

Salvare i poli per preservare l'equilibrio del pianeta

Nelle regioni polari si sta giocando una sfida fondamentale per il nostro futuro. Pur essendo fisicamente tra le più lontane dalle emissioni prodotte dall'uomo, sono le più sensibili e vulnerabili ai cambiamenti in corso. Comprimerne i complessi meccanismi scientifici di regolazione è di fondamentale importanza per fare le scelte necessarie a preservarle, ed è anche urgente formare una nuova generazione di ricercatori, pronti ad affrontare le difficoltà ed il fascino di questi luoghi, dedicandosi con entusiasmo allo studio di equilibri fondamentali per il pianeta.

DOI 10.12910/EAI2021-054 / ENEA PER LA SCUOLA SECONDARIA DI SECONDO GRADO

di Alcide Di Sarra - Laboratorio osservazioni e misure per l'ambiente e il clima

Ogni anno, nel mese di marzo, alla fine dell'inverno boreale, l'estensione del ghiaccio nella regione artica raggiunge il suo valore massimo e, da aprile, inizia a diminuire, raggiungendo il minimo stagionale a settembre. Tuttavia, dalle misurazioni effettuate a partire dagli anni '70, è emerso che negli ultimi 40 anni,¹ a settembre l'e-

stensione si è ridotta di circa la metà e che questa riduzione sta avvenendo ad una grandissima velocità; d'altra parte, la riduzione invernale, sebbene più contenuta, è anch'essa molto rapida e ampia. (vedi fig.1)

Questa progressiva e rapidissima riduzione del ghiaccio marino in Artide è uno dei segnali più forti dei cambiamenti in atto nel sistema Terra per

effetto dell'aumento della temperatura globale, un incremento significativo, di circa 1°C negli ultimi 40 anni² (vedi fig. 2). Come evidenziato da numerosi studi e dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2018), il gruppo di esperti di clima che elabora rapporti scientifici a supporto dell'ONU, questo incremento è legato principalmente all'introduzione in atmosfera di ingenti quantitativi di gas prodotti da varie attività umane e, in particolare, all'uso dei combustibili fossili come petrolio, carbone e gas naturale. Alcuni di questi gas, i cosiddetti "gas ad effetto serra" (principalmente anidride carbonica, metano, vapore acqueo, ozono, etc.), hanno la capacità di assorbire e rimettere radiazione infrarossa e di modificare il bilancio della radiazione e, quindi, dell'energia della Terra. Ma l'entità su scala planetaria di questo fenomeno, che tutti conosciamo come "riscaldamento globale", quasi scompare rispetto a quello che si sta verificando in Artide, dove l'incremento di temperatura è circa tre volte maggiore di quanto avviene globalmente (vedi fig. 2): di fatto, questa regione della Terra sta subendo l'aumento più forte

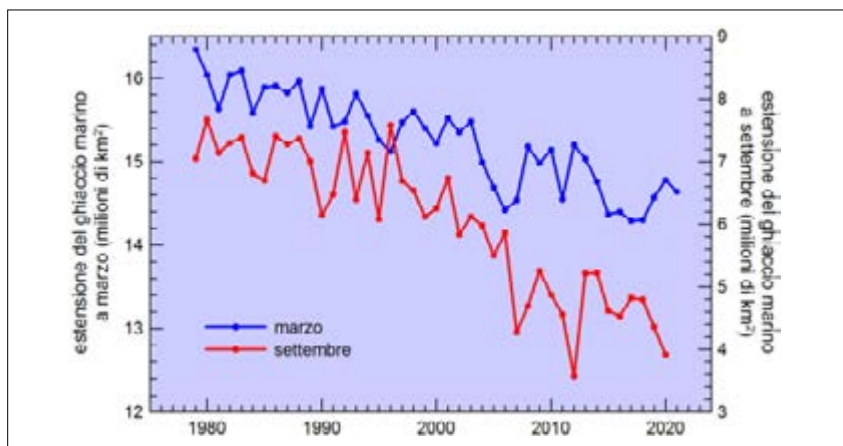


Fig.1 Evoluzione della estensione media mensile del ghiaccio marino in Artide per i mesi di marzo e settembre; i dati sono ricavati da misure di radianza a microonde dai satelliti di tipo Nimbus e del Defense Meteorological Satellite Program americano (Fetterer et al., 2017; dati forniti da: Sea Ice Index, National Snow and Ice Data Center).

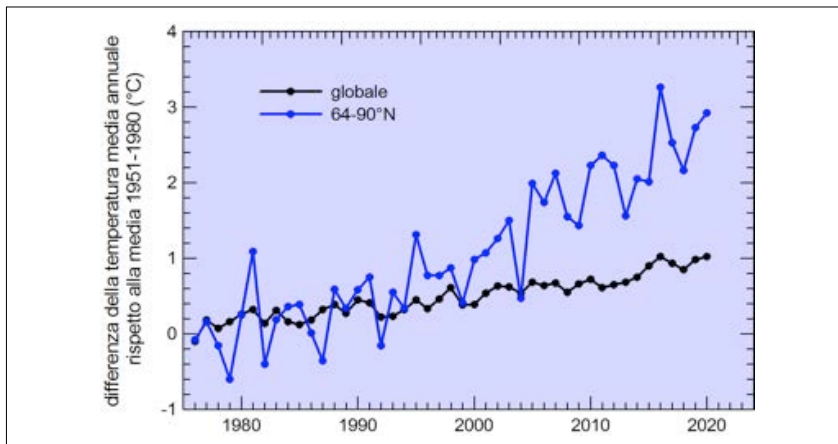


Fig.2 Evoluzione della temperatura media annuale globale della regione tra 64 e 90°N, espresse come anomalia (differenza dei valori annuali rispetto al valor medio sugli anni 1951-1980). I dati sono prodotti dal *Goddard Institute for Space Studies* della NASA (dati GISTEMP v4; GISTEMP, 2021; Lanssen et al., 2019).

e in modo più rapido.

L'incremento così forte della temperatura nella regione artica è dovuto ad una serie di complessi meccanismi di interazione tra oceano, ghiaccio, circolazione marina ed atmosferica, e a processi legati agli scambi di radiazione ed energia tra i vari comparti. L'insieme di questi processi va sotto il nome di "amplificazione artica": anche se alcuni meccanismi alla base di questo rapidissimo aumento di temperatura sono noti, molti dettagli non sono compresi a pieno, e non sono note fino in fondo le conseguenze che possono produrre.

Uno dei meccanismi fondamentali che rende l'Artico particolarmente sensibile è quello che coinvolge le variazioni della capacità della superficie di riflettere e diffondere la radiazione solare. Questa capacità va sotto il nome di "albedo": una superficie coperta di ghiaccio (ad *albedo alta*) riverbera verso l'alto tra il 60 e l'80% della radiazione solare che lo investe, assorbendone quindi tra il 20 ed il 40%. La superficie dell'oceano priva di ghiaccio, viceversa, ha un'albedo bassa ed assorbe oltre il 90% della radiazione solare incidente. La radiazione solare assorbita va in buona parte a modificare la temperatura della superficie; pertanto, quando la superficie dell'oceano è

priva di ghiaccio immagazzina una frazione importante dell'energia incidente sotto forma di radiazione, causando il riscaldamento del mare.

Le variazioni nella formazione e nell'estensione del ghiaccio marino

La riduzione dell'estensione del ghiaccio marino, innescata dall'aumento di temperatura dell'oceano, produce

un incremento dell'energia assorbita dall'oceano, che si traduce in un incremento aggiuntivo di temperatura che, a sua volta, favorisce una ulteriore riduzione del ghiaccio marino. Questo tipo di processo (Fig.3) noto come *meccanismo di retroazione positiva ghiaccio-albedo* tende ad amplificare gli effetti prodotti dalla modificazione primaria ed è uno dei più potenti in queste regioni, ma ve ne sono molti altri che agiscono simultaneamente, su diverse scale temporali, e coinvolgono differenti comparti.

Le variazioni nella formazione e la riduzione del ghiaccio marino influenzano direttamente ed indirettamente numerosi altri processi, come ad esempio il trasporto di calore e la circolazione dell'oceano; la disponibilità di vapor d'acqua e la sua concentrazione in atmosfera, con effetti sia sul bilancio della radiazione infrarossa che sulle proprietà delle nubi; l'attivazione di processi fotosintetici in mare, le emissioni di gas e particolato dal mare; la biodiversità marina, etc. A sua volta, l'estensione del ghiaccio marino e le sue variazioni sono influenzate anche dalla circolazione oceanica, dagli effetti prodotti dalle nubi, da fattori meteorologici o

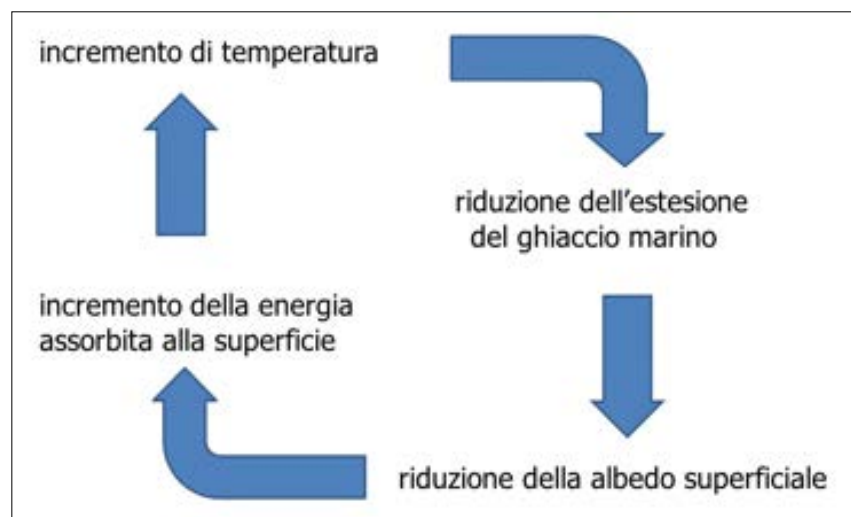


Fig.3 Schematizzazione del meccanismo di retroazione ghiaccio-albedo, importante nelle zone polari. La variazione di estensione del ghiaccio marino porta ad amplificare la perturbazione di temperatura iniziale.



Fig.4 Radiometri operativi presso il Thule High Arctic Atmospheric Observatory; questi strumenti servono a misurare i flussi di radiazione in varie bande spettrali e a studiare i processi che regolano il clima artico. La foto è stata presa alcuni giorni dopo il termine della notte artica, che a Thule avviene con il primo sorgere del sole attorno al 20 febbraio.

legati alla circolazione atmosferica su tempi medio-lunghi, dalla presenza del particolato in atmosfera, etc.

Poiché il ghiaccio marino è in equilibrio sulla superficie del mare, il suo scioglimento non modifica il livello del mare; il suo incremento invece è dovuto, in parte, all'espansione del volume dell'acqua di mare associata all'aumento di temperatura e, in parte, allo scioglimento del ghiaccio presente sulle zone continentali (principalmente le calotte groenlandese e antartica). Questa crescita del livello del mare, insieme a molti altri processi (ad esempio modifiche della circolazione atmosferica ed oceanica), produce effetti su scala globale ed alle nostre latitudini.

Pur essendo le zone polari tra le aree della Terra più remote e distanti dalle emissioni prodotte dall'uomo, si tratta di regioni particolarmente sensibili alle variazioni in corso, ed i cambiamenti

conseguenti producono effetti rilevanti sugli equilibri di tutto il pianeta. L'ampiezza delle variazioni, la fragilità dei sistemi polari, la loro alta sensibilità e i sensibili interessi economici e geopolitici che riguardano queste aree, fanno sì che sia cruciale per il futuro del pianeta studiare i cambiamenti in corso, comprenderne a fondo i meccanismi e riuscire a prevedere l'evoluzione del sistema e gli impatti su differenti scale spaziali e temporali.

Le iniziative nazionali e internazionali

Per affrontare queste problematiche sono state attivate importanti iniziative nazionali ed internazionali. A livello nazionale, da oltre 35 anni il Programma Nazionale di Ricerche in Antartide supporta attività e progetti di ricerca in quella regione.

Più recentemente, nel 2015, il Ministero

degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale ha adottato una **Strategia Italiana per l'Artico** sulla base del quale nel 2018 è stato avviato il Programma di Ricerche in Artico, che ha la finalità di sostenere il ruolo dell'Italia quale Stato osservatore del Consiglio Artico e supportare attività di ricerca nella regione.

Già in precedenza la comunità scientifica nazionale si era impegnata in ricerche in Artide. L'ENEA, ad esempio, è coinvolta sin dal 1990 in studi sui processi alla base dell'amplificazione Artica presso il *Thule High Arctic Atmospheric Observatory* (THAAO; <http://www.thuleatmos-it.it>), nel Nord-Ovest della Groenlandia, e ha svolto e svolge numerose altre iniziative in altre aree Artiche. Il THAAO, situato a 76.5°N, 68.8°O, ospita anche altre istituzioni italiane (Università di Roma Sapienza, INGV, Università di Firenze) ed americane per studiare l'evoluzione su lungo periodo del clima artico e dei suoi meccanismi (Fig.4).

Data la complessità dei problemi scientifici e la loro inter e multi-disciplinarietà, c'è la urgente necessità di una nuova generazione di ricercatori che, pronti ad affrontare le difficoltà ed il fascino degli ambienti polari, possano dedicarsi con entusiasmo a questi aspetti. Affrontare questi problemi scientifici è essenziale sia per salvaguardare alcuni degli ambienti più fragili del pianeta, che per comprendere alcuni dei meccanismi fondamentali del suo funzionamento. E' necessario ed urgente incrementare le nostre conoscenze in questo settore per poter essere in grado di fare scelte consapevoli per il futuro del nostro pianeta. Questa è una sfida fondamentale soprattutto per le nuove generazioni di ricercatori.

Per info: alcide.disarra@enea.it

BIBLIOGRAFIA

1. Becagli, S., L. Lazzara, C. Marchese, U. Dayan, S.E. Ascanius, M. Cacciani, L. Caiazzo, C. Di Biagio, T. Di Iorio, A. di Sarra, P. Eriksen, F. Fani, F. Giardi, D. Meloni, G. Muscari, G. Pace, M. Severi, R. Traversi, and R. Udisti, Relationships linking primary production, sea ice melting, and biogenic aerosol in the Arctic, *Atmospheric Environment*, 136, 1-15, 2006.
2. Di Biagio, C., A. di Sarra, P.Eriksen, S.E. Ascanius, G. Muscari, and B. Holben, Effect of surface albedo, water vapour, and atmospheric aerosols on the cloud-free shortwave radiative budget in the Arctic, *Climate Dynamics*, 39, 953–969, 2012.
3. Feldman, D.R., W.D. Collins, P.J.Gero, M.S. Torn, E.J. Mlawer, and T.R. Shippert, Observational determination of surface radiative forcing by CO₂ from 2000 to 2010, *Nature*, 519, 339-343, 2015.
4. Fetterer, F., K. Knowles, W.N. Meier, M. Savoie, and A.K. Windnagel, 2017, updated daily. Sea Ice Index, Version 3. NSIDC Sea Ice Data Index. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi: <https://doi.org/10.7265/N5K072F8>. [Dati scaricati il 17 aprile 2021].
5. GISTEMP Team, 2021: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4. NASA Goddard Institute for Space Studies. Accesso ai dati il 17.4.2021 da <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.
6. IPCC, Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2018.
7. Kramer, R.J., H. He, B.J. Soden, L. Oreopoulos, G. Myhre, P.M. Forster, and C.J. Smith, Observational evidence of increasing global radiative forcing, *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL091585. <https://doi.org/10.1029/2020GL091585>, 2021.
8. Lenssen, N., G. Schmidt, J. Hansen, M. Menne, A. Persin, R. Ruedy, and D. Zyss, Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 124, 6307-6326, doi:10.1029/2018JD029522, 2019.
9. Serreze, M.C., and J.A. Francis, The Arctic amplification debate, *Clim. Change*, 76, 241–264, 2006.