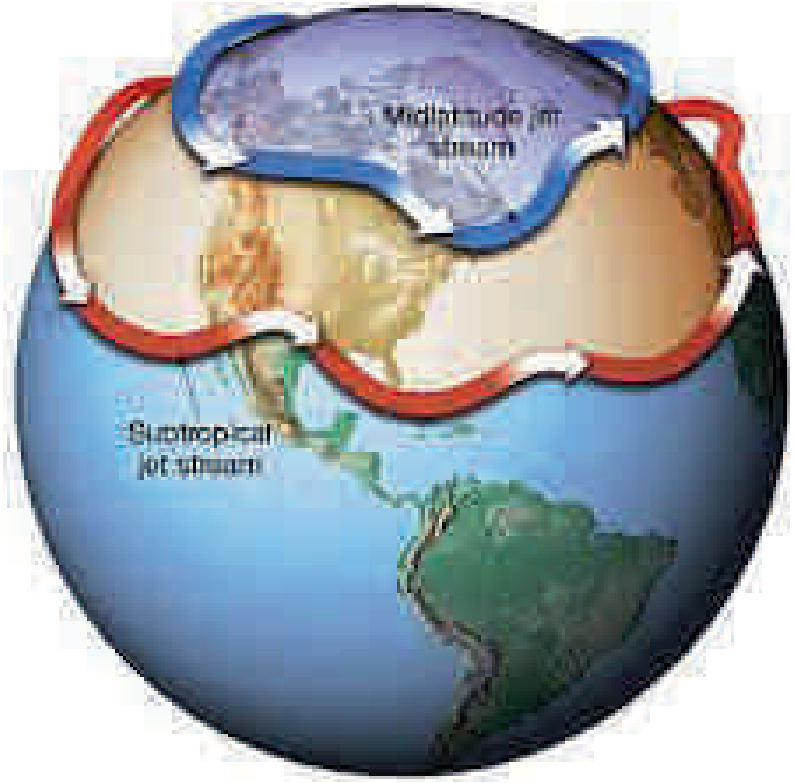
Il clima del futuro? La chiave è nel passato

Cambiamenti climatici:
le oscillazioni latitudinali multidecadali del vortice circumpolare e le conseguenze per le medie latitudini e per il Mediterraneo centro-occidentale



di

Carlo Colarieti Tosti

Ricerca ultimata nel mese di dicembre dell'anno 2014

copyright Carlo Colarieti Tosti
e-mail: info@meteodolomiti.it
sito internet: http://www.meteodolomiti.it

Indice degli argomenti

Introduzione..... 5
Anomalie emisferiche del geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa..... 6
Le oscillazioni latitudinali emisferiche del vortice circumpolare..... 10
La probabile evoluzione futura dell'indice Emisferico di Circolazione Troposferica..... 12
Le conseguenze regionali nel Mediterraneo centro-occidentale..... 13
Le oscillazioni emisferiche e regionali inserite nel cambiamento globale..... 17
Conclusioni..... 19

Introduzione

Con questa ricerca cercheremo di inquadrare con la massima attenzione la situazione attuale della circolazione generale dell'atmosfera cercando di ipotizzare dei possibili scenari del futuro prossimo. Questa ricerca si baserà sull'analisi attenta dello storico climatico a partire dal 1948 anno in cui iniziano i dati di rianalisi mensili dell'NCEP/NCAR. Evidenzieremo le oscillazioni naturali, punto cardine di un qualsivoglia tentativo di ipotesi di evoluzione climatica futura. Senza una conoscenza delle cause o comunque delle variazioni naturali del clima è a nostro avviso impossibile proporre ipotesi sul futuro climatico del pianeta. Prima di addentrarci nella ricerca si ritiene opportuno, al fine di fugare dubbi e incomprensioni, fare un identikit del vortice polare, elemento portante di qualunque caratteristica climatica. Il fiume di correnti d'alta quota troposferica, facente capo alla corrente a getto, oscilla periodicamente e riceve energia dalla grande quantità di calore latente e sensibile proveniente dalle basse latitudini oceaniche e dall'attività convettiva troposferica, soprattutto delle zone equatoriali. Probabilmente esistono anche altri contributi, al momento poco noti, che ad esempio possono essere ricondotti all'attività solare attraverso modifiche, anche chimiche, dell'alta atmosfera. La sensibilità del vortice polare ad anche modeste variazioni di calore trasmesse dalle basse latitudini è cosa nota e in grado di produrre anche profonde modifiche alla circolazione generale. Infatti variazioni di trasporto di energia corrispondono a reazioni del vortice circumpolare attraverso la modifica della posizione del fronte polare, la variazione del numero di onde e la loro ampiezza, compresa la capacità di penetrazione verso le basse latitudini. Quanto appena descritto corrisponde ad una conseguente variazione dei centri di moto principali (basse e alte pressioni) corrispondenti a loro volta ad una variazione di massa del sistema. La conseguenza è lo spostamento latitudinale del fronte polare che corrisponde ad una variazione areale della presenza di zone barotropiche ovvero nuvolosità e di precipitazioni, nonché di superficie occupata da aria di origine polare o subtropicale. A questo punto, semplificando, risulta più chiaro che le variazioni climatiche corrispondono in ultima analisi a variazioni latitudinali della posizione del fronte polare. Espansioni corrispondono a climi più rigidi quando l'aria polare si estende verso sud determinando un abbassamento latitudinale del flusso zonale. Contrazioni corrispondono a climi più miti quando l'aria subtropicale si estende verso nord determinando una contrazione del flusso zonale verso più alte latitudini. Nel vocabolario comune tali oscillazioni, che sono estremamente comuni nel periodo invernale, corrispondo rispettivamente a classificazioni di circolazione rapida e circolazione lenta ovvero ad alto o basso indice. Quella rapida, dunque, corrisponde a getti pressoché zonali e bassi di latitudine, quella lenta produce ampie ondulazioni del flusso in senso meridiano determinando un notevole trasporto di calore per avvezione di aria subtropicale in grado di raggiungere vaste aree a latitudini settentrionali. Prestando maggiore attenzione queste variazioni di circolazione le sperimentiamo ogni anno e corrispondono alle variazioni stagionali. L'inverno è mediamente caratterizzato da un intensificazione del flusso con imposizione di una circolazione di tipo zonale, mentre la stagione estiva è mediamente caratterizzata da un suo rallentamento proponendo una prevalente circolazione di tipo meridiano. Quindi i periodi freddi sono impressi da una profonda e intensa circolazione zonale o antizonale, mentre i periodi caldi sono contraddistinti da circolazioni a prevalente carattere meridiano. Accennando direttamente al clima europeo, ed in particolare dell'Europa meridionale, possiamo immaginare che i periodi con clima di tipo fresco/freddo siano caratterizzati da ingressi di aria polare marittima con circolazione prevalente zonale a basse latitudini o anche, nel periodo invernale, da flussi antizonali con retrogressioni di aria polare continentale per durature formazioni di alte pressioni alle alte latitudini. Nei periodi climaticamente caldi la circolazione accentua gli scambi di calore meridiani con masse d'aria tropicale marittima o tropicale continentale e le azioni fredde invernali sono il risultato di configurazioni sinottiche di blocco atlantico con ingressi artico marittimi o meno frequentemente di tipo artico continentale, per tilting delle figure di blocco. Tale circolazione è il risultato di prevalenti scambi lungo i meridiani con flusso zonale relegato a più alte latitudini. In base a queste affermazioni le variazioni di temperatura media del pianeta rappresentano l'effetto e non la causa dei cambiamenti climatici.

Anomalie emisferiche del geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa

La posizione latitudinale del vortice polare, quale funzione della sua estensione o contrazione, imprime nel lungo periodo dei connotati ben precisi al clima emisferico inducendo delle variazioni climatiche o cambiamenti climatici. Se il flusso occidentale guadagna latitudine verso sud si impone un regime climatico più freddo, viceversa, una sua contrazione favorisce un regime climatico più caldo. Da questa analisi si può dedurre che la massima variazione latitudinale dell'estensione del vortice polare debba riguardare la fascia delle medio-basse latitudini, maggiormente sensibili alle dinamiche sopra esposte. Fisseremo la nostra attenzione sulla media troposfera alla quota isobarica di 500hPa con riferimento all'anomalia di geopotenziale. Inoltre, per quanto appena affermato, ci concentreremo sulle medio-alte e nelle medio-basse latitudini, d'ora in poi più semplicemente classificate come basse e alte latitudini. I dati utilizzati provengono dal database dell'NCEP/NCAR e sono di rianalisi. L'archivio è composto da medie mensili e la disponibilità dei dati inizia dal 1948 e, al momento della stesura di questa ricerca, termina ad ottobre del 2014. Causa l'incompletezza dei dati dell'anno corrente questo non verrà qui considerato, quindi fermeremo i dati al 2013.

Nei grafici nelle figure 1 e 2 sono rappresentate rispettivamente le anomalie dell'altezza del geopotenziale alla quota isobarica di 500hpa alle basse e alle alte latitudini, secondo la media di riferimento calcolata sull'intero periodo 1948-2013. Ad una prima sommaria valutazione dei

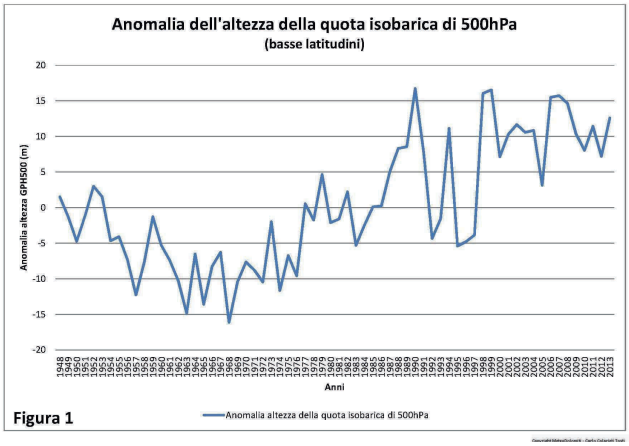


Figura 1

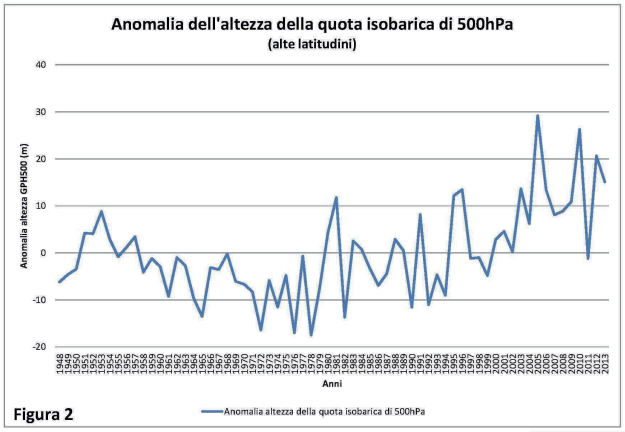


Figura 2

grafici notiamo che per quanto concerne le basse latitudini, grafico 1, nei primi anni '50 del XX° secolo è iniziata una fase complessivamente negativa che si è protratta fino alla fine degli anni '60 raggiungendo il minimo negativo. Successivamente si è avviata una nuova tendenza alla ripresa per portarsi definitivamente su valori di anomalie positive attorno alla metà degli anni '80 proseguendo la crescita fino ai nostri giorni. Per la precisione si nota a partire dalla fine degli anni '90, a seguito del 1998, una complessiva stasi fino a tutto il 2013. Per quanto riguarda le alte latitudini, grafico 2, la tendenza complessiva appare quasi la medesima. Infatti la fase negativa appare avviarsi con decisione agli inizi degli anni '50 protraendosi fino alla fine degli anni '70 al raggiungimento del minimo negativo. Successivamente la tendenza si inverte per entrare decisamente nella fase positiva agli inizi degli anni '90 per poi proseguire fine a fine periodo. Il raggiungimento del minimo negativo alle basse latitudini appare anticipato di circa 4 anni rispetto al minimo raggiunto alle alte latitudini.

Nei grafici di cui alle figure 3 e 4 sono riportate, per la medesima variabile e fascia latitudinale, le rispettive anomalie trattate secondo una gaussiana a 2 anni (linee rosse) al fine di attenuare le oscillazioni a più alta frequenza che non sono oggetto di interesse ai fini della presente ricerca. Il risultato ottenuto ci consegna due nuove matrici di dati che hanno conservato tutte le oscillazioni di media e bassa frequenza tagliando, le oscillazioni a brevissimo periodo che non sono qui oggetto di studio. In figura 4a sono visua-

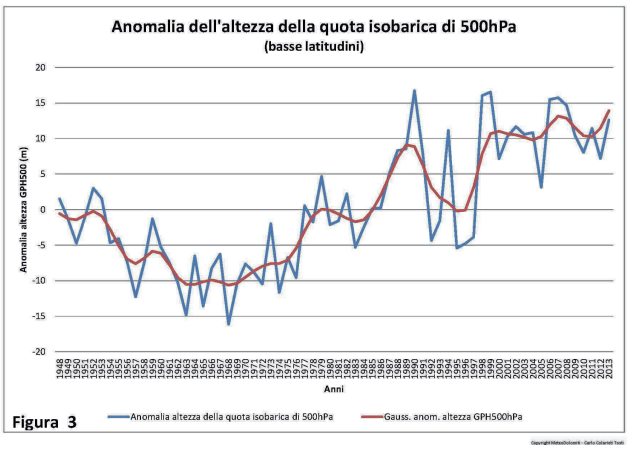


Figura 3

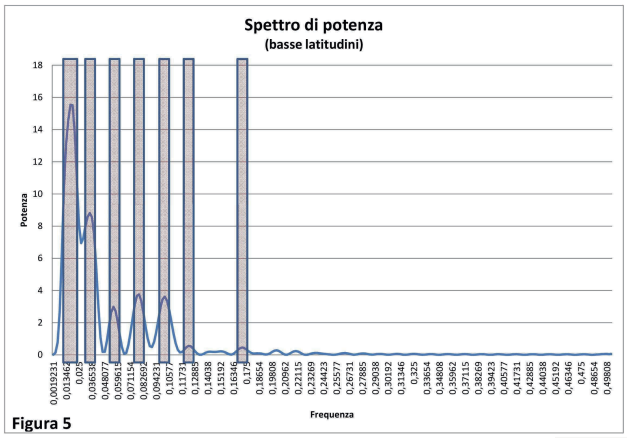


Figura 5

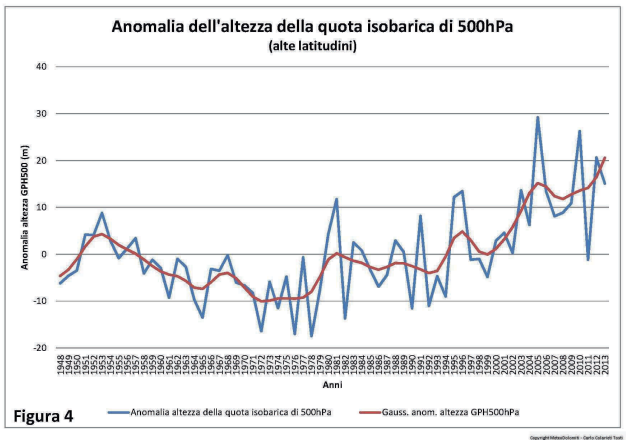


Figura 4

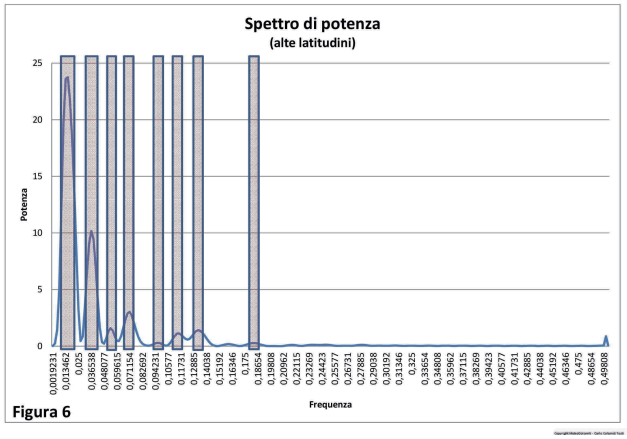


Figura 6

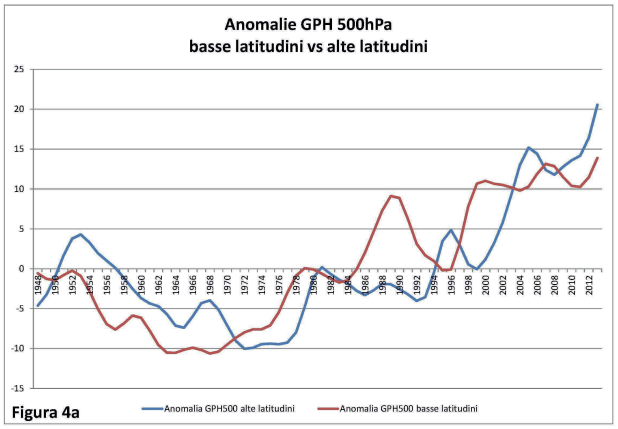


Figura 4a

lizzabili graficamente gli andamenti di entrambe le nuove matrici dati delle anomalie. Quello che notiamo in maniera macroscopica è l'esistenza di un ritardo temporale che appare di circa 4 anni. Quindi le variazioni alle basse latitudini sembrano anticipare il cambio di segno alle alte latitudini. A questo punto ciò che vogliamo capire è l'andamento tendenziale generale per estrarne dei periodi di oscillazione. Infatti analizzando gli spettri di potenza di cui alle figure 5 e 6, rispettivamente per le anomalie di geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa alle basse e alle alte latitudini, possiamo ottenere una serie di periodi per entrambe le anomalie. Per quanto concerne le basse latitudini si evidenziano i seguenti periodi:

1. 64,998375 anni
2. 57,776751 anni
3. 28,889210 anni
4. 17,931109 anni
5. 12,682952 anni
6. 9,811617 anni
7. 8,124797 anni
8. 5,842828 anni

Seguendo i picchi di potenza possiamo rilevare che i primi tre periodi sono quelli che danno l'impronta maggiore all'intero segnale, seguono poi dal quarto al sesto e in misura più modesta i segnali a periodo più brevi. Per quanto concerne le alte latitudini si evidenziano i seguenti periodi:

1. 64,998375 anni
2. 57,776751 anni
3. 27,368767 anni
4. 18,571482 anni
5. 14,054024 anni
6. 8,667013 anni
7. 7,536363 anni
8. 6,264879 anni

Anche in questo caso i picchi di potenza ci informano che i primi tre periodi sono quelli che forniscono l'impronta maggiore all'intero segnale. Non possiamo fare a meno di notare che i primi due periodi sono perfettamente coincidenti. Gli altri periodi sono anch'essi simili differendo in media complessiva di circa 2 mesi.
Interessante sarebbe risalire con esattezza alla causa dei periodi sopra elencati. Al momento su alcuni è possibile fare qualche supposizione. I periodi di circa 28 anni, 18,57 anni e 8,66 anni possono essere riconducibili al ciclo nodale lunare. Il periodo di circa 58 anni potrebbe a sua volta essere riconducibile al periodo completo del moto di allineamento Giove-Saturno sullo stesso quadrante, ovvero tre allineamenti Giove-Saturno corrispondenti ad un periodo di 59,58 anni. Ora cerchiamo di ricostruire le intere oscillazioni delle anomalie di geopotenziale. I segnali "anomalie" saranno ottenuti mediante la sommatoria dei singoli segnali con i periodi sopra individuati.
Per tracciare ogni armonica useremo la funzione:

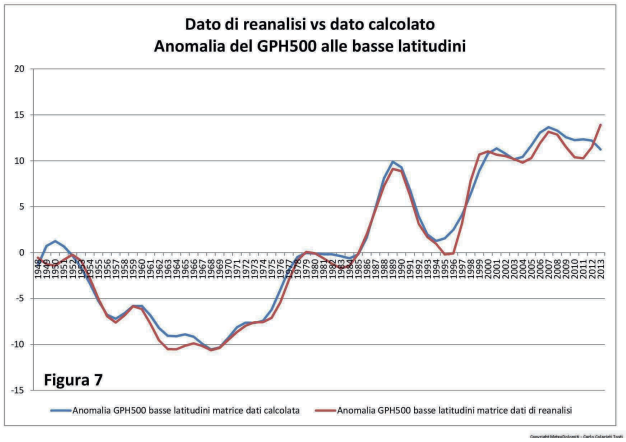
$$y=A\cos[2\pi(X-X_0) / T - p]$$ dove

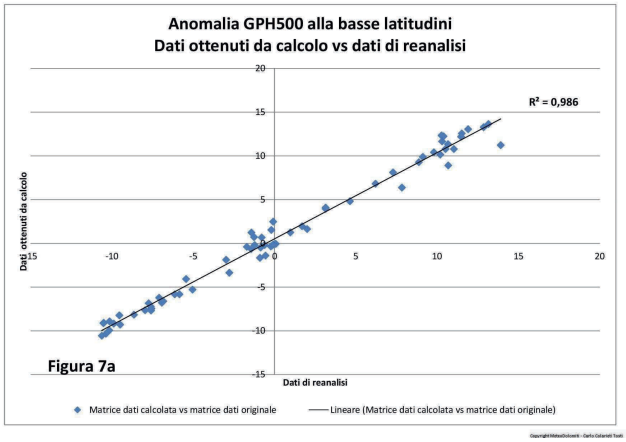
A=ampiezza
X=anno
X_0=anno iniziale
T=periodo
p=fase

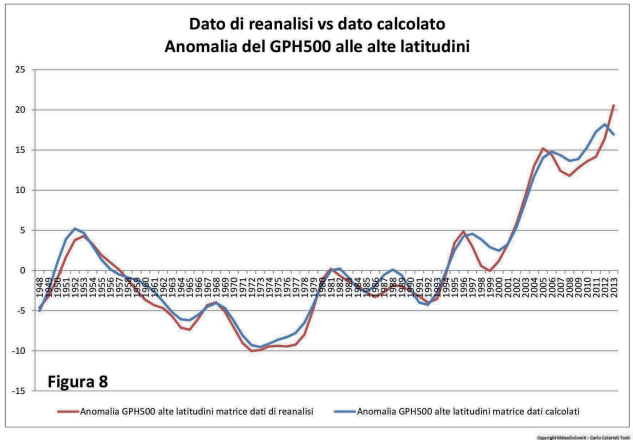
I segnali completi delle anomalie si otterranno mediante la sommatoria delle singole funzioni precedenti:

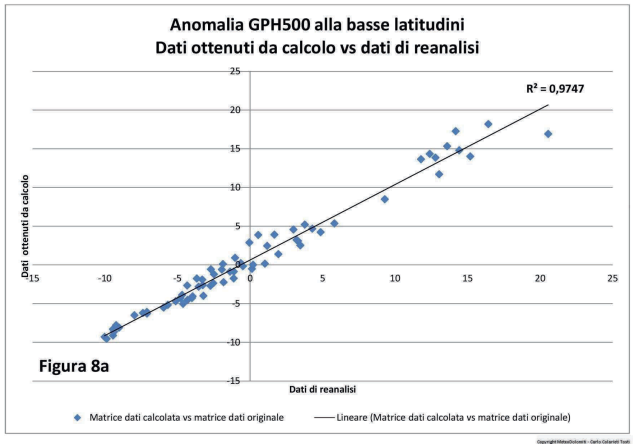
$$y_{\text{anomalia GPH500}}=\Sigma A\cos[2\pi(X-X_0) / T - p]$$

In figura 7 e 8 i grafici con i segnali delle anomalie originali e calcolate rispettivamente per le basse e le alte latitudini. Nelle figure 7a e 8a possono essere visualizzati i grafici a dispersione per la visualizzazione del grado di correlazione tra la variabile originale e quella calcolata. Per entrambe le latitudini abbiamo ottenuto un segnale calcolato che risulta praticamente sovrapponibile al segnale reale con valore di R^2 elevatissimo, prossimo al valore di 1. Siamo quindi confortati dai riscontri grafici e numerici per l'efficace lavoro di individuazione dei periodi più significativi che rappresentano le oscillazioni delle due serie. Questo lavoro di ricostruzione delle matrici originali attraverso l'attività di









calcolo ci sarà utile più avanti quando tenteremo di tracciare un'evoluzione per il prossimo futuro. I dati di rianalisi elaborati non ci forniscono ancora indicazioni di facile lettura, infatti per capire quanto pesino nell'economia generale della circolazione le variazioni latitudinali si è proceduto ad ottenere una nuova matrice dati secondo l'individuazione di un semplice Indice Emisferico di Circolazione Troposferica (ECT), vedi grafico in figura 9, secondo la formula:

$$Indice_{ECT}=(Anom.GPH500_{basselatitudini} - Anom.GPH500_{altelatitudini})$$

Valori negativi dell'indice suggeriscono un vortice circumpolare più esteso verso sud con anomalie negative di geopotenziale maggiori nelle medio-basse latitudini rispetto alle medio-alte latitudini. Con questa schema circolatorio è lecito attendersi un'attenuazione del gradiente di geopotenziale di tipo sud-nord a scapito delle medio basse latitudini dove si intensificherà il flusso zonale. Viceversa un valore positivo corrisponde ad una contrazione del vortice con anomalie di geopotenziale inferiori alle alte latitudini rispetto alle basse latitudini. Con questo schema circolatorio è lecito attendersi un aumento del gradiente di geopotenziale di tipo nord-sud a scapito delle alte latitudini dove si intensificherà il flusso zonale. Queste oscillazioni sono alla base delle variazioni latitudinali dei centri di moto principali (alte e basse pressioni) corrispondenti ad una modifica di massa atmosferica e in ultima analisi ad uno spostamento latitudinale delle rispettive fasce climatiche. Anche il grafico a dispersione in figura 9a ci fornisce un ottima relazione lineare tra l'indice ECT derivato dalle matrici di rianalisi e lo stesso indice derivato dalle matrici ottenute da calcolo, le differenze sono davvero poche.

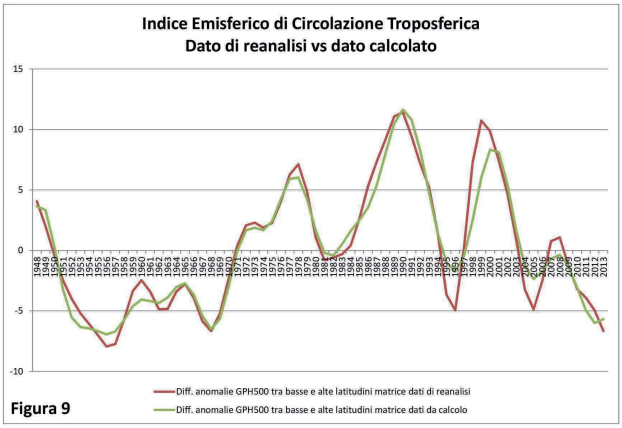


Figura 9

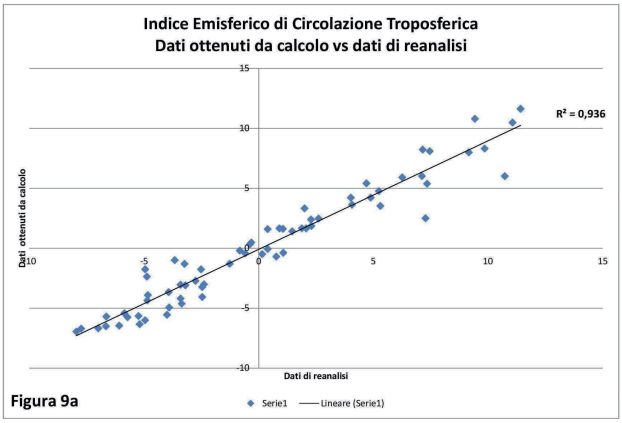


Figura 9a

Le oscillazioni latitudinali emisferiche del vortice circumpolare

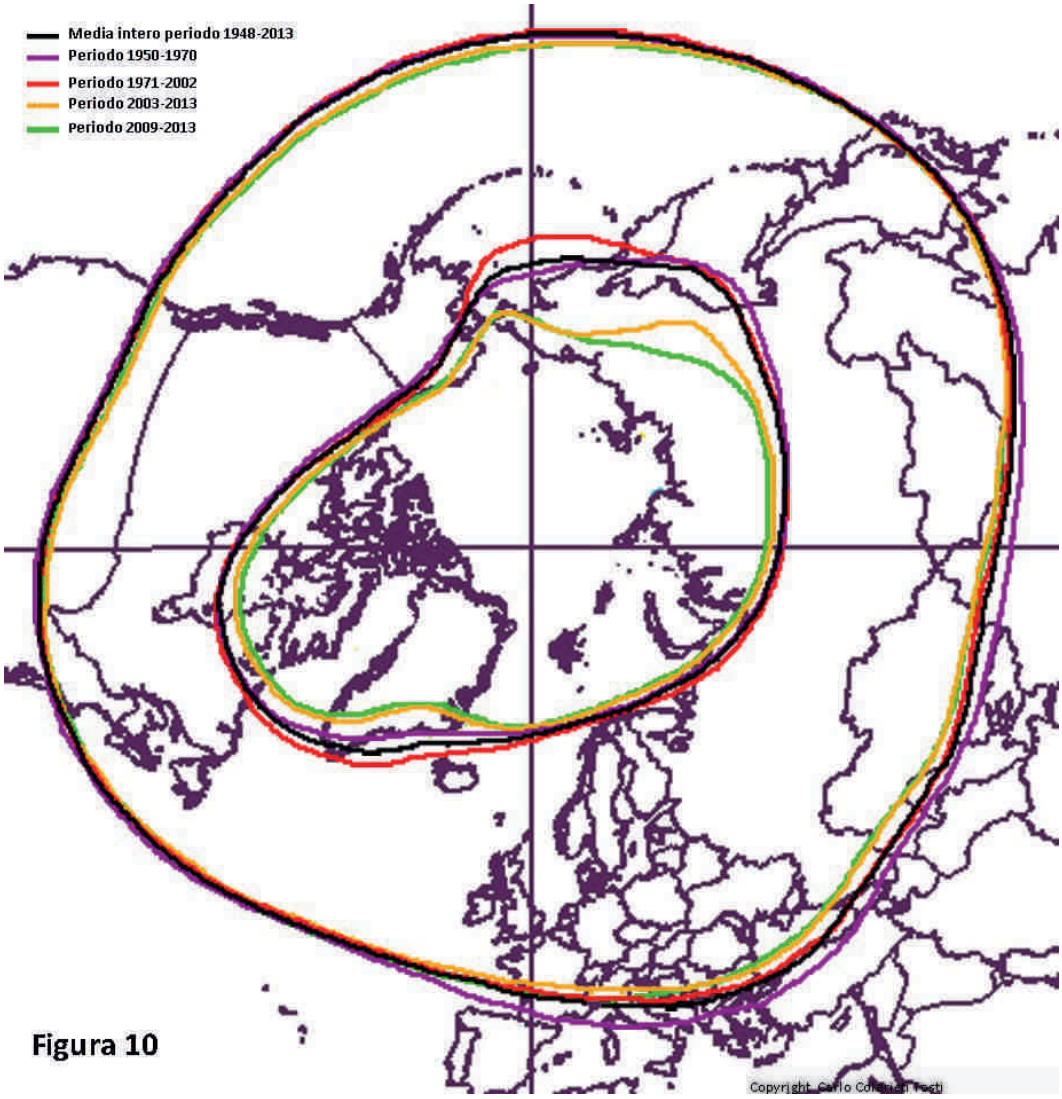


Figura 10

A questo punto fissiamo la nostra attenzione sui movimenti latitudinali di due precise isoipse alla quota isobarica di 500hPa: la 5350 metri e la 5650 metri. Nel grafico in figura 10 sono rappresentate le curve di livello di cui sopra nei periodi corrispondenti ad indice ECT negativo, positivo e dal 2009 fino a fine periodo. Quest'ultimo rappresenta l'intervallo temporale con apparente ingresso stabile dell'indice nella nuova fase negativa e ci servirà a individuare i segnali del cambiamento.

Le curve di livello di 5350 metri e 5650 metri sono state tracciate a gruppi di due con lo stesso colore perché appartenenti al medesimo periodo. Le linee nere rappresentano la posizione media dell'intero periodo 1948-2013. Le linee viola corrispondono al periodo 1950-1970, le linee rosse al periodo 1971-2002, le linee arancioni al periodo 2003-2013 ed infine le linee verdi al periodo 2009-2013. La prima informazione che scaturisce dall'esame della figura 10 riguarda le variazioni latitudinali asimmetriche a cui il vortice è soggetto. Infatti le massime variazioni per la isoipsa 5650 metri si riscontrano tra Europa occidentale e via fino all'Asia orientale. La più vistosa variazione è proprio tra il Mediterraneo centrale e i Paesi asiatici più occidentali. Qui lo scarto latitudinale tra i vari periodi risulta veramente incisivo. Variazioni meno importanti fino al limite dell'impercettibile riguardano invece la parte restante dell'emisfero. Per la isoipsa 5350 metri le più consistenti variazioni si riscontrano tra la Si-

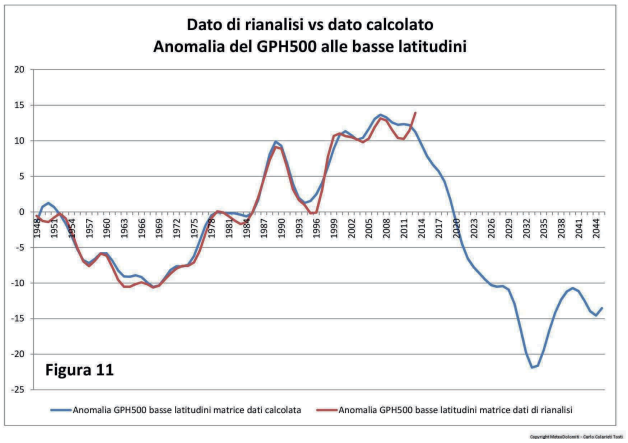
beria più orientale fino al Mare di Bering per attenuarsi rapidamente verso l'Alaska in maniera comprensibile visto l'onda orografica creata dalla catena delle Montagne Rocciose. La seconda area con importanti variazioni è compresa tra la Baia di Hudson fino alla Groenlandia meridionale passando a nord dell'isola d'Islanda ove si registra la massima variazione latitudinale. Detto ciò è facile intuire che le "variazioni climatiche" più importanti, causate proprio dalla spostamento di latitudine del vortice a seguito di sue espansioni e contrazioni, saranno proprio a carico delle sopraccitate zone. Fisseremo la nostra attenzione nell'area nord-atlantica per la isoipsa 5350 metri e sul bacino centrale del Mediterraneo per la isoipsa 5650 metri. La scelta è mirata a queste due zone per due motivi: si manifestano ampie oscillazioni, forse la più ampia proprio nel Mediterraneo centrale, e per le dirette conseguenze sull'Oscillazione Nord Atlantica (NAO).

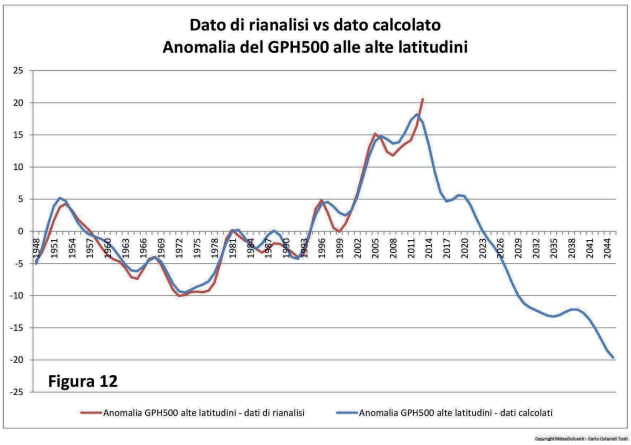
Una considerazione particolare sull'area del Mediterraneo centrale, quindi l'Italia. Questa è una delle poche zone a subire le più ampie oscillazioni latitudinali con conseguenti effetti macroscopici in riferimento alle variazioni della relativa fascia climatica. Lo spostamento tra le fasi di massima contrazione e massima espansione è stata in media di circa 4,5° di latitudine pari a circa 500Km. Tali variazioni corrispondono ad un abbassamento medio della fascia climatica dalla latitudine di Milano a quella di Napoli nella massima espansione e viceversa nella massima contrazione. Scendendo nel dettaglio emisferico il periodo 1950-1970, rappresentato dalle linee viola, è stato contraddistinto dalla massima espansione meridionale del vortice circumpolare accompagnato da un aumento dei geopotenziali in are artica e in particolar modo nell'Atlantico settentrionale. Tale configurazione ha determinato un'accelerazione del flusso zonale nelle medio-basse latitudini e un rallentamento nelle medio-alte latitudini. Questo periodo è stato contrassegnato da indice ECT stabilmente negativo. Il successivo periodo 1971-2002, rappresentato dalle linee rosse, è stato contrassegnato da una contrazione del vortice verso le alte latitudini determinando un aumento del geopotenziali nelle medio-basse latitudini, vedi spostamento della isoipsa 5650 metri, con una diminuzione del flusso medio zonale ed una sensibile diminuzione del geopotenziali nelle medio-alte latitudini, vedi isoipsa 5350 metri, con accelerazione del flusso medio zonale. Proseguendo al successivo periodo 2003-2013, rappresentato dalle linee arancioni, notiamo i primi segnali di un nuovo cambiamento. Infatti si nota un netto spostamento verso nord della isoipsa 5350 metri tra la Baia di Hudson e il braccio di mare a nord dell'Islanda come pure, ed anche vistoso, tra la Siberia orientale e lo Stretto di Bering. Contrariamente la isoipsa 5650 metri si contrae ancora lievemente verso nord, sempre con maggiore evidenza nel bacino centrale del Mediterraneo. In relatà a partire dall'ultimo periodo 2009-2013, rappresentato dalle linee verdi, si nota, sia pure appena percettibile, una tendenza all'abbassamento di latitudine della curva di livello 5650 metri che si presenta un po' più evidente proprio nel Mediterraneo centro-occidentale. In questo periodo l'isoipsa 5350 metri ha proseguito la tendenza a ritirarsi verso nord.

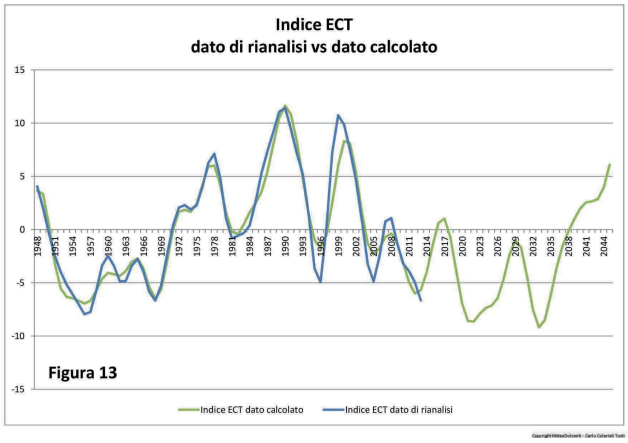
Tutte queste variazioni ci suggeriscono l'esistenza di oscillazioni naturali multidecadali di massa atmosferica e il tempo d'oggi rappresenta l'inizio di un nuovo cambiamento che sembra configurarsi in ampiezza perfino maggiore del precedente periodo 1950-1970.

Focalizzate le variazioni latitudinali in funzione dei vari periodi temporali è giunto il momento di utilizzare il lavoro svolto per identificare le armoniche principali rappresentanti le variazioni di geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa viste nei grafici delle figure 1 e 2 al fine di tracciare la possibile evoluzione futura.

La probabile evoluzione futura dell'indice Emisferico di Circolazione Troposferica







I grafici nelle figure 11, 12 e 13 rappresentano rispettivamente gli andamenti sia di rianalisi che ottenuti da calcolo delle anomalie di geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa alle basse latitudini, alle alte latitudini e l'indice ECT (indice Emisferico di Circolazione Troposferica) ottenuto dalla differenza tra la prima variabile e la seconda variabile. Tutte e tre le variabili calcolate sono state utilizzate per effettuarne una prognosi fino al 2045. Dal grafico in figura 11 la linea azzurra di previsione mostra una sostanziale e costante attenuazione delle anomalie positive alle basse latitudini a partire dal 2015 con probabile ingresso in anomalie negative attorno al 2020-2021. La fase negativa appare piuttosto profonda e quindi è probabile che la isoipsa 5650 metri analizzata nel capitolo precedente possa nel periodo sopra descritto spingersi anche più a sud del precedente periodo negativo risalente al 1950-1970. La fase negativa è prevista protrarsi fino a fine periodo di elaborazione, 2045. All'inizio del testo abbiamo evidenziato un ritardo nel cambio di segno di circa 4 anni della variabile anomalia GPH500hPa alle alte latitudini rispetto alla stessa anomalia alle basse latitudini. Anche la linea azzurra di prognosi nel grafico 12, inerente l'anomalia di geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa alle alte latitudini, conferma tale andamento con un ritardo di circa 5 anni in ingresso nella nuova fase negativa rispetto alla variabile alle basse latitudini previsto, quindi, tra il 2025 e il 2026. Anche in questo caso l'anomalia negativa calcolata si spinge in fase negativa fino a fine elaborazione, sempre nell'anno 2045, risultando anch'essa molto più profonda rispetto l'analogo precedente periodo. Il grafico in figura 13 dell'indice ECT ci informa che attorno 2019-2020 assumerà definitivamente valori negativi raggiungendo un profondo minimo attorno all'anno 2037. Nel loro insieme i dati ottenuti ci suggeriscono che l'emisfero settentrionale sperimenterà a breve una progressiva dinamica di cambio di massa atmosferica che porterà ad un sensibile abbassamento latitudinale del fronte polare determinando una maggiore estensione verso sud dell'aria polare. In relazione a quanto si evidenzia le conseguenze attese per le medie latitudini sono di un progressivo peggioramento delle complessive condizioni atmosferiche accompagnate da un altrettanto progressivo raffreddamento. La circolazione prevalente attesa sarà di tipo zonale o antizonale.

Le conseguenze regionali nel Mediterraneo centro-occidentale

Abbiamo potuto constatare dal grafico in figura 10 come il Mediterraneo centro-occidentale, fino ai paesi asiatici occidentali, sia sede di variazioni latitudinali considerevoli della curva di livello di 5650 metri. Nel particolare il Mediterraneo centrale è stato oggetto di variazioni quasi doppie rispetto alla media di tutte le altre zone soggette alla stessa isoipsa, escluse quelle asiatiche occidentali. Le variazioni che investono l'alto Atlantico sono anch'esse notevoli e finiscono per influenzare l'indice NAO. La contenuta, se non quasi assente, variazione latitudinale nel settore medio-atlantico di calcolo dello stesso indice NAO, induce a pensare che possa essere più descrittiva per le vicende mediterranee la variazione di pressione tra il Mediterraeno centrale e la zona attorno al Regno Unito.

Indaghiamo più da vicino e per prima cosa tracciamo il grafico, visualizzabile in figura 14, dell'anomalia della matrice dati inerente il geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa nell'area del bacino centro-occidentale del Mediterraneo e precisamente alle coordinate: 35°N-45°N e 0°E 20°E. Anche in questo caso le anomalie sono ricavate in base alla media di riferimento dell'intero periodo. La linea rossa rappresenta la gaussiana a due anni che utilizzeremo, come già descritto per le precedenti variabili discusse, al fine di tagliare le oscillazioni a più alta frequenza. La matrice ottenuta è stata posta a confronto con la matrice delle anomalie emisferiche alle basse latitudini, come da grafico in figura 14a. Da questo grafico è possibile constatare quanto fin qui discusso, ovvero, le variazioni nel Mediterraneo centro-occidentale seguono le variazioni emisferiche alla quota isobarica di 500hPa delle basse latitudini (curva di livello medio di 5650 metri) e le variazioni di anomalia di geopotenziale sono quasi doppie (fattore medio di 1,9) delle variazioni medie emisferiche alla stessa quota isobarica di 500hPa.

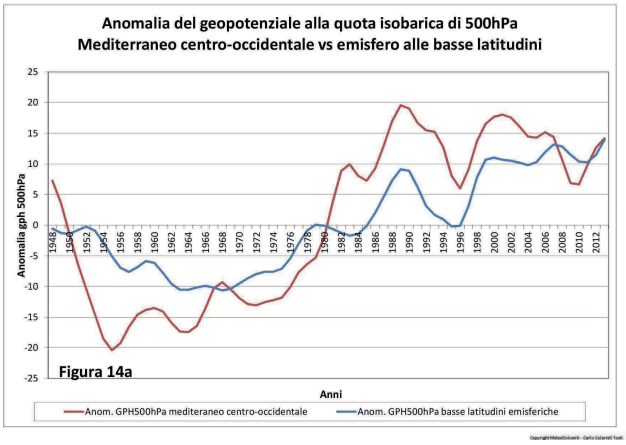


Figura 14a

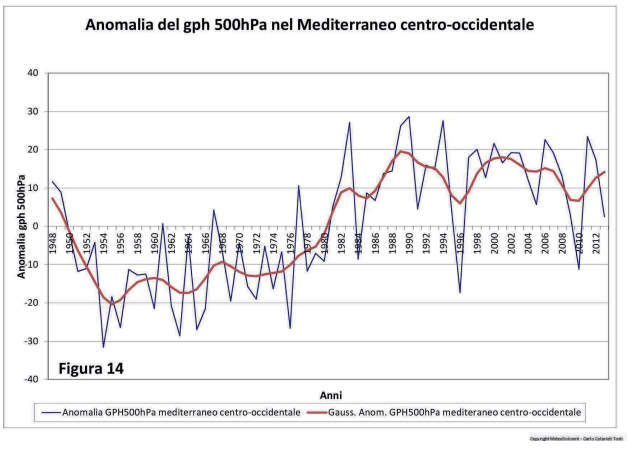


Figura 14

Ovviamente tale oscillazione corrisponde ad una analoga variazione latitudinale delle fasce climatiche. Seguendo il tracciante grafico riferito alla zona mediterranea, linea rossa, si scorge un picco positivo raggiunto alla fine degli anni '80 del XX° secolo. A seguire, una lieve flessione delle anomalie tantoché negli ultimi anni si allineano alle variazioni medie emisferiche, evoluzione questa probabile indice di una nuova inversione di tendenza con flessione dei geopotenziali, più rapida nell'area mediterranea analizzata.

Il Mediterraneo centro-occidentale rappresenta a livello emisferico una zona altamente sensibile alle variazioni climatiche a prescindere dalla loro causa. Le oscillazioni delle anomalie, sia negative che positive, sono soggette a variazioni circa doppie rispetto a quelle riscontrate a livello emisferico. Ne deduciamo che le attuali oscillazioni sono perfettamente riconducibili per ampiezza e durata al rumore climatico naturale del pianeta. Infatti l'introduzione di una componente esterna al sistema, non di origine naturale, che genera una amplificazione delle variazioni positive di anomalia non può per sua natura determinare la stessa amplificazione anche nella anomalia di segno opposto. Seguendo le curve di livello in figu-

ra 10 si insinua il dubbio che vi sia una sorta di dipolo tra il Mediterraneo centro-occidentale e l'isola del Regno Unito. Il dubbio deriva dal fatto che lo spostamento latitudinale della isoipsa 5650 metri finisca per determinare una simile variazione della stormtrack atlantica. Quindi il Regno Unito come pure la zona del Mediterraneo centro-occidentale possono trovarsi alternativamente, ed inversamente, in condizioni maggiormente o minormente umide. Per meglio identificare queste variazioni analizziamo la variabile del geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa che senza dubbio presenta caratteristiche di maggiore obiettività rispetto alla variabile precipitazioni. La variabile spia è il vento zonale che come illustrato in figura 15 evidenzia una correlazione negativa tra le zone poste in analisi con indice di correlazione r=-0,64. Il risultato ci suggerisce che quanto sospettato inizialmente trova conferme nei dati.

Al fine di descrivere le variazioni di geopotenziale sul Mediterraneo centro-occidentale si è sviluppato un altro indice denominto EID, acronimo di England-Italy Dipole.

Come appena illustrato il Regno Unito, con l'area atlantica prospiciente, e il Mediterraneo centro-occidentale sono virtualmente zone di confine soggette ad oscillazioni in controfase tra loro. Per approfondire meglio passiamo ad investigare sulle relative differenze di geopotenziale.

Anche in questo caso sono stati utilizzati i dati di rianalisi mensili, dal 1948, di geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa alle coordinate 55°N;65°N, 0°;20°W e 35°N;45°N, 0°;20°E. Si è proceduto a calcolare i dati medi annuali e anche mensili per l'intero periodo disponibile, ovvero dal 1948 al 2013. Ottenute le matrici delle relative anomalie si è calcolata la differenza di anomalia del geopotenziale per ogni singolo mese per ognuna delle rispettive zone dati, corrispondenti all'area britannica e quella mediterranea; poi si è calcolato la differenza delle anomalie tra l'area mediterranea e l'area britannica. Il valore ottenutoè stato diviso per una costante arbitraria utile per allineare la scala dell'EID alla scala dell'indice NAO.

L'equazione completa è la seguente:

$$IndiceEID = \left[\frac{(GPH500_{Mco} - GPH500_{MMco}) - (GPH500_{E} - GPH500_{ME})}{K_a}\right]$$ dove:

$GPH500_{Mco}$ = geopotenziale in area mediterranea centro-occidentale;
$GPH500_{MMco}$ = dato medio del geopotenziale in area mediterranea centro-occidentale;
$GPH500_{E}$ = geopotenziale in area britannica e atlantica prospiciente;
$GPH500_{ME}$ = dato medio del geopotenziale in area britannica e atlantica prospiciente.
K_a = costante di allineamento.

Il grafico in figura 16 sintentizza quanto fin'ora espresso fornendoci chiare indicazioni circa la variazione dell'indice nel tempo a partire dal 1948. Valori negativi dell'indice suggeriscono fasi nelle quali il Mediterraneo centro-occidentale ha sperimentato anomalie negative di geopotenziele rispetto l'area del Regno Unito e viceversa in caso di indice positivo. Il valore annuale dell'indice EID è frutto delle variazioni dei singoli indici EID stagionali e quindi in ultima analisi ne rappresenta la media. Infatti dal grafico in figura 17 è possibile visualizzare il complesso degli EID stagionali e la media di tutte le stagioni che

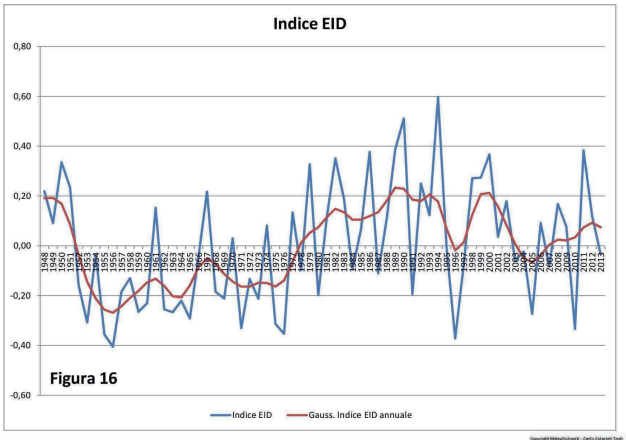


Figura 16

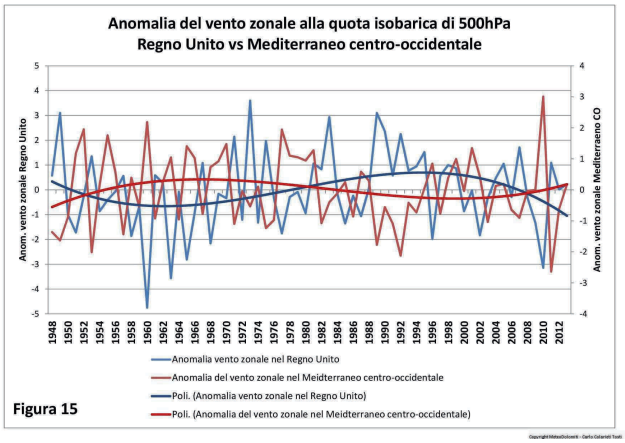


Figura 15

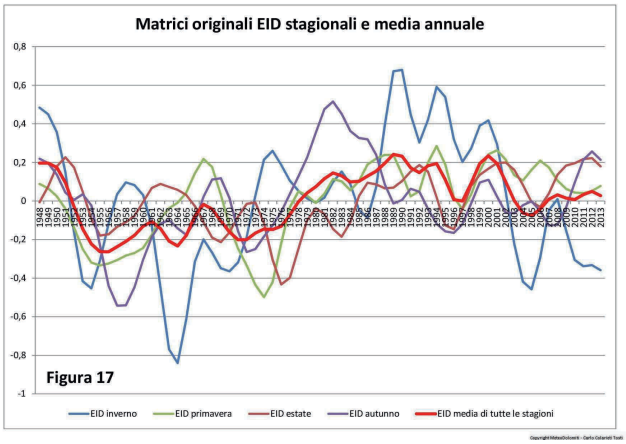


Figura 17

infatti rappresenta l'indice EID annuo visualizzato in figura 16.
Il grafico 17 merita però una valutazione più attenta. La linea rossa in grassetto rappresenta la media degli indici EID calcolati stagionalmente. Le stagioni sono state classificate per trimestri nel seguente modo:

Inverno=dicembre-gennaio-febbraio
primavera=marzo-aprile-maggio
estate=giugno-luglio-agosto
autunno=settembre-ottobre-novembre

Dal grafico si scorge abbastanza facilmente come le stagioni abbiano periodi di oscillazione propri mantenendo una certa coerenza nei segnali a più bassa frequenza. Attraverso l'analisi dei singoli spettri di potenza è stato possibile ricavare otto periodi principali per ogni singolo indice EID stagionale.

INVERNO	PRIMAVERA
1. 57,776751 anni	1. 64,998375 anni
2. 22,608578 anni	2. 19,259288 anni
3. 14,054024 anni	3. 15,294028 anni
4. 10,000000 anni	4. 11,555617 anni
5. 8,254230 anni	5. 8,813679 anni
6. 7,222302 anni	6. 6,341556 anni
7. 6,582412 anni	7. 5,591278 anni
8. 5,714286 anni	8. 4,684718 anni

ESTATE	AUTUNNO
1. 64,998375 anni	1. 64,998375 anni
2. 43,333189 anni	2. 37,142963 anni
3. 20,799967 anni	3. 16,250122 anni
4. 15,757461 anni	4. 12,380988 anni
5. 12,682952 anni	5. 10,196070 anni
6. 9,811617 anni	6. 8,387151 anni
7. 7,123522 anni	7. 7,222302 anni
8. 6,046680 anni	8. 6,264879 anni

Guardando le tabelle si notano alcune particolarità. Per prima cosa i segnali a più bassa frequenza prodotti dai periodi più lunghi sono analoghi per tre stagioni: primavera, estate ed autunno. Tutti i periodi più lunghi sono gli stessi riscontrati nelle anomalie di geopotenziale a livello emisferico. Le stagioni inverno-primavera ed estate-autunno denotano delle affinità tra loro nei vari periodi quasi a segnalarci che l'inverno prima e l'estate poi producano dei riflessi rispettivamente nella stagione primaverile e autunnale. Il grafico in figura 18 mostra la ricostruzione dei segnali secondo i periodi precedentemente individuati. La curva nera in grassetto rappresenta la matrice dati calcolata dell'indice EID medio annuo mentre la curva rossa rappresenta l'indice EID annuo della matrice originale di rianalisi. La corrispondenza elevata dimostra l'efficace lavoro di ricostruzione compiuto. Il grafico in figura 18a descrive numericamente quanto appena scritto evidenziando un indice di correlazione tra le due curve di r= 0,96. Avendo stabilito la ricostruzione si è proceduto, come per altre variabili già esaminate, a calcolare una previsione degli andamenti fino all'anno 2045. Il grafico in figura 19 rappresenta il risultato. Analizzando le singole stagioni si notano le seguenti fasi:

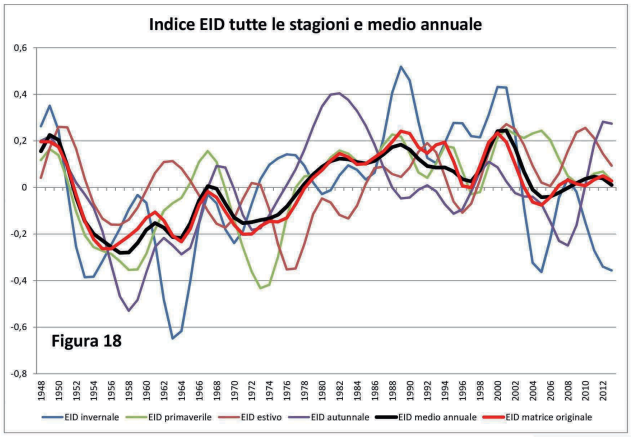


Figura 18

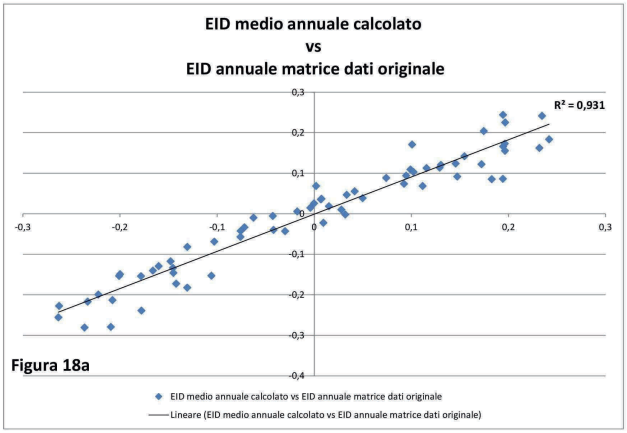


Figura 18a

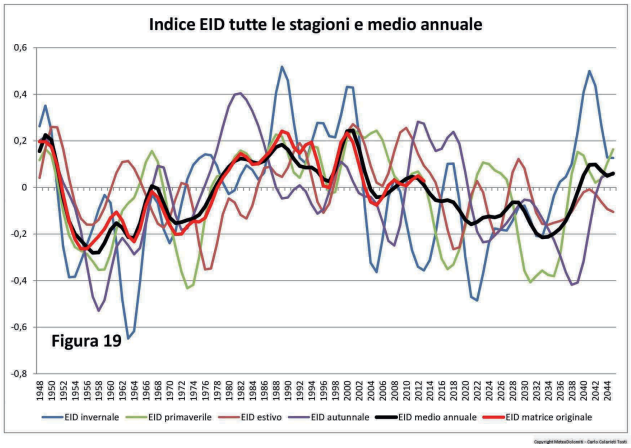


Figura 19

INVERNO
1951-1972 indice EID stagionale negativo
1973-2002 indice EID stagionale positivo
2003-2035 indice EID stagionale negativo
dal 2036 inizio nuova fase positiva.

PRIMAVERA
1952-1977 indice EID stagionale negativo
1978-2013 indice EID stagionale positivo
2014-2037 indice EID stagionale negativo
dal 2038 inizio nuova fase positiva.

ESTATE
1954-1984 indice EID stagionale negativo
1985-2015 indice EID stagionale positivo
2016-2045 indice EID stagionale negativo.

AUTUNNO
1953-1975 indice EID stagionale negativo
1976-2020 indice EID stagionale positivo*
2021-2042 indice EID stagionale negativo
dal 2043 inizio nuova fase positiva.
*All'interno del periodo positivo si registrano due periodi negativi significativamente lunghi: 1988-1997 e 2002-2009.

Prima di addentrarci nelle singole stagioni analizziamo l'indice EID annuo.
Seguendo la curva nera notiamo le seguenti fasi:

1953-1977 indice EID annuale negativo
1978-2013 indice EID annuale positivo
2014-2039 indice EID annuale negativo
dal 2040 inizio nuova fase positiva.

La negatività dell'indice suggerisce anomalie negative di geopotenziale in area mediterranea centro-occidentale rispetto all'area del Regno Unito, viceversa in caso di positività. Quindi attorno all'anno 2014 si prevede l'entrata in una nuova fase negativa che porterà il mediterraneo centro-occidentale a sperimentare un lungo periodo contrassegnato da anomalie negative di geopotenziale (segnatamente alla quota isobarica di 500hPa). Ma come si comporteranno mediamente le singole stagioni?
Seguendo le tabelle stagionali per il periodo 2014-2039 è atteso:
per la stagione invernale un prosieguo della fase negativa già avviata nel 2003.
Per la stagione primaverile un ingresso attorno al 2014 in fase negativa come pure attorno al 2016 per l'estate. Solo l'autunno sembra entrare più stabilmente in fase negativa attorno al 2021. Questa stagione merita una riflessione maggiore vista la spiccata capacità di produrre pericolose e talvolta nefaste situazioni alluvionali. Dal sito di wikipedia è stato ottenuto il numero di eventi alluvionali nel periodo autunnale, ovvero nel trimeste settembre-ottobre-novembre, dal 1948 al 2013. Nel grafico in figura 20 all'andamento dell'indice EID autunnale è stato sovrapposto il numero totale di eventi alluvionali. I riquadri in rosso evidenziano che il 75,6% (31 eventi su un totale di 41) delle alluvioni è avvenuto nei periodi con indice EID autunnale in fase negativa o neutra. In relazione allo studio fin qui realizzato dobbiamo interrogarci sul possibile scenario futuro. Dalla previsione dell'andamento dell'indice

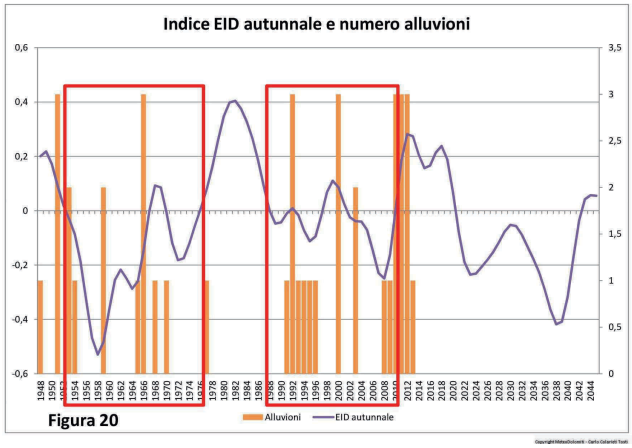


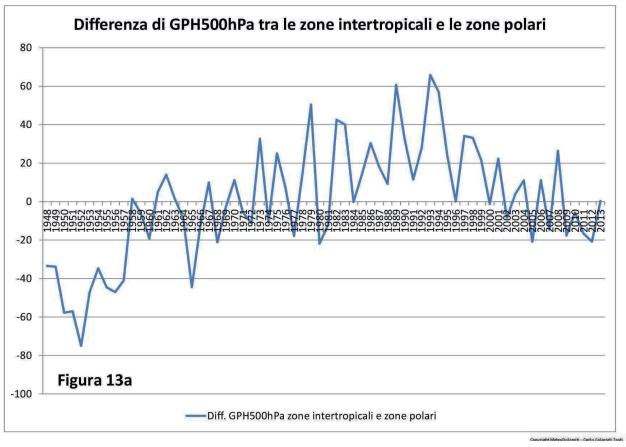
Figura 20

EID autunnale si evidenzierebbe una entrata decisa in fase negativa attorno al 2021 fino al 2043 circa. E' quindi lecito attendersi per quel periodo, successivo al 2018, un aumento della frequenza degli eventi alluvionali, così come già avvenuto in passato. Da questo studio è escluso il contributo eventuale delle configurazioni di blocco sull'Europa orientale che pure possono dare valori di indice EID positivo ma al contempo contribuire per distribuzione delle anomalie regionali alla genesi degli eventi alluvionali. Distribuzione facilmente deducibile attraverso l'analisi delle anomalie autunnali del geopotenziale per il periodo 2011-2013 (non mostrato).

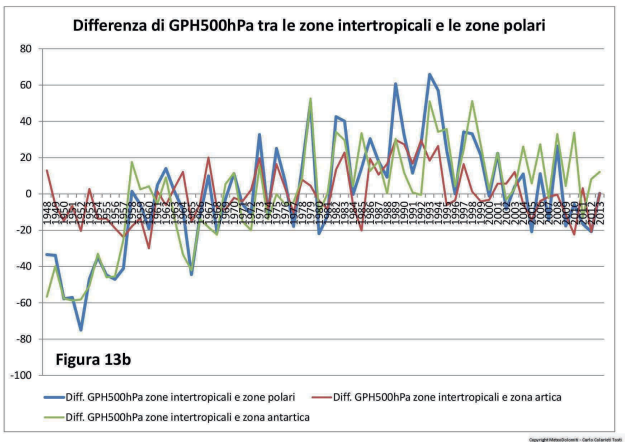
Le oscillazioni emisferiche e regionali inserite nel cambiamento globale

A questo punto è necessaria una ulteriore analisi. Dobbiamo capire se le oscillazioni emisferiche rilevate ed individuate secondo l'indice ECT, ove si inseriscono le variazioni regionali individuate secondo l'indice EID, sono a loro volta parte di un'oscillazione globale che interessa quindi l'intera circolazione troposferica del pianeta. Per rispondere a questo importante quesito continueremo la ricerca sempre attraverso l'analisi del geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa. Fisseremo la ricerca a tre macro aree che sono determinanti per le variazioni del gradiente di geopotenziale tra le basse e le alte latitudini globali. Le aree sono: zone polari, artica e antartica, comprese tra le latitidini 60° e 90° nord e sud e la zona intertropicale ovvero la zona compresa tra le latitudini 30° sud e 30° nord. Il grafico in figura 13a illustra la differenza di geopotenziale tra le zone polari e la zona intertropicale.

Già dall'analisi visiva di questo grafico appare

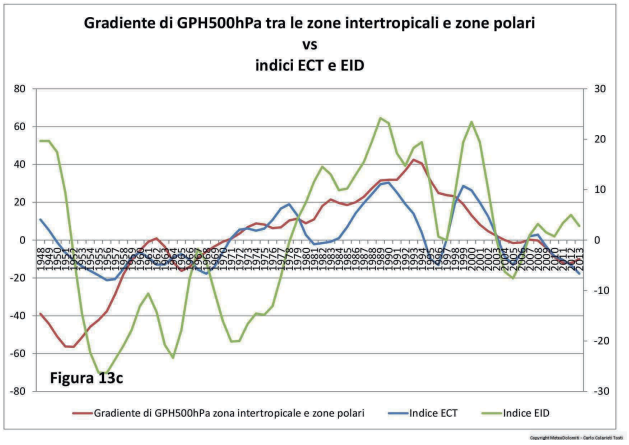


evidente un'oscillazione simile a quanto evidenziato precedentemente nell'analisi emisferica. Dal 1948 al 1971 si evidenzia una prevalente fase negativa ad indicare un aumento del geopotenziali nelle zone polari e una flessione in quelle tropicali con una conseguente diminuzione del gradiente di geopotenziale e di conseguenza di flusso zonale alle alte latitudini, a scapito di un'accelerazione alle più basse latitudini. Dal 1972 si apre una nuova fase positiva che si protrae fino al 2007, a seguire si evidenzia un nuovo cambio di fase verso un periodo negativo. Ma volendo andare più a fondo nella comprensione dell'intero meccanismo scorporiamo le singole zone polari determinando le relative differenze di geopotenziale con la zona intertropicale. Il risultato ottenuto è visibile in figura 13b. La curva in grassetto azzurra corrisponde all'andamento visto in figura 13a. Le curve rossa e verde corri-



spondono rispettivamente al gradiente di geopotenziale tra zona intertropicale e zona artica e zona intertropicale e zona antartica. Gli andamenti sono simili ma con ampiezze decisamente maggiori per quanto concerne l'emisfero meridionale. Infatti la curva globale è sensibilmente condizionata dalle vicende dell'emisfero meridionale che appare come emisfero guida. Per quest'ultimo si evidenzia come dal 1948 fino al 1977 abbia prevalso una fase negativa contrassegnata da un aumento del geopotenziali in zona polare e una flessione in zona tropicale determinando una flessione del gradiente di geopotenziale con un'accelerazione del flusso verso le basse latitudini. Dal 1978 e fino al 2013 è iniziata una fase positiva ad indicare un aumento del gradiente di geopotenziale tra zone tropicali e zona polare con accelerazione del flusso zonale verso la zona polare. In relatà a partire dall'ultimo picco positivo riscontrato nel 1998 si è registrata una complessiva flessione pur ancora con valori in territorio positivi, indice probabile di un prossimo nuovo cambio di segno. La peculiarità

delle variazioni marcate dell'emisfero meridionale si ritiene sia imputabile alla diversa distribuzione delle terre emerse il cui impatto è fortemente limitato dalla maggiore estensione oceanica. In questo caso l'accelerazione del flusso verso le zone polari tende maggiormente ad isolare questa particolare area limitando gli scambi d'aria con le zone a più bassa latitudine, forse questo può avere dato un contributo al depauperamento dello strato di ozono stratosferico e all'incremento dell'estensione della superfice ghiacciata. Queste supposizioni rimarranno al momento tali in quanto non oggetto di approfondimento in questa ricerca. A questo punto tratteremo la curva del gradiente tra zone polari e zona intertropicale vista nel grafico in figura 13a con uno smoothing gaussiano a 2 anni per gli stessi motivi descritti per le altre variabili trattate. La matrice ottenuta è stata confrontata con l'indice Emisferico di Circolazione Troposferica al fine di individuare oggettivamente se l'indice stesso è parte o meno di un fenomeno più ampio che coinvolge la circolazione a scala globale. Il grafico in figura 13c è piuttosto eloquente. Gli andamenti sono sostanzialmente sovrapponibili ad indicare che l'indice ECT, curva azzurra, si inserisce in un



quadro globale di modifica dell'intera circolazione generale dell'atmosfera. Inoltre si nota altrettanto in maniera evidente come anche l'indice EID, curva verde, sia in linea con gli avvenimenti globali. Quindi per il principio di transitività se l'indice EID è espressione degli avvenimenti emisferici evidenziati dall'indice ECT il quale è frutto di una equivalente modifica a livello globale, allora l'indice EID stesso non è altro che l'espressione regionale di un cambiamento di circolazione globale. Ma tutto ciò si traduce più semplicemente nella più ampia modifica di massa atmosferica a cui il sistema è soggetto. La prossima sfida sarà la ricerca delle cause che generano questa invisibile quanto imponente variazione di massa alla base delle inevitabili conseguenze riguardanti il cosiddetto "cambiamento climatico" o più correttamente "variabilità climatica". Qualche idea di dove indagare già l'abbiamo: l'attività solare.

Una piccola annotazione: in questo capitolo la numerazione progressiva dei grafici si è interrotta in quanto questa parte è in diretta relazione a quanto evidenziato nel grafico in figura 13.

Conclusioni

I risultati ottenuti da questa ricerca dimostrano l'esistenza di una oscillazione nel campo di massa dell'intera troposfera globale nella quale viene interessato il gradiente di geopotenziale tra le alte e le basse latitudini. L'indice ECT ha permesso l'individuazione di una variabilità nella circolazione emisferica nella media troposfera alla quota isobarica di 500hPa evidenziando, attraverso gli spettri di potenza, che le oscillazioni a bassa frequenza sono quelle che governano l'intero processo. La variabilità latitudinale del vortice polare con successive fasi di contrazione ed estensione sono state graficamente dimostrate dalla variabilità latitudinale di due particolari isoipse: la 5350 metri e la 5650 metri. La notevole oscillazione dimostra altrettante variazioni nel campo di massa atmosferica. Inoltre è stata evidenziata l'asimmetrica variazione latitudinale delle oscillazioni del vortice polare più significative in alcune aree e meno, se non impercettibili, in altre. Tra le zone più interessate vi sono il nord Atlantico e nord Pacifico per le alte latitudini e per le basse latitudini il Mediterraneo centro-occindentale, ove tra l'altro si registra la più ampia variazione quasi doppia rispetto all'intero emisfero, e la zona asiatica. L'individuazione e l'utilizzo dell'indice regionale EID, acronimo di England-Italy-Dipole, ha permesso di individuare un dipolo tra il Regno Unito e il Mediterraeno centro-occidentale alla quota isobarica di 500hPa. Questo dipolo è soggetto a oscillazioni di periodo decadale con flusso zonale alternativamente e inversamente più attivo o sui paralleli del Regno Unito o sulla zona del Mediterraneo centro-occidentale. Lo sviluppo dell'indice EID annuale ha dimostrato che esso è costituito dalla media degli indici EID stagionali e il suo andamento è perfettamente riconducibile alla variazione emisferica già individuata dall'indice ECT. Anche nel caso dell'indice EID le oscillazioni a bassa frequenza si dimostrano le più importanti nel plasmare tale fenomeno in tutte le stagioni. Le ricostruzioni a mezzo di calcolo delle matrici dati di rianalisi del geopotenziale alla quota isobarica di 500hPa, sia per la determinazione dell'indice ECT che dell'indice EID, hanno fornito risultati notevoli con indici di correlazione prossimi a r=1. Questo eccellente risultato ha permesso di effettuare una prognosi che abbiamo spinto fin verso il 2045. Avremmo potuto soddisfare la nostra curiosità procedendo nella prognosi anche molto oltre. La convizione che vi siano, oltre ai periodi individuati, anche segnali a frequenza ancora più bassa ma indecifrabili, a causa delle esigue disponibilità temporali delle matrici di rianalisi, ha prudenzialmente suggerito di limitare il tempo di prognosi. Comunque il risultato ottenuto ci ha fornito sufficienti dati per evidenziare che nel prossimo futuro il vortice polare subirà una fase di espansione con conseguente deterioramento delle condizioni atmosferiche nelle basse latitudini ed in particolar modo nelle zone dove si osserva la massima oscillazione, in primis nel Mediterraneo centro-occidentale. In realtà, come evidenziato dall'indice ECT, questo processo ha già avuto inizio attorno all'anno 2003 ma comunque è ancora soggetto ad alterne fasi positive e negative. Attorno all'anno 2018 invece appare entrare in una fase multidecadale pienamente negativa che dai calcoli sembra possa raggiungere un'ampiezza superiore a quella raggiunta nell'analogo periodo tra il 1950 e il 1971. Grazie alla scomposizione stagionale dell'indice EID è risultato che la stagione invernale è già entrata in fase negativa dal 2003; la primavera vi è appena entrata nella stagione 2014. La stagione estiva entrerà in fase negativa attorno al 2016 e quella autunnale vi entrerà stabilmente attorno al 2020. A partire da questa data tutte le stagioni si troveranno nella fase multidecadale negativa dell'indice. La ricerca ha anche dimostrato come la variazione regionale facente capo all'indice EID sia espressione della variazione emisferica evidenziata dall'indice ECT la quale dipende dalla più ampia variazione globale di spostamento di massa atmosferica tra le zone intertropicali e le zone polari responsabile della variabilità climatica naturale con periodo multidecadale.