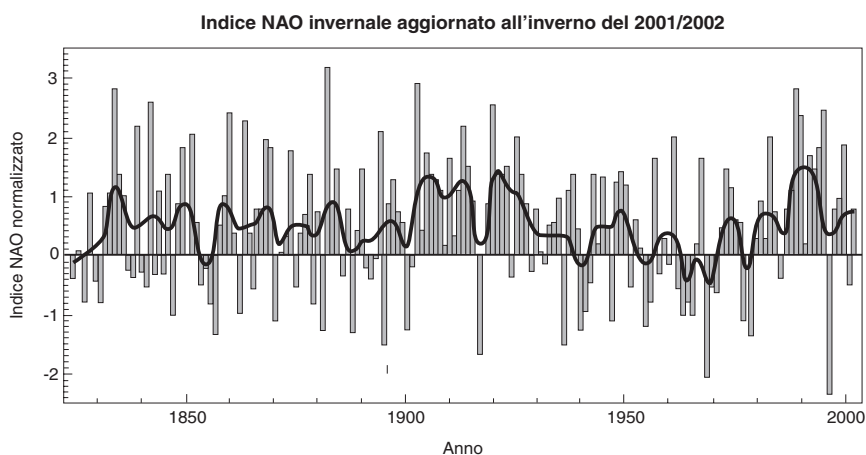


Figura 7.16 – Indice NAO di Jones.

◇◇◇

Tutti gli indici concordano nell'evidenziare una NAO ostinatamente positiva in quasi tutti gli inverni dell'ultimo ventennio (mentre nel ventennio 1960-1980 inverni con NAO negativa erano altrettanto frequenti di quelli con NAO positiva).

◇◇◇

Ma a questo punto è fondamentale porsi una domanda: il comportamento della NAO nell'ultimo ventennio è un evento eccezionale oppure rientra piuttosto in una normale variazione climatica di lungo periodo? Per esprimere un giudizio non sono certo sufficienti 100 o 200 anni di dati, quali quelli di cui dispongono i climatologi, e andare ancora più indietro nel tempo è impresa ardua. Le misure strumentali dei principali parametri meteorologici infatti raramente si estendono a ritroso nel tempo oltre il XIX secolo, per cui ci si deve accontentare di un andamento approssimativo dell'Indice NAO, quale quello ricostruito mediante i resoconti storici, le rilevazioni di tipo biologico, la dendrologia

(scienza che ricava informazioni climatiche dallo studio degli anelli di accrescimento degli alberi), o ancora attraverso metodi geochimici, come l'analisi degli strati di ghiaccio perenne. Proprio utilizzando le informazioni contenute nei ghiacciai perenni della Groenlandia, Christof Appenzeller ha ricostruito un indice annuale della NAO che si spinge addietro nei secoli fino a 350 anni fa. Dall'analisi di Appenzeller risulta in particolare che periodi caratterizzati da un persistente Indice NAO negativo si sono verificati tra il 1675 e il 1690 (in coincidenza con il minimo dell'attività solare noto come *Minimo di Maunder*), a metà del XIX secolo e infine tra il 1950 e il 1975. Anomalie positive durature si osservano invece all'inizio del 1700, intorno al 1820 e nei primi anni del XX secolo, mentre l'indice approssimato di Appenzeller sembra sottostimare leggermente la tendenza positiva dell'ultimo ventennio.

◇◇◇

Ma l'informazione più interessante suggerita dall'indice approssimato di Appenzeller è che, nonostante prolungate fasi positive o negative si siano sempre presentate in passato, i valori positivi esibiti dall'Indice NAO a partire dal 1980 sembrano essere senza precedenti, almeno negli ultimi quattro secoli.

◇◇◇

Si arguisce quindi che l'andamento NAO degli ultimi 20 anni non rientra probabilmente in una normale ciclicità del fenomeno, ma sarebbe piuttosto influenzato da qualche altro fattore esterno, quale ad esempio il surriscaldamento del Pianeta.

◇◇ 7.2.3 PDO

La *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) è una fluttuazione a lungo termine delle temperature superficiali dell'Oceano Pacifico. È un fenomeno simile a El Niño: le due oscillazioni agiscono in maniera analoga e sono localizzate quasi nella stessa regione, ma hanno cicli temporali molto differenti. Il termine PDO è stato coniato nel 1996 da S. Hare, ricercatore dell'Università di Washington, che scoprì per primo l'esistenza del fenomeno studiando le connessioni tra la popolazione di salmoni dell'Alaska e il clima del Pacifico. La PDO è infatti un fenomeno caratteristico soprattutto del Pacifico Settentrionale, nell'area nord americana, e compie un ciclo completo approssimativamente in 20-30 anni.

◇◇◇

La fase fredda della PDO è caratterizzata da acque superficiali più fredde della norma – dove la norma è definita dai valori medi su tempi molto lunghi, dell'ordine del secolo – sul settore orientale, lungo le coste del Nord America, mentre il settore occidentale del Pacifico Settentrionale è caratterizzato da temperature superficiali superiori alla norma.

◇◇◇

Nella *fase calda o positiva*, che sembra invece aver dominato dal 1977 al 1999, il Pacifico Occidentale diviene più freddo, mentre il bordo orientale si riscalda. La fase fredda ha prevalso nei periodi 1890-1924 e 1947-76, e sembra che una nuova sia appena iniziata, mentre quella calda ha dominato nel periodo 1925-46.

Benché l'impatto sul clima di tale fenomeno, a causa soprattutto della sua periodicità molto lunga, non sia tuttora molto chiaro, sembra tuttavia che questo spostamento della posizione di grandi masse di acqua fredda o calda nel Pacifico sia in grado di alterare il percorso della corrente a getto polare sopra il continente nord americano, influenzando quindi soprattutto il clima di tale area geografica. In particolare, nelle fasi calde, rispetto a quelle fredde, le temperature medie invernali sono più elevate nel Nord-ovest e più basse nel Sud-est degli Stati Uniti, piove di più nel Sud degli Stati Uniti e nel Nord del Messico, ma di meno su tutto il Nord-ovest del continente americano e nella regione dei Grandi Laghi, e in ultimo diminuisce il rischio alluvioni su tutti gli stati occidentali del Nord America.

◇◇◇

La PDO sembra influenzare anche gli effetti climatici degli episodi di El Niño o La Niña sul continente nord americano: le ripercussioni sul clima sono più sensibili se PDO ed ENSO si trovano in fase, ovvero PDO calda in concomitanza a episodio di El Niño, oppure PDO fredda contemporaneamente a episodio di La Niña.

◇◇◇

Analogamente a come si fa per El Niño, si è definito un *PDO Index*, ottenuto misurando le oscillazioni delle temperature superficiali del Nord Pacifico attorno ai valori normali: in tal modo, in particolare, si sono ricostruiti i valori mensili di tale indice a partire dagli inizi del XX secolo fino ai giorni nostri. Valori positivi di questo indice indicano temperature superficiali superiori alla norma e, quindi, la presenza di una fase calda; viceversa per i valori negativi dell'indice.

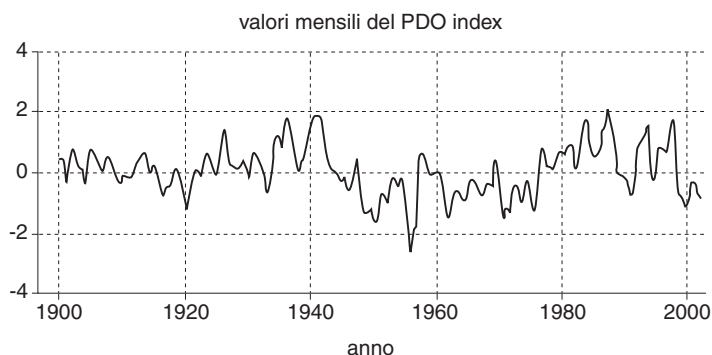


Figura 7.17 – Andamento mensile del PDO Index nel XX secolo (Fonte: NOAA).

◇◇ 7.2.4 QBO

L'eruzione del vulcano Krakatoa, il 27 agosto 1883, portò il mondo scientifico a ritenere che i venti stratosferici, al di sopra dell'Equatore, soffiassero a grande intensità da est verso ovest: spinta da questi forti venti orientali infatti la nube vulcanica impiegò solo 13 giorni per fare tutto il giro del Pianeta movendosi dal punto dell'eruzione verso ovest, tanto che venne loro dato il nome di *Krakatoa easterlies*. Nel 1908 però Berson, lanciando un pallone sonda al di sopra del Lago Vittoria, in Africa Equatoriale, scoprì a quote di circa 15 chilometri – ovvero già nella stratosfera – intensi venti occidentali, cui diede il nome di *Berson westerlies*. Queste osservazioni a dir poco contrastanti sono state spiegate dal lavoro di Reed, Veryard e Edbon, che nel 1961 hanno scoperto come il regime dei venti stratosferici al di sopra dell'Equatore sia soggetto a periodiche oscillazioni, fenomeno a cui è stato dato il nome di *Quasi-Biennial zonal wind Oscillation* (QBO).



L'Oscillazione Quasi Biennale è un fenomeno che caratterizza la circolazione stratosferica tropicale, e consiste in una periodica inversione dei venti zonal, ossia di quei venti diretti lungo i paralleli.



Per evidenziare questa oscillazione del campo dei venti nella stratosfera si effettua una media della direzione e intensità dei venti nella fascia tropicale, e a questa viene sottratto l'effetto stagionale. Si osserva così una progressiva discesa verso quote basse, alternativamente, di venti occidentali piuttosto che di venti orientali: rimanendo a una quota fissa il vento cambia direzione con un periodo medio leggermente superiore ai 2 anni, e compreso solitamente tra i 24 e i 30 mesi. Il passaggio più veloce mai osservato è stato quello che, nel 1959-61 è durato solo 20 mesi, mentre il più lento è quello del 1984-87, della durata di ben 36 mesi. La fase caratterizzata dai venti occidentali in propagazione è nota anche come *fase positiva della QBO*, mentre la *fase negativa della QBO* è quella caratterizzata da venti orientali in lenta discesa dalle quote più alte.

L'inversione di direzione comincia ai livelli più alti (sopra ai 30 chilometri di quota) per discendere con velocità di circa un chilometro al mese: la propagazione verso il basso avviene senza diminuzione di ampiezza tra 30 e 23 chilometri, mentre si attenua rapidamente al di sotto di tale quota. La QBO è un fenomeno simmetrico rispetto all'Equatore, per cui nella medesima fase si ritrovano gli stessi venti sia a nord che a sud dell'Equatore; i venti orientali risultano però mediamente più intensi di quelli occidentali.



Quando la QBO è nella fase di venti orientali si riscontrano modifiche nella circolazione troposferica tra Equatore ed Emisfero Settentrionale, mentre nella fase di venti occidentali si osservano modifiche circolatorie tra Pacifico e Nord America.



Inoltre è ormai accertato come la QBO si rifletta anche in un'oscillazione quasi biennale della colonna totale di ozono entro la fascia equatoriale 10° N -10° S: il massimo all'interno della colonna è raggiunto subito dopo la transizione a venti occidentali alla quota di 50 hPa, ovvero intorno ai 20-22 chilometri d'altezza.

Alla QBO sono legate importanti variazioni della temperatura stratosferica – durante le fasi negative si ha un incremento delle temperature di questo strato atmosferico fino a 2 °C – ma i suoi effetti sull'atmosfera e sul clima si fanno sentire anche a quote più basse, nella troposfera. La QBO infatti influenza la frequenza dei cicloni tropicali che si formano stagionalmente nell'Atlantico: il numero di uragani che si forma in questo bacino è mediamente maggiore nelle annate caratterizzate da QBO positiva, ovvero da venti stratosferici occidentali. Ma la QBO influenza anche l'intensità dei Monsoni, la velocità di dispersione delle nubi prodotte dalle grandi esplosioni vulcaniche e, probabilmente, intensità e durata degli episodi di El Niño e La Niña.

◆◆ 7.2.5 MJO

Nel 1971, analizzando le anomalie nel campo dei venti zonali (ovvero quelli a direzione prevalente lungo i paralleli) nel Pacifico Tropicale, R. Madden e P. Julian si imbattono in un'oscillazione periodica di circa 40-50 giorni. Nei primi anni '80 fu data poca attenzione a questa periodica variazione, che divenne nota con il nome di *Madden-Julian Oscillation* (MJO), e alcuni studiosi misero anche in dubbio la sua effettiva capacità di influenzare il clima regionale del Pacifico. A partire dal forte episodio di El Niño del 1982-83 però tutte le variazioni climatiche, sia intra-annuali (cioè con cadenza inferiore all'anno) che inter-annuali (ovvero con avvenimenti superiori all'anno), sono state oggetto di una crescente attenzione da parte del mondo scientifico, e anche il numero di studi riguardanti la MJO è rapidamente cresciuto. Sono così emerse alcune sue caratteristiche, ed effetti sulla circolazione generale dell'atmosfera, prima difficilmente ipotizzabili.



La Madden-Julian Oscillation è la maggior variazione climatica periodica ai Tropici su scale temporali inferiori alla stagione, ed è il risultato dei grandi processi convettivi che prendono vita su Oceano Indiano, regione indonesiana e Pacifico Occidentale.



Durante l'inverno e la primavera boreali si osserva infatti il progressivo spostamento verso est, a partire dall'Oceano Indiano, sia di vaste aree caratterizzate da intensa attività convettiva che delle regioni in cui la formazione di nubi e piogge è fortemente inibita. Piogge forti e anomale, inizialmente osservate sul bordo occidentale dell'Oceano Indiano, si muovono gradualmente via via che l'anomalia si sposta verso levante, sopra le calde acque oceaniche del Pacifico Occidentale e Centrale. Il fenomeno, ovvero il passaggio di nuvolosità consistente e piogge copiose, diviene molto meno evidente – fin quasi a non manifestarsi affatto – quando l'anomalia attraversa le più fredde acque del Pacifico Orientale, ma poi riappare di nuovo non appena si propaga sull'Oceano Atlantico, dopo aver attraversato il quale, da ovest verso est, rientra nell'Oceano Indiano. Ciascun ciclo può durare dai 30 ai 60 giorni. Poiché la maggior parte delle piogge tropicali sono di natura convettiva, e la sommità delle nubi convettive è molto fredda – per cui emette debolmente radiazione in bassa frequenza – la MJO risulta facilmente osservabile attraverso le variazioni spaziali della radiazione emessa in onda lunga (*Outgoing Longwave Radiation* - ORL), misurabile grazie ai sensori per la radiazione infrarossa presenti in tutti i satelliti meteorologici.

Le caratteristiche della MJO variano molto di anno in anno, con lunghi periodi caratterizzati da intensa attività seguiti da periodi in cui l'oscillazione è molto debole o assente. Queste variazioni nelle modalità della MJO sono in parte legate al ciclo dell'ENSO: un'attività intensa si osserva spesso nelle annate di La Niña o negli anni neutri, mentre l'assenza del caratteristico ciclo della MJO è tipica dei forti episodi di El Niño. I legami con l'ENSO però non finiscono qui. La convezione al di sopra dell'Oceano Indiano surriscaldato dà vita a un'intensa attività temporalesca di circa un mese. Queste vaste tempeste tropicali si spostano verso est nel Pacifico Occidentale, ruotando in senso orario se si trovano nell'Emisfero Sud, viceversa se si trovano nell'Emisfero Nord. In tal modo i venti che le accompagnano soffiano, nel lato rivolto verso l'Equatore, sempre verso est.



Tali tempeste tropicali, una volta giunte sul Pacifico Tropicale, se sufficientemente intense e durature, possono contrastare e indebolire notevolmente gli Alisei, ponendo le basi favorevoli allo sviluppo di un episodio di El Niño.



Inoltre l'attività della MJO si riflette anche sulla traiettoria invernale della corrente a getto sul Pacifico Settentrionale e sul continente nord americano: essa ha, in tal modo, una grande influenza sul numero di perturbazioni e di ondate di gelo che in inverno investono il Nord America, mentre in estate i suoi cicli modulano l'attività di tifoni e uragani nel Pacifico e nell'Atlantico.

◇◇ 7.2.6 MO

La *Mediterranean Oscillation* (MO) è una tipica fluttuazione della circolazione atmosferica rilevata sul bacino del Mediterraneo e caratterizzata da un legame tra le anomalie di pressione sul Mediterraneo Occidentale e su quello Orientale tale che, se la pressione aumenta in modo anormale su un lato del Mare Nostrum, diminuisce contemporaneamente sul lato opposto. Come per altri fenomeni analoghi, è stato teorizzato un indice, il *Mediterranean Oscillation Index* (MOI), definito come la differenza tra gli scarti dalla norma dell'altezza media annuale della 500 hPa di Algeri e quelli del Cairo. Negli ultimi due decenni questo indice si è attestato con sempre maggior frequenza su valori positivi, a conferma del fatto che sempre più spesso aree anticicloniche si spingono fin sul Mediterraneo Occidentale.