



#persapernedipiù

Analisi della dinamica stratosfera/troposfera nell'inverno 2020-2021

Contenuti

Andamento della stratosfera e conseguenze a livello meteo

- Le cause dello stratwarming di questo inverno
- Analisi del mese di Gennaio
- Analisi del mese di Febbraio
- Ripercussioni a macroscale e limiti di predicibilità

Breve focus sul Sudden Stratospheric Warming

Bibliografia

Glossario minimo

Altre risorse

Autori:

Roberto Vallorani, Consorzio LaMMA - CNR IBE
Giulio Betti, Consorzio LaMMA - CNR IBE
Gianni Messeri, Consorzio LaMMA - CNR IBE
Claudio Tei, Consorzio LaMMA - CNR IBE
Berardo Gozzini, Consorzio LaMMA - CNR IBE

Giorgio Bartolini, Consorzio LaMMA
Tommaso Torrigiani, Consorzio LaMMA
Daniele Grifoni, Consorzio LaMMA - CNR IBE
Alessandro Messeri, CNR IBE
Maurizio Iannuccilli, CNR IBE

Progetto editoriale e pubblicazione a cura di:

Valentina Grasso (CNR IBE - Consorzio LaMMA)

Aprile 2021, Firenze

DOI: 10.5281/zenodo.4670135

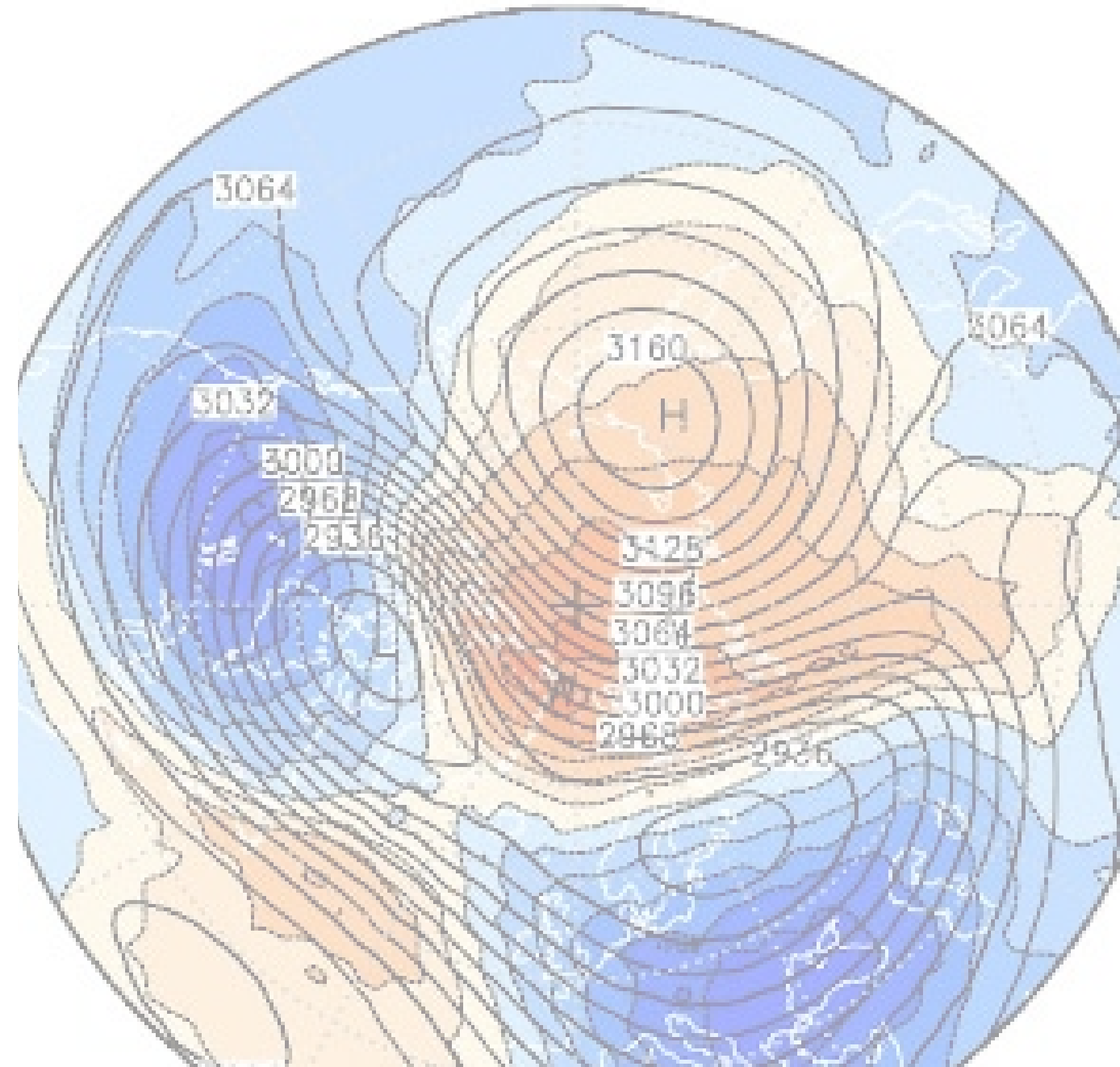
Introduzione

Solitamente le dinamiche che avvengono in stratosfera non hanno grandi impatti dal punto di vista meteorologico, ma nel corso della stagione invernale invece l'andamento della circolazione tra 10 e 50 km di altitudine costituisce uno dei principali indici climatici (teleconnessione) per le latitudini medio-alte dell'emisfero nord, contribuendo in modo significativo alla predicibilità dell'andamento meteo nel medio-lungo termine, da una settimana a due mesi, soprattutto alla scala sinottica. Questo significa che in determinate situazioni, i **meccanismi di accoppiamento troposfera-stratosfera possono ridurre considerevolmente la variabilità climatica del periodo invernale**, delineando andamenti circolatori preferenziali e facilitando le previsioni stagionali delle anomalie termo-pluviometriche e di alcuni fenomeni meteorologici estremi come le ondate di freddo. Giunti alla fine dell'inverno 2020-2021, vi presentiamo un'analisi dei meccanismi di interazione troposfera-stratosfera che hanno caratterizzato la fase invernale e gli effetti più evidenti che si sono mostrati.

Andamento della stratosfera e conseguenze a livello meteo

In data 19 dicembre 2020 si è verificato un evento di [Stratcooling](#) che, secondo quanto riportato dagli studi climatologici, avrebbe dovuto determinare un periodo di 30-60 giorni con forte zonalità e indice [AO](#) positivo, e conseguente clima secco e mite sull'Europa centro-meridionale. In realtà, troposfera e stratosfera sono risultate fortemente disaccoppiate, cioè non si sono influenzate vicendevolmente, e sul comparto Euro-Asiatico ha prevalso la formazione di blocchi anticiclonici con scambi meridiani e frequenti perturbazioni di matrice nord Atlantica che hanno interessato l'Europa meridionale. L'Italia infatti ha sperimentato un mese di dicembre tra i più piovosi dal 1955 e con accumuli di neve record sulle Alpi orientali.

L'effetto del disaccoppiamento tra troposfera e stratosfera occorso nel mese di dicembre è ben visibile nella sezione verticale dell'indice [NAM](#) - [North Annular Mode](#) (figura 1), in cui la componente troposferica sull'emisfero Nord è caratterizzata dalla presenza di importanti blocchi anticiclonici (colore arancione-rosso), mentre in stratosfera è evidente il rinforzo del [Vortice Polare](#) (colore celeste-blu).



perchè si è verificato un disaccoppiamento tra stratosfera e troposfera?

ACCOPPIAMENTO

quando troposfera e stratosfera interagiscono, condizionandosi a vicenda.

DISACCOPPIAMENTO

quando non c'è accoppiamento, ovvero le dinamiche troposferiche agiscono indipendentemente da quelle stratosferiche e viceversa

Individuare le cause di questo disaccoppiamento è decisamente più complicato. Molto probabilmente in troposfera durante la stagione autunnale si sono andati consolidando grossi blocchi alla circolazione zonale non facili da dissipare e che giustificano la difficoltà nella trasmissione del segnale stratosferico (stratcooling) in troposfera. E' evidente dall'indice NAM di figura 1 come troposfera e stratosfera risultino disaccoppiate nel mese di dicembre 2020. A testimonianza della presenza di blocchi alla circolazione zonale ricordiamo che nel mese di dicembre 2020 l'indice AO era fortemente negativo e il **Siberian High Index** mostrava valori molto alti a causa della forte alta pressione in Siberia.

Inoltre appare decisamente interessante, anche per le future teleconnessioni invernali, ricordare che recenti studi (Baofu Li et al. 2020) hanno messo in evidenza che **la tendenza a imponenti anticicloni in Siberia** non è un caso di questo inverno ma **un trend che si va consolidando**.

Il **Siberian High Index** identifica le anomalie di pressione al suolo (hPa) sulla Siberia. Quando risultano superiori alla media di riferimento significa che l'alta pressione termica è potenzialmente stabile e duratura.

Quando sono invece inferiori alla media, l'anticiclone termico può risultare debole e scarsamente esteso. L'indice è particolarmente utile nei mesi di ottobre, novembre e dicembre.

Quali sono le cause della recente tendenza al rinforzo del Siberian High ?

La risposta a questa domanda è ancora più complicata ed oggetto di ricerca scientifica. Da alcuni studiosi viene chiamato in causa il fenomeno dell'Amplificazione Artica, ovvero il rapido riscaldamento che questa regione sta subendo. Una delle conseguenze ipotizzate potrebbe essere proprio la forte riduzione dell'estensione del ghiaccio marino e del manto nevoso nella regione artica (a settembre 2020 si è toccato un importante minimo di estensione di ghiaccio, secondo di pochi punti percentuali al minimo assoluto del settembre 2012).

A questo effetto si associa, nel periodo autunnale, un incremento della nevosità sulle regioni sub-polari (Scandinavia settentrionale, Canada settentrionale, Russia settentrionale, Alaska, Islanda) favorito da una maggior disponibilità di umidità; un fenomeno che si pensa possa indurre repentini rinforzi dell'anticiclone termico russo-siberiano. Proprio quest'ultimo, considerato uno dei principali precursori troposferici dei riscaldamenti in stratosfera, potrebbe inoltre contribuire alla maggior frequenza degli episodi di Sudden Stratospheric Warming (SSW) nei prossimi anni. Tuttavia questa ipotesi risulta a tutt'oggi alquanto controversa (Zappa et al 2021, Kim et al 2014, Vihma 2014).

Le cause dello Stratwarming di questo inverno

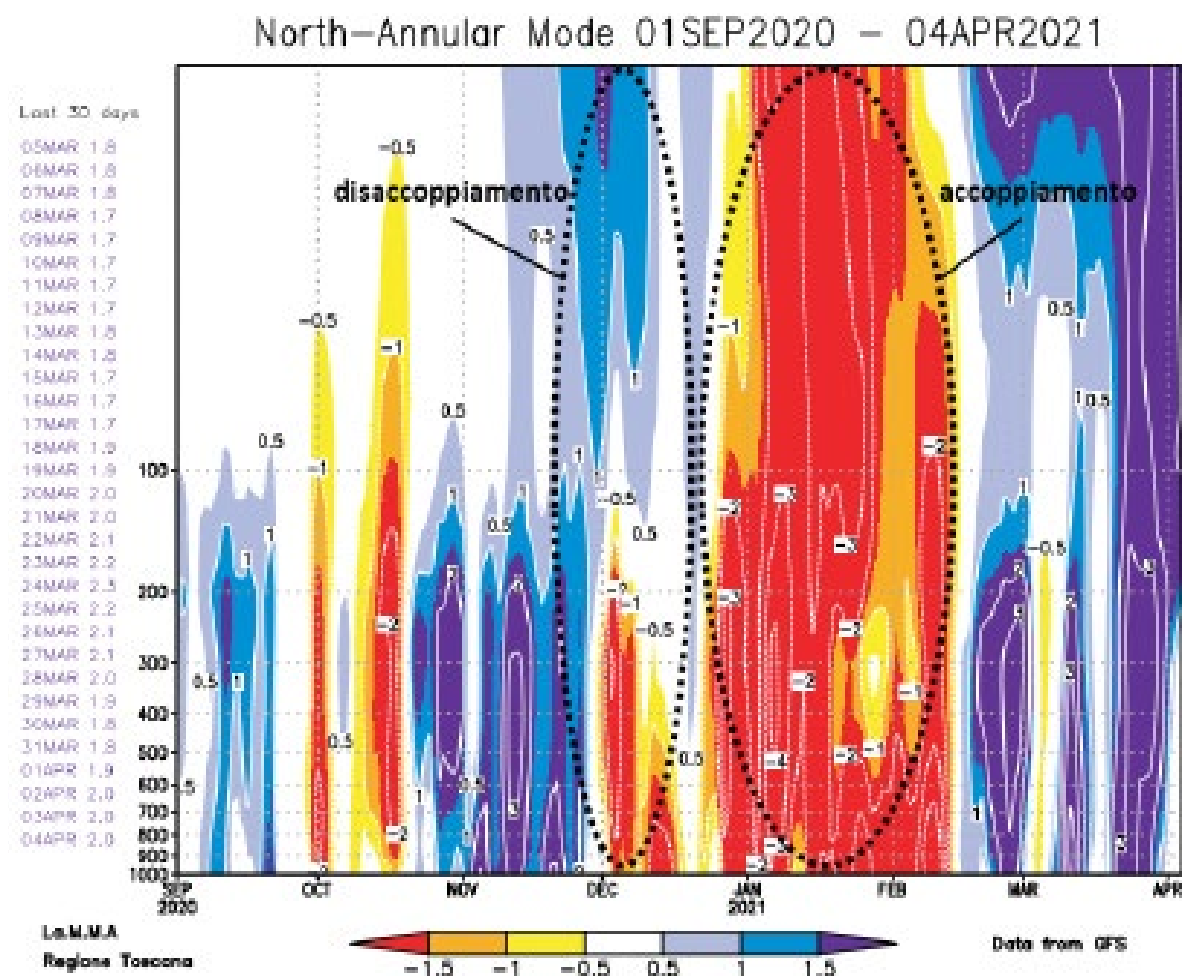


Fig.1 Indice NAM (North Annular Mode) tra il 1° settembre 2020 e il 16 marzo 2021. L'indice è calcolato come la prima componente principale dell'altezza geopotenziale tra 1000 hPa e 10 hPa per tutto l'emisfero nord. L'indice NAM alla quota isobarica di 1000 hPa coincide con l'indice AO (Artic Oscillation).

Se alcune questioni sono poco chiare, pochi dubbi ci sono invece sulla causa primaria dell'evento di SSW di questo inverno. Gli effetti sulla circolazione a scala planetaria degli imponenti anticycloni termici che si sono rafforzati nel mese di dicembre, in particolare quello Russo-Siberiano, dove si sono raggiunti valori record di pressione al suolo (1094 hPa), hanno innescato importanti flussi di calore verso la stratosfera, andando a disturbarla in maniera importante. Il 5 gennaio 2021 è stata la data in cui si è conclamato lo Strat Warming con la totale inversione dei venti da ciclonici ad anticiclonici a livello anulare a 60°N di latitudine alla quota isobarica di 10 hPa (criterio noto come CP07, dal riferimento bibliografico Charlton and Polvani 2007). Tra il 4 e il 5 gennaio anche l'indice NAM ha oltrepassato la soglia di NAM di -3 con un valore pari a -3.4; tale

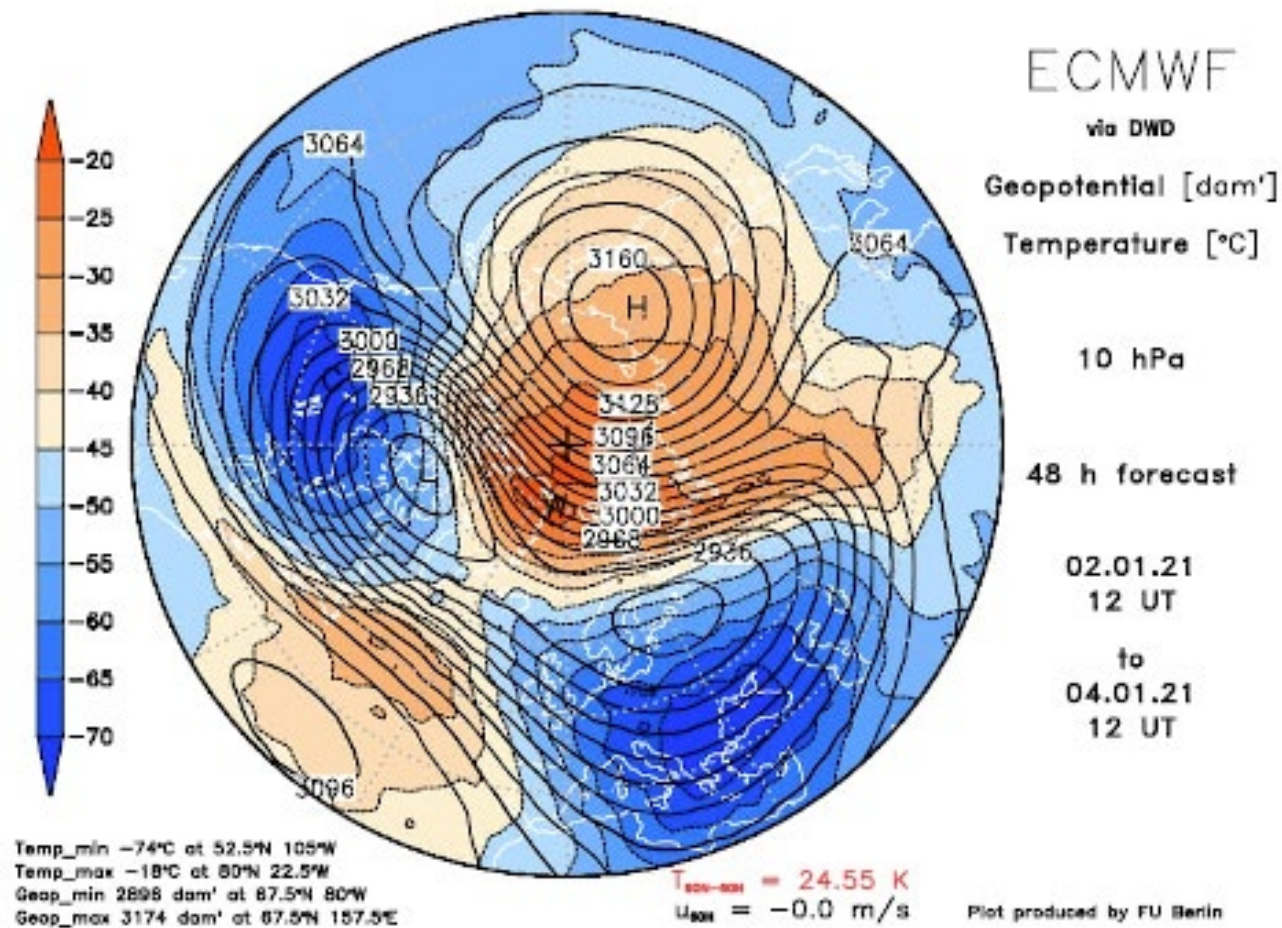


Fig.2 Previsione a 48 ore dell'altezza geopotenziale e della temperatura a 10 hPa prodotta dal modello globale ECMWF nel giorno 2 gennaio 2021 alle 12 UTC per il 4 gennaio alle 12 UTC.

soglia costituisce uno dei criteri fondamentali alla base della storica definizione di SSW introdotta da Baldwin e Dunkerton nel 1999. Dalla figura 2 si può apprezzare come in sede polare alla quota isobarica di 10 hPa, sia stato stimato un riscaldamento di circa 40-50°C e come il Vortice Polare venga sostituito da una circolazione di tipo anticiclonico, subendo un importante decentramento rispetto al Polo Nord.

Quasi immediata è stata la risposta in troposfera dove la circolazione è stata caratterizzata dalla **formazione di importanti blocchi anticiclonici** con la prevalenza di **scambi meridiani** e frequenti irruzioni di aria fredda anche a latitudini medio-basse fino a circa la metà di febbraio.

Si noti come il NAM di figura 1 risulti decisamente negativo (colori giallo/rossi) per tutto il periodo che va dai primi di gennaio fino a metà febbraio, con troposfera e stratosfera ben accoppiate.

Analisi del mese di Gennaio

Un'importante irruzione d'aria fredda nella prima parte di gennaio ha investito più direttamente la Scandinavia, le Isole Britanniche e la Penisola Iberica. Una **nevicata senza precedenti** negli ultimi 50 anni ha interessato **Madrid** dove le temperature sono scese attorno a -10 °C nei giorni immediatamente successivi al SSW. Nella seconda decade del mese un'altra importante irruzione di aria fredda è affluita dalla Scandinavia verso l'Europa orientale fino ad interessare la Grecia, lambendo solo temporaneamente l'Italia. Complessivamente il **gennaio 2021 è stato più freddo del nuovo riferimento climatologico 1991-2020 su buona parte dell'Europa occidentale e settentrionale** (figura 3), in particolare sulla Norvegia meridionale, sulla Svezia centrale e sull'estremo nord-ovest della Russia. In Norvegia è stato il gennaio più freddo dal 2010, con una temperatura di circa 3 °C inferiore alla media, mentre le temperature

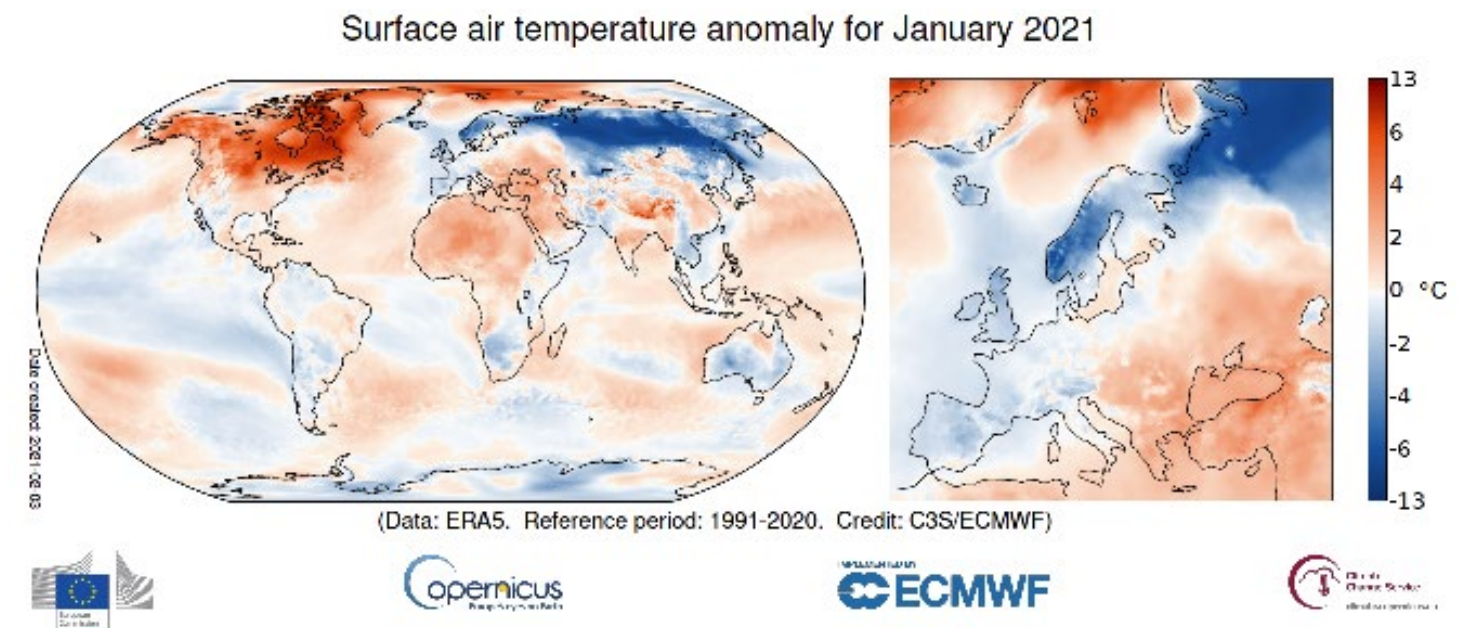
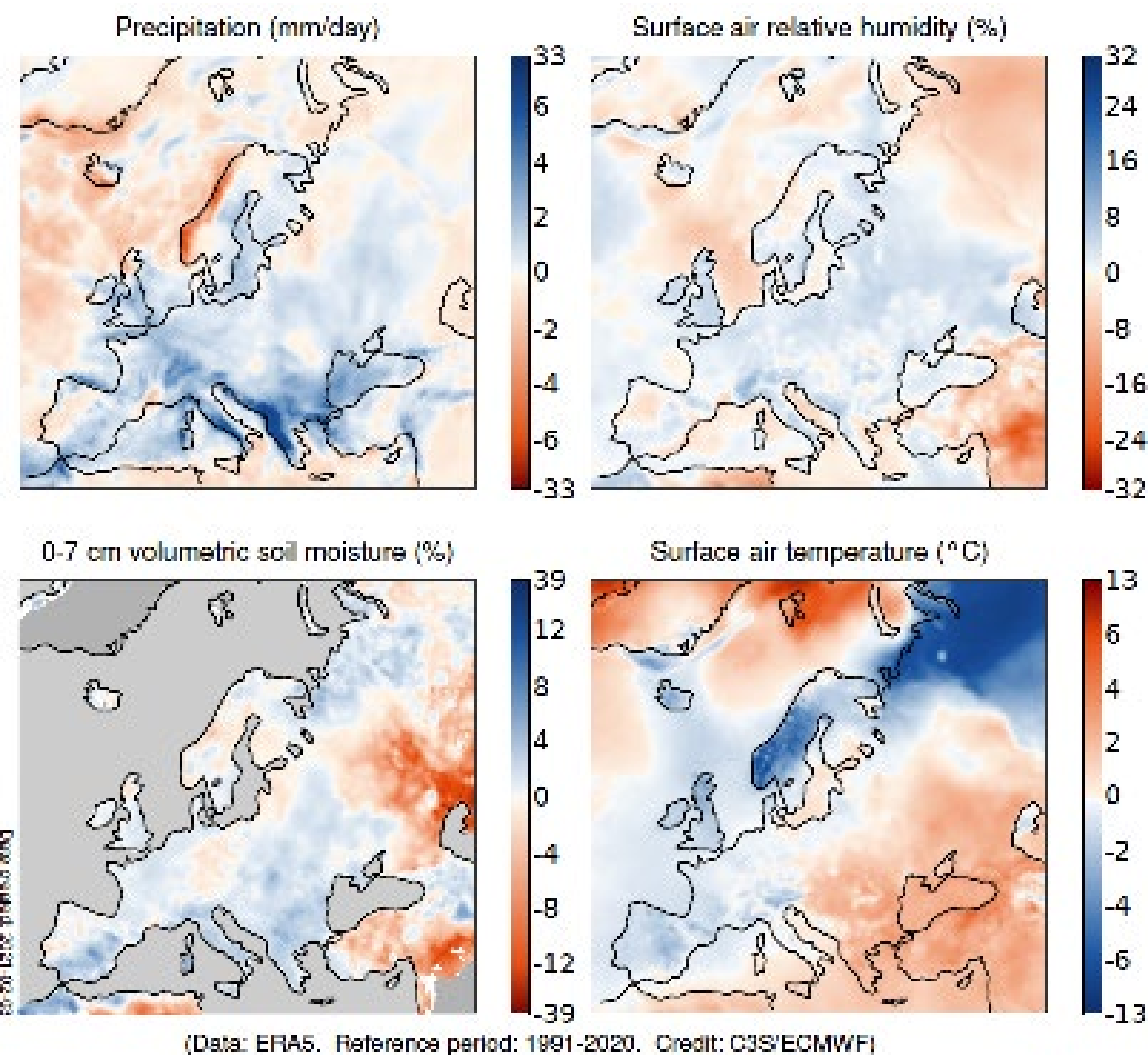


Fig.3 Anomalia di temperatura superficiale a livello globale ed europeo per il mese di gennaio 2021. Climatologia di riferimento aggiornata al trentennio 1991-2020.

Anomalies for January 2021



sono risultate superiori alla norma nel sud-est del continente. In Italia le temperature sono state meno rigide (attorno alla media o leggermente inferiori al centro-nord, leggermente superiori al sud), ma molto frequenti sono state le perturbazioni, come del resto su buona parte dell'Europa centro-meridionale (figura 4). Nella prima metà del mese le precipitazioni sono state molto spesso accompagnate da aria polare marittima, tant'è vero che sull'Appennino Tosco-Emiliano si sono registrati accumuli di neve record, mentre nella seconda metà la matrice delle perturbazioni è risultata prevalentemente atlantica con masse d'aria notoriamente più miti. Altrove, le anomalie termiche più marcate si sono verificate alle latitudini più settentrionali: l'alta pressione termica ha continuato ad imperversare su tutta l'area siberiana dove le temperature sono risultate decisamente più basse della norma, contrariamente vaste parti dell'Alaska, del Canada e della Groenlandia hanno fatto registrare anomalie marcatamente positive.

Fig.4 - Anomalie di precipitazione, umidità relativa, umidità del suolo e di temperatura in Europa per il mese di gennaio 2021. Climatologia di riferimento aggiornata al trentennio 1991-2020.



Analisi del mese di Febbraio

Febbraio 2021 è stato invece, almeno in Europa, un **mese dai due volti**: se nella prima parte ha prevalso una circolazione di tipo meridiano, indice AO negativo, la circolazione zonale ha prevalso nella seconda parte del mese, con **l'alta pressione che ha dominato la scena sul centro-sud Europa**, indice AO positivo (figura 5).

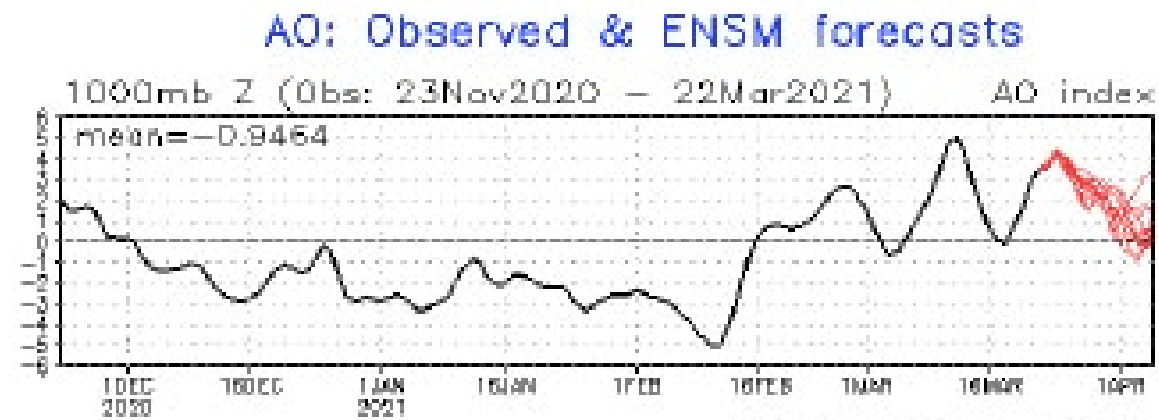


Fig.5 Indice AO - Artic Oscillation: differenza di pressione superficiale tra la regione artica e le medie latitudini tra 37° e 45°N ed esprime la forza del Vortice Polare in troposfera (fonte NCEP-NOAA).

Il **febbraio 2021 è stato sostanzialmente più caldo della media 1991-2020 nell'Europa meridionale**, ma decisamente più freddo nel nord, soprattutto nella Russia nord-occidentale. Tuttavia, le temperature in alcune parti dell'Europa sono variate in modo sostanziale durante il mese, proprio a causa del cambio di circolazione. **Molti record per la temperatura massima giornaliera sono stati battuti** in numerose stazioni di osservazione in Francia. La Germania ha fatto registrare un'oscillazione record nel passaggio da clima freddo a caldo e, sebbene alcune parti della Norvegia abbiano registrato le temperature medie di febbraio più basse dal 2010, sono caduti alcuni record positivi per le temperature massime proprio alla fine del mese. Tra il 10 e il 16 febbraio un'importante irruzione di aria fredda ha interessato la Scandinavia, l'Europa orientale e si è spinta fino in **Grecia**, dove si sono verificate vere e proprie bufere di neve, con **Mosca alle prese con la più intensa nevicata degli ultimi decenni** (oltre 50 cm di neve in città).

Negli stessi giorni l'80% del **territorio statunitense viveva una delle ondate di freddo più intense degli ultimi anni**, con nevicata fino al

Texas meridionale e temperature abbondantemente inferiori allo zero anche a latitudini sub-tropicali. Per più settimane un freddo molto intenso ha interessato la Scandinavia, la Danimarca, il Regno Unito, l'Olanda e la Germania settentrionale, tutte a varie riprese interessate da abbondanti nevicate. Ad **Amsterdam**, dopo dieci anni, il **ghiaccio è tornato a formarsi nei canali della città** permettendo ai cittadini di pattinare. Il freddo ha continuato ad imperversare in Siberia dove le anomalie marcatamente negative si sono mantenute per circa due mesi. Al contrario, **le condizioni erano miti nel nord-est del Canada, in Groenlandia e nell'Oceano Artico** e nei mari costieri ad est dalla Groenlandia. Anche in Italia le temperature mensili sono risultate superiori alla norma con il freddo che ha fatto la sua comparsa solo pochi giorni tra il 12 e il 16 febbraio con episodi di neve a bassa quota che hanno interessato parte della Toscana, i versanti adriatici e alcune zone del meridione. Le precipitazioni invece non hanno fatto registrare anomalie particolari.

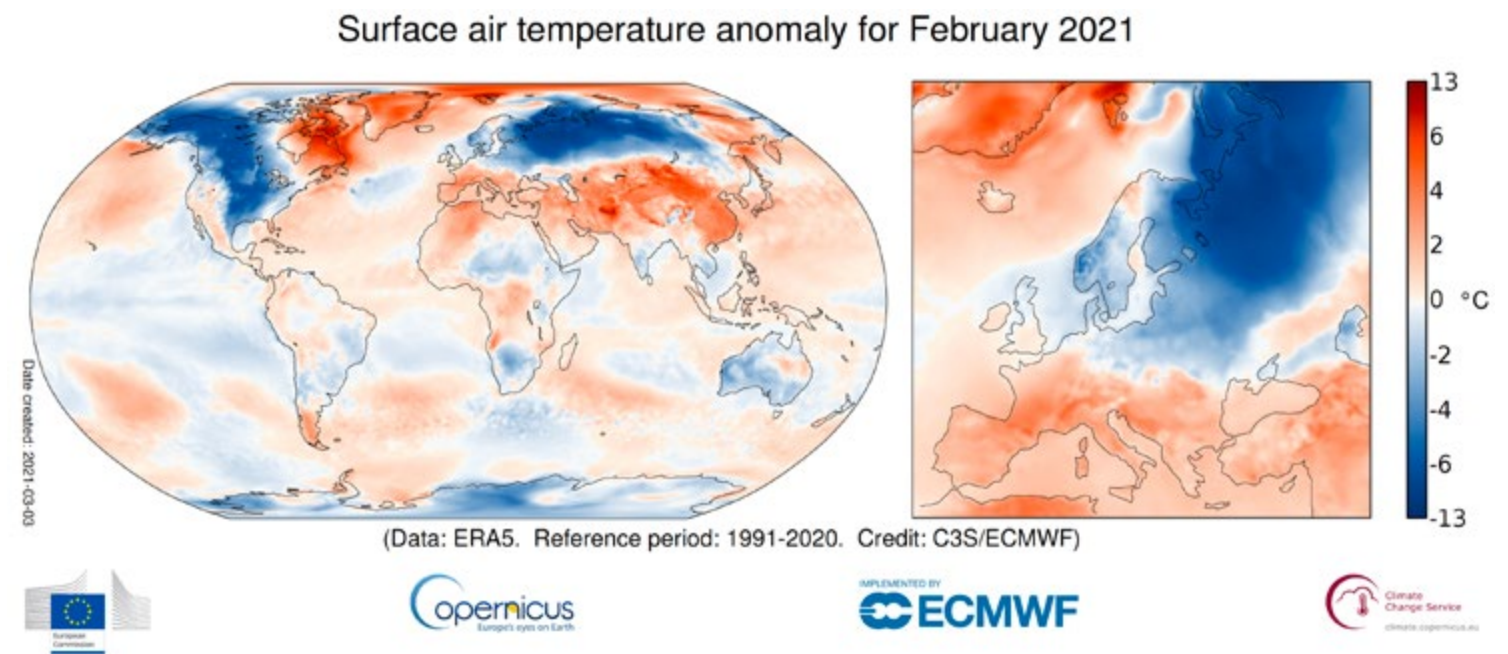


Fig.6 Anomalia di temperatura superficiale a livello globale ed europeo per il mese di febbraio 2021. Climatologia di riferimento aggiornata al trentennio 1991-2020.

Anomalies for February 2021

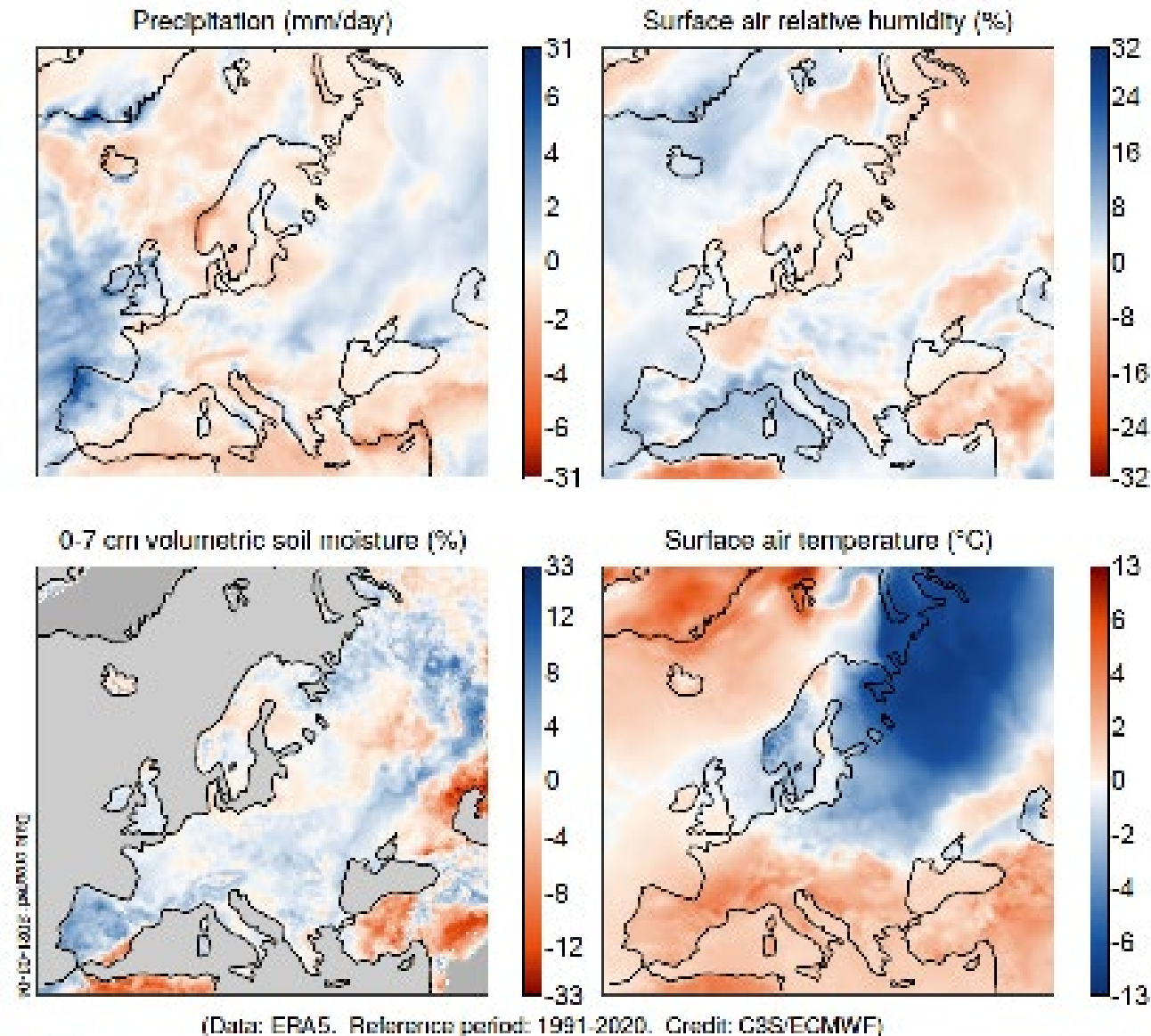


Fig.7 Anomalie di precipitazione, umidità relativa, umidità del suolo e di temperatura in Europa per il mese di febbraio 2021. Climatologia di riferimento aggiornata al trentennio 1991-2020.

Ripercussioni a macro scala e limiti di predicibilità

Risulta piuttosto evidente, almeno qualitativamente, che il fenomeno di **SSW** di questo inverno, importante sia per intensità che per durata, **ha avuto delle ripercussioni a livello emisferico del tutto conformi all'andamento medio di simili episodi del passato**, in particolare nei 40-45 giorni immediatamente successivi alla data del 5 gennaio 2021. Il confronto delle mappe composite relative alla climatologia dell'anomalia di pressione superficiale, temperatura e precipitazione elaborate da Butler et al (2017) e riportate in figura 8 rispecchiano a pieno le corrispondenti mappe di figura 9 elaborate dal dataset di Reanalysis2 NCEP-NOAA tra il 5 gennaio e il 16 febbraio 2021. È importante notare che la significatività delle anomalie medie nei 60 giorni successivi agli eventi di SSWs passati riguarda porzioni limitate dell'emisfero nord (figura 7). Buona parte dell'Europa centro-meridionale risulta infatti statisticamente non significativa con

Per quanto il SSW costituisca senza dubbio una teleconnessione abbastanza “forte” anche per le zone temperate, i limiti previsionali su queste aree rimangono tuttora piuttosto evidenti.

anomalie termiche che mediamente sono leggermente inferiori alla norma e leggermente superiori dal punto di vista delle precipitazioni.

La **variabilità climatica**, anche a valle di un SSW, è tale da aver **determinato sulla nostra penisola sia inverni relativamente miti e piovosi** come quello 2020-2021, **che inverni con importanti ondate di freddo** come quella di gennaio 2019, di febbraio 2018 o del gennaio 1985. A contribuire alla variabilità climatica post SSW si aggiungono inevitabilmente **altri fattori climatici** e l'effetto di altre importanti teleconnessioni, come l'ENSO (El Niño Southern Oscillation) per esempio. Lo stesso autore delle immagini di figura 8 ha elaborato anche delle mappe composite di tutti gli eventi di SSWs occorsi negli inverni caratterizzati da El Niño o La Niña (figura 10). Pertanto, **anche l'evento di NINA** che ha caratterizzato l'inverno 2020-2021 **può senz'altro aver giocato un ruolo** tutt'altro che superfluo.

La linearità, come in molti settori della scienza, non rientra certamente nelle caratteristiche del clima. Anche in presenza di una teleconnessione robusta come quella del SSW, occorre aumentare necessariamente

le conoscenze per aumentare la predicibilità ad una scala spaziale più ridotta ed in particolare per le zone temperate che sottostanno il 50° parallelo come l'Italia. Diventa cruciale approfondire gli studi sui meccanismi di accoppiamento/disaccoppiamento tra troposfera e stratosfera durante il periodo invernale, su come si distribuiscono i blocchi anticiclonici in troposfera in conseguenza di SSW o particolari cambi di circolazione in stratosfera, e come queste dinamiche possono essere influenzate da altre teleconnessioni, o fattori astronomici come l'attività solare. Alcuni studi mostrano infatti come i cicli solari possono influenzare l'andamento dell'indice NAO (North Atlantic Oscillation) e AO (Artico Oscillation) attraverso fluttuazione del Vortice Polare Stratosferico (De La Torre et al 2007) e come i blocchi anticiclonici potrebbero risultare più persistenti durante le fasi di bassa attività solare (Lockwood et al 2010).

Nell'ambito del Consorzio LaMMA e dell'Istituto per la Bioeconomia del CNR (IBE-CNR) è attivo un filone di ricerca a tal proposito.

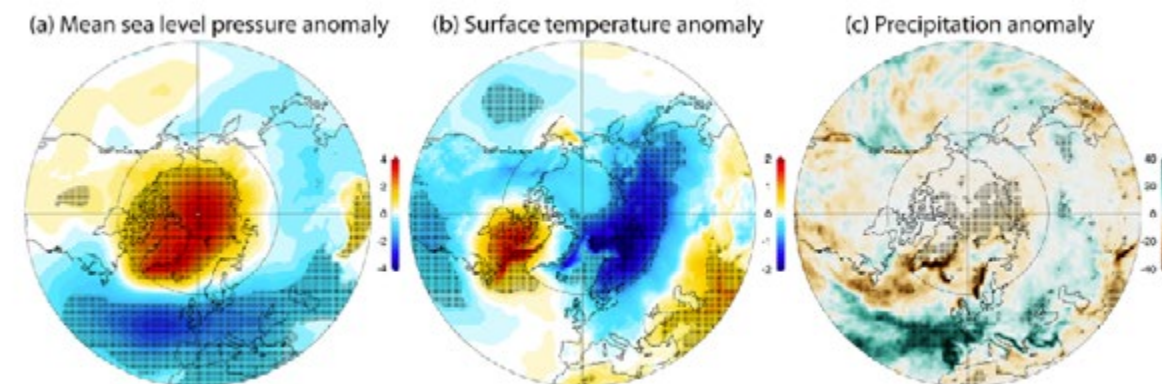


Fig.8 Mappe composite di anomalia dei 60 giorni successivi a tutti gli eventi passati di SSWs elaborate dal dataset di reanalisi JRA-55. (a) pressione media a livello del mare (hPa), (b) temperatura superficiale (K), e (c) precipitazione (mm). La punteggiatura nelle immagini indicano le zone dove le anomalie risultano significativamente differenti al 95% dalla climatologia di riferimento. Butler et al 2017.

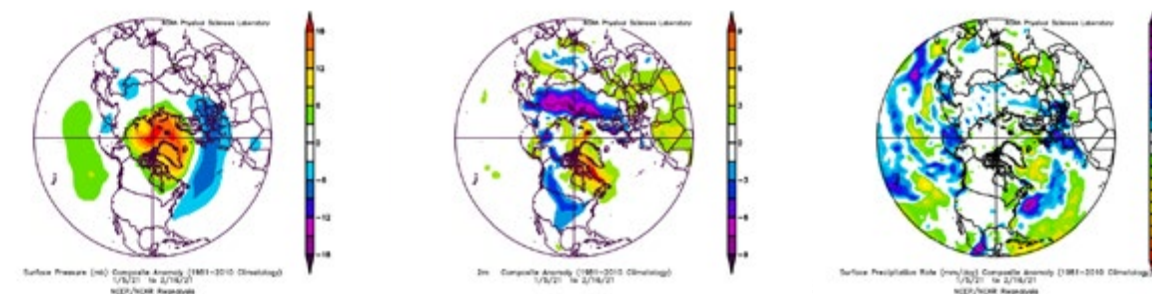


Fig.9 Mappe composite di anomalia tra il 5 gennaio 2011 (data in cui si è conclamato il SSW) e il 16 febbraio 2011, ovvero il periodo in cui le ripercussioni del SSW sono risultate maggiormente evidenti. Dati elaborati dal dataset di reanalisi NCEP-NOAA REA2. (a) pressione media a livello del mare (hPa), (b) temperatura superficiale (K), e (c) tasso di precipitazione (mm). Climatologia di riferimento 1981-2010.

Breve focus sul Sudden Stratospheric Warming

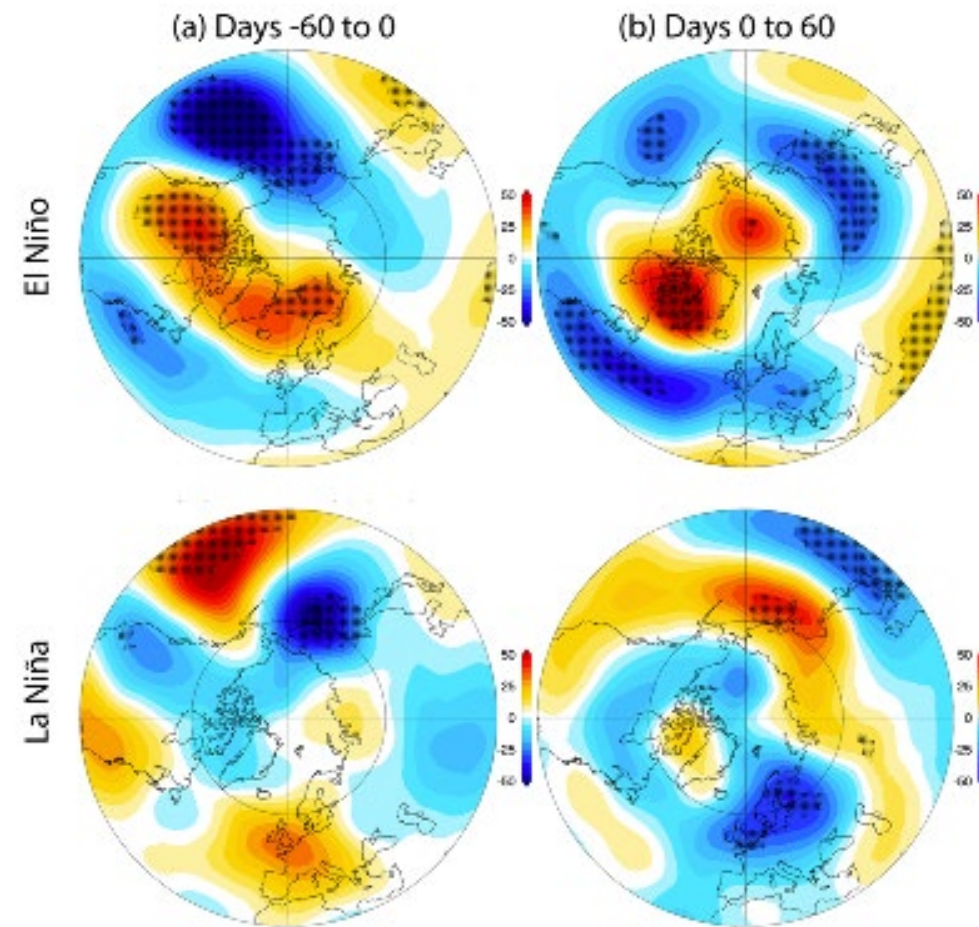


Fig.10 Mappe composite del geopotenziale a 500 hPa (m) elaborate dal dataset JRA-55 per (a) i 60 giorni che hanno preceduto gli eventi storici di SSWs e (b) i 60 giorni successivi, in caso di El Niño (riga superiore) o La Niña (riga inferiore). 13 eventi di SSWs sono relativi al El Niño e 9 per La Niña. Butler et al 2017.

Normalmente in inverno la circolazione atmosferica in Stratosfera è caratterizzata dalla presenza di una bassa pressione quasi permanente centrata sul Polo Nord, denominato Vortice Polare Stratosferico (VPS), dove tende a concentrarsi l'aria più fredda con valori che oscillano tipicamente tra -55 e -65°C. Il vortice polare invernale si forma principalmente a causa del raffreddamento radiativo conseguente la marcata diminuzione dell'assorbimento della radiazione ultravioletta da parte dell'ozono stratosferico alle latitudini più elevate ed indotto dalla ridotta insolazione stagionale. Talvolta il **vortice polare stratosferico può ulteriormente raffreddarsi e rinforzarsi**, dando vita al fenomeno denominato **STRATCOOLING**, altre volte si verifica il fenomeno opposto noto come **SUDDEN STRATOSPHERIC WARMING (SSW)**, ovvero il repentino ed accentuato riscaldamento della

Stratosfera (anche di 40 - 60°C) che va a disturbare in modo significativo il vortice decentrandolo dal Polo Nord (*displacement*) o addirittura spaccandolo in due centri di bassa pressione o lobi secondari (*split*). I SSW, la cui genesi è legata essenzialmente alla propagazione verso l'alto di onde troposferiche a scala planetaria e dai flussi di calore che ne scaturiscono (flussi di Eliassen-Palm, Eliassen & Palm 1961), **costituiscono senz'altro il fenomeno più estremo che può verificarsi in Stratosfera**, anche se di per sé non sono così rari, poiché mediamente se ne verifica circa uno ogni anno e mezzo nell'emisfero boreale. **Risultano invece decisamente rari nell'emisfero australe**, dove ne è stato osservato solamente uno nel settembre del 2002 (Krüger et al 2005). Le diverse caratteristiche climatologiche tra i due emisferi causate dalla topografia e dall'interazione terra-mare sono la causa principale di tale asimmetria anche in ambito stratosferico (Waugh e Polvani 2010).

ORIGINE: Il primo SSW fu scoperto dal tedesco Richard Scherhag nel gennaio del 1952 (Scherhag 1952) grazie all'invio di un pallone

sonda, mentre oggi sono i satelliti che li osservano costantemente. Dopo diversi decenni di ricerca sui SSW, sono stati compiuti notevoli progressi sulla conoscenza di tale fenomeno, ma molti aspetti legati agli impatti sul clima superficiale rimangono tuttavia incompresi.

COSA SAPPIAMO: Ciò che è noto è che **entrambi i fenomeni possono influenzare la circolazione in troposfera** per un periodo che va da pochi giorni fino a circa 60 giorni. **In caso di Stratcooling** si ha un rinforzo del Vortice Polare anche in Troposfera, con **circolazione prettamente zonale** (da Ovest verso Est) e flusso perturbato Atlantico diretto sull'Europa settentrionale e il Canada, mentre una prevalenza di alta pressione su Stati Uniti orientali ed Europa centro-meridionale, dove gli ingressi di aria fredda e le precipitazioni risultano molto limitate (tipo di circolazione con AO -Arctic Oscillation- positiva). **In caso di Sudden Stratospheric Warming** si ha, invece, **una maggiore propensione a scambi di tipo meridiano** (da Nord verso Sud) a causa della formazione di importanti blocchi anticiclonici sulle Aleutine,

sul Nord Atlantico e sulla Scandinavia, da cui conseguono frequenti irruzioni di aria molto fredda sugli Stati Uniti orientali, il centro-nord Europa e l'Asia, mentre gran parte della Groenlandia e del Canada sono caratterizzate da anomalie termiche decisamente positive; le precipitazioni tendono inoltre a risultare superiori alla norma sull'Europa centro-occidentale e inferiori in Scandinavia (tipo di circolazione con AO negativa) (Baldwin et al 2020, Charlton and Polvani 2007, Baldwin and Dunkerton 1999).

Tra la **fine dell'inverno e la prima parte della primavera il VPS si indebolisce irreversibilmente** a causa dell'aumento della radiazione solare, lasciando spazio ad una debole circolazione anticiclonica tipica del regime estivo. Questa fase di transizione è caratterizzata dal così detto fenomeno di **Final Warming** che, per quanto determini in troposfera una temporanea meridianizzazione dei flussi, ha ripercussioni decisamente meno evidenti, sia per intensità che durata,

di quelle dei SSWs propriamente invernali. I Final Warmings, tuttavia, hanno un'elevata variabilità interannuale, sia come temporizzazione che come impatti sulla circolazione in troposfera. Due recenti studi hanno infatti evidenziato che i Final Warmings preceduti da inverni con SSWs determinano una circolazione NAO negativa più pronunciata (Thiéblemont et al. 2019, Hardiman et al. 2011).

Bibliografia

Baldwin, M. P., Ayarzagüena, B., Birner, T., Butchart, N., Butler, A. H., Charlton-Perez, A. J., et al. (2021). Sudden stratospheric warmings. *Reviews of Geophysics*, 59, e2020RG000708. <https://doi.org/10.1029/2020RG000708>

Baldwin, M. P., & Dunkerton, T. J. (1999). Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere. *Journal of Geophysical Research*, 104(D24), 30,937–30,946

Butler, A. H., Sjöberg, J. P., Seidel, D. J., & Rosenlof, K. H. (2017). A sudden stratospheric warming compendium. *Earth System Science Data*, 9(1), 63–76.

Charlton, A. J., & Polvani, L. M. (2007). A new look at stratospheric sudden warmings. Part I: Climatology and modeling benchmarks. *Journal of Climate*, 20(3), 449–469. <https://doi.org/10.1175/JCLI3996.1>

De La Torre, L., Gimeno, L., Añel, J.A. et al. The role of the solar cycle in the relationship between the North Atlantic Oscillation and Northern Hemisphere surface temperatures. *Adv. Atmos. Sci.* 24, 191–198 (2007). <https://doi.org/10.1007/s00376-007-0191-x>

Eliassen, A., & Palm, E. (1961). On the transfer of energy in stationary mountain waves. *Geofysiske Publikasjoner*, 22, 1–23.

Hardiman, S. C., Butchart, N., Charlton-Perez, A. J., Shaw, T. A., Akiyoshi, H., Baumgaertner, A., et al. (2011). Improved predictability of the troposphere using stratospheric final warmings. *Journal of Geophysical Research*, 116, D18113. <https://doi.org/10.1029/2011JD015914>

Kim, B.M., Son, S.W., Min, S.K. et al. Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss. *Nature Communication* 5, 4646 (2014). <https://doi.org/10.1038/ncomms5646>

Krüger, K., Naujokat, B., & Labitzke, K. (2005). The unusual midwinter warming in the Southern Hemisphere stratosphere 2002. *Journal of Atmospheric Sciences*, 62(3), 603–613.

Li, B., Li, Y., Chen, Y. et al. Recent fall Eurasian cooling linked to North Pacific sea surface temperatures and a strengthening Siberian high. *Nat Commun* 11, 5202 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19014-2>

Lockwood et al 2010. *Environmental Research Letter*. 5 024001

Scherhag, R. (1952a). Die explosionsartigen Stratosphärenwärmungen des Spätwinters 1951/52. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone*, 6(38), 51–63.

Thiéblemont, R., Ayarzagüena, B., Matthes, K., Bekki, S., Abalichin, J., & Langematz, U. (2019). Drivers and surface signal of interannual variability of boreal stratospheric final warmings. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124, 5400–5417. <https://doi.org/10.1029/2018JD029852>

Vihma, T. Effects of Arctic Sea Ice Decline on Weather and Climate: A Review. *Surv Geophys* 35, 1175–1214 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10712-014-9284-0>

Zappa, G., Ceppi, P. & Shepherd, T.G. Eurasian cooling in response to Arctic sea-ice loss is not proved by maximum covariance analysis. *Nature Climate Change* 11, 106–108 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00982-8>

GLOSSARIO minimo

AO - Arctic Oscillation

Identifica l'anomalia media di geopotenziale a 1000 hPa tra l'area polare e le medio-basse latitudini (fino ai 20°N). Attualmente osservazioni avvengono via satellite, mentre nel passato l'anomalia veniva calcolata tramite somma algebrica tra diversi valori di pressione al suolo. Il corrispondente sud emisferico della AO è la AAO che però viene calcolata in base alle anomalie di geopotenziale a 700 hPa.

ENSO - El Nino Southern Oscillation

Nota anche come El Niño, è la teleconnessione climatica di tipo periodico più importante del pianeta e si manifesta in maniera marcata ogni 4-5 anni circa. Consiste in una forte variazione delle temperature superficiali del Pacifico Equatoriale a seguito dell'anomalo indebolimento/rafforzamento degli Alisei. Questi ultimi, infatti, modificano l'equilibrio termico superficiale tra il Pacifico Equatoriale occidentale ed orientale, causando anche importanti mutamenti nel termoclino (corrente oceanica di Humboldt in primis). La concentrazione delle acque calde in un determinato punto cambia la fase della convezione equatoriale pacifica, concentrando piogge e sistemi temporaleschi o vicino alle coste del centro America (NINO o fase

ENSO positiva) o tra Indonesia e Australia orientale (NINA o fase ENSO negativa). Fasi ENSO marcate si alternano ogni 4-5 anni e possono, oltre alle conseguenze classiche, avere importanti impatti sulle fasi MJO, sui blocchi troposferici e sulla circolazione dei venti e delle temperature in stratosfera

NAO - North Atlantic Oscillation

Pattern che descrive la differenza di pressione al suolo tra l'Islanda e le isole Azzorre. Quando l'indice è positivo significa che il vortice d'Islanda è profondo e l'alta pressione delle Azzorre forte e disposta in senso parallelo, quando invece è negativo il vortice d'Islanda è debole e l'anticiclone delle Azzorre disposto in senso meridiano.

VP - Vortice Polare Stratosferico

area di bassa pressione presente nel semestre freddo al di sopra dei Poli. Durante il semestre caldo l'aumento della radiazione ultravioletta causa processi di foto-dissociazione delle molecole di ozono innescando un processo esotermico e portando alla scomparsa del vortice stratosferico. Durante l'inverno anomali riscaldamenti della Stratosfera polare possono provocare disturbi nella circolazione ciclonica causando un'inversione delle correnti zonali; talvolta tale processo può coinvolgere anche il vortice troposferico provocandone la rottura (split) o il decentramento (displacement).

Altre risorse

Previsioni stagionali LaMMA

Pagina web del servizio di Previsioni stagionali del LaMMA - Toscana
<http://www.lamma.toscana.it/meteo/previsioni-stagionali>

YouTube video

Stratwarming e conseguenze sull'inverno 2020-2021
Gianni Messeri, previsore LAMMA e ricercatore
CNR IBE, spiega le caratteristiche dell'evento di
stratwarming che si è verificato ai primi di gennaio
2021 soffermandosi sulle implicazioni sull'andamento
dell'inverno, alle nostre latitudini.
Per vedere il video scansiona il QRcode con la
fotocamera del tuo smartphone.



WWW

<http://www.lamma.toscana.it>
<http://www.ibe.cnr.it>

#persapernedi più

