

During the past years, we have witnessed the various impressive, shocking and frightening effects of a rather mysterious, partially misunderstood phenomenon, rather impersonally labeled as “climate change”. The reality under this deceitful nickname triggers large-scale events of immense power and consequences - duly covered by our news media - which often strike densely populated lands. Sudden landslides affecting valley floors dotted by villages and farms, towns and coastlines devastated by typhoons of unprecedented fury, or even the sea level rising at a previously unknown pace, the alarming collapse of seemingly eternal seasonal change, which greatly affects our agricultural system. Largely ignored by Western media, an even worse problem is currently threatening one of the wildest parts of our planet, very far from human habitation: the Arctic, whose acute illness echoes in every sea and land mass on Earth. Peter Wadhams, Professor of Ocean Physics at the University of Cambridge and leader of over 40 polar expeditions from the ‘70s until today, outlines an alarming scenario based on images, data and graphics.



Peter Wadhams

Head of the Polar Ocean Physics Group at the University of Cambridge, Peter Wadhams is the most renowned British expert of sea ice, with 40 years of research experience on ice formations and on related ocean processes, both in Arctic and Antarctic. Serving as Professor of Ocean Physics, he wrote many publications concerning dynamics and thermodynamics

of sea ice formations, ice thickness, waves propagation in ice, iceberg, ocean convections and related issues. Peter Wadhams led 46 research expeditions in polar seas, based on field camps on the icepack or on board of icebreakers and aircraft. He sailed extensively on Arctic-proof submarines, equipped with multibeam sonar suites, used to map the polar caps topography. In this regard, he has been a pioneer in the AUV (Automatic Underwater Vehicles) use under the ocean ice sheet, having successfully employed Maridan, Autosub II, Gavia and WHOI models during his missions.

Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming.
New Challenges from the Top of the World | by Peter Wadhams

6/2015



The FONDAZIONE
ENI ENRICO MATTEI
Series on

«Climate Change
and Sustainable
Development»



by Peter Wadhams

Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World



ENGLISH/ITALIAN

The Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) Series on
«Climate Change and Sustainable Development»

Foreword

The research programme on “Climate Change and Sustainable Development” addresses the two inter-related issues of climate change and sustainable development and a corollary of key topics in the field of environmental economics. The programme builds upon over twenty years of successful FEEM research in the field. In the specific area of climate change, FEEM has achieved a leading position in the international research community, as a result of the in-house development and application of several methodologies for the economic analysis of climate and energy policies. FEEM models address world-wide vulnerability to changes in climatic conditions, and investigate the economics of mitigation and adaptation to these changes. In the specific area of sustainable development, FEEM research covers a variety of issues: sustainable management of natural resources, the economics of natural hazards and extreme events, and the use of indicators to measure sustainability and growth beyond GDP. FEEM can also rely on a strong research team of applied economists who investigate the economic performance of various environmental and climate policy instruments. The twofold goal of this research programme is to contribute to science while guiding policies and informing the public debate.

Premessa

Il Programma di Ricerca “Cambiamenti Climatici e Sviluppo Sostenibile” affronta i temi, strettamente correlati, del cambiamento climatico e dello sviluppo sostenibile e altri importanti argomenti relativi all’economia ambientale. In questo settore la Fondazione vanta un’esperienza più che ventennale di ricerca di frontiera. In particolare per quanto riguarda il cambiamento climatico, FEEM è da anni un ente di ricerca leader riconosciuto a livello internazionale, grazie all’applicazione di numerosi strumenti e metodologie sviluppati internamente per l’analisi economica delle politiche climatiche ed energetiche. I modelli messi a punto dalla FEEM affrontano la vulnerabilità ai cambiamenti climatici su scala mondiale e studiano l’economia della mitigazione e dell’adattamento a tali cambiamenti. La ricerca svolta nell’ambito dello sviluppo sostenibile si estende a vari temi: la gestione sostenibile delle risorse naturali, l’economia delle catastrofi e degli eventi estremi, nonché l’uso di indicatori per misurare la sostenibilità e la crescita oltre il PIL. FEEM può contare su un forte gruppo di ricerca di economisti che studiano e analizzano la performance economica dei vari strumenti di politica ambientale e climatica. Il duplice obiettivo è quello di contribuire al progresso scientifico, guidando lo sviluppo delle politiche e informando il dibattito pubblico.

The **Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM)** is a non-profit, nonpartisan research institution devoted to the study of sustainable development and global governance. FEEM's mission is to improve through research the rigour, credibility and quality of decision making in public and private spheres.

Fondazione Eni Enrico Mattei
Corso Magenta 63, Milano – Italy
Ph. +39 02.520.36934
Fax. +39 02.520.36946
E-mail: letter@feem.it
www.feem.it

The opinions expressed in this publication are those of the author(s) alone.

ISBN 9788890991868

© FEEM 2015. All rights reserved. Short sections of text, not to exceed two paragraphs, may be quoted in the original language without explicit permission provided that the source is acknowledged.

Publication registered at the Court of Milan, no. 194 of May 16, 2014.

Translation and text elaboration by Marco Soggetto.

Printed in Milan in November 2015 by Roberto Cremonesi.Co Srl

The Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM) Series on
«Climate Change and Sustainable Development»

Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World

by *Peter Wadhams*

ENGLISH

FEEM
PRESS
EE

Table of contents

Introduction	9
1. Global warming trend. Evidence from our recent past	11
Box 1. Arctic amplification	12
Box 2. The 21st century's challenge: new commercial routes in the far North	27
2. The threat from offshore Arctic methane	32
Box 3. Methane hydrates: a powerful energy source for the future, a dramatic threat from the past	32
Box 4. From wooden crafts to steel vessels. An Arctic exploration timeline	41

Introduction

During the past years, we have witnessed the various impressive, shocking and frightening effects of a rather mysterious, partially misunderstood phenomenon, rather impersonally labeled as “climate change”. The reality under this deceitful nickname triggers large-scale events of immense power and consequences – duly covered by our news media - which often strike densely populated lands. Sudden landslides affecting valley floors dotted by villages and farms, towns and coastlines devastated by typhoons of unprecedented fury, or even the sea level rising at a previously unknown pace, the alarming collapse of seemingly eternal seasonal change, which greatly affects our agricultural system.

Largely ignored by Western media, an even worse problem is currently threatening one of the wildest parts of our planet, very far from human habitation: the Arctic, whose acute illness echoes in every sea and land mass on Earth.

Our attention has been distracted by the many natural disasters occurring everywhere else in the world, while the Arctic is warming faster than the rest of the planet, and hence is a leading, behind-the-scenes cause of global climate change. It is also possible to see the dramatic historical precedents of this accelerated rate of warming. A thousand years ago, at around the 10th century, when Norse raiders from Iceland landed in Greenland and started settling its virgin southwestern shores, the huge island had a warmer climate, in absence of a massive industrial intervention. Then a colder period set in, known as

the “Little Ice Age”, which lasted roughly from the 16th century until the middle of the 19th, when the coal-fueled factories of the industrial revolution started pouring increasing quantities of greenhouse gas into the atmosphere. Modern climatic diagrams, describing that period, show an alarming trend: our planet has been warming very rapidly since the mid-19th century, with a particularly strong burst from 1960 onwards, due to the increased coal burning in more and more power plants around the world. The Arctic is warming at three times the rate of the rest of the world, due to a phenomenon known as “Arctic amplification”, which will be duly explained in these pages; moreover, between 1951 and 1980, the Arctic has greatly exceeded average global temperature change. According to an alarming image released by NASA’s Goddard Visualization Center, in regard to overland warming between 1981 and 2009, the greatest temperature increase has been localized in the western part of the Arctic ocean, formerly covered by a thick ice sheet and now by open waters.

This wealth of images, graphics and data outlines an alarming scenario, based on many components - all referring to the far Arctic, the main focus of Professor Wadhams’ detailed, comprehensive lecture.

1. *Global warming trend.*

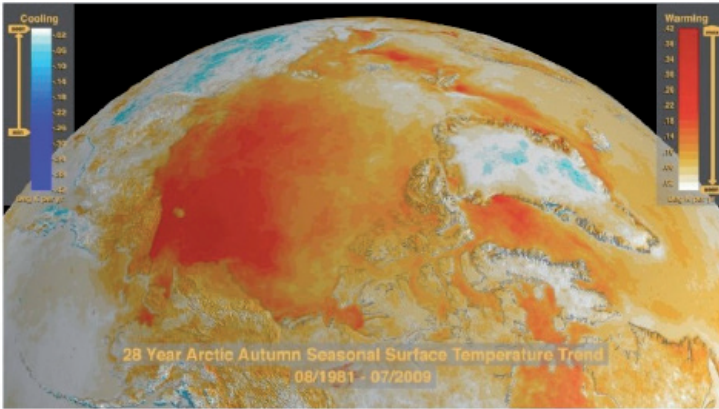
Evidence from our recent past

Between 1880 and 2010 the heating of our biosphere has been incessant and constantly on the increase. This temperature increase has remained the same since 2006, with a marked acceleration in the usually temperate Northern Hemisphere. In other words, since the year 2000 our planet has been heating at a very rapid pace, and most of this heat has been absorbed by its major surfaces, the oceans; but the accelerated pace of recent years has reached its peak in the Arctic, which is undergoing its warmest period in the past 40,000 years.¹ Moreover, this intense warming is particularly concentrated in the upper northern latitudes, while the Southern Hemisphere is much cooler, and is heating up at a far lesser rate.²

1 J. C. Stroeve, T. Markus, L. Boisvert, J. Miller, A. Barrett, *Changes in Arctic melt season and implications for sea ice loss*, Geophysical Research Letters, Volume 41, Issue 4, 28 February 2014.

2 Surprisingly, Antarctic ice is slowly expanding, probably due to the combined effect of the winds and of landmass absence.

Figure 1.
Polar amplification of climate warming.
Largest 1981-2009 warming over land, maximum rate
0.42C/year



Source: NASA Goddard Visualization Center

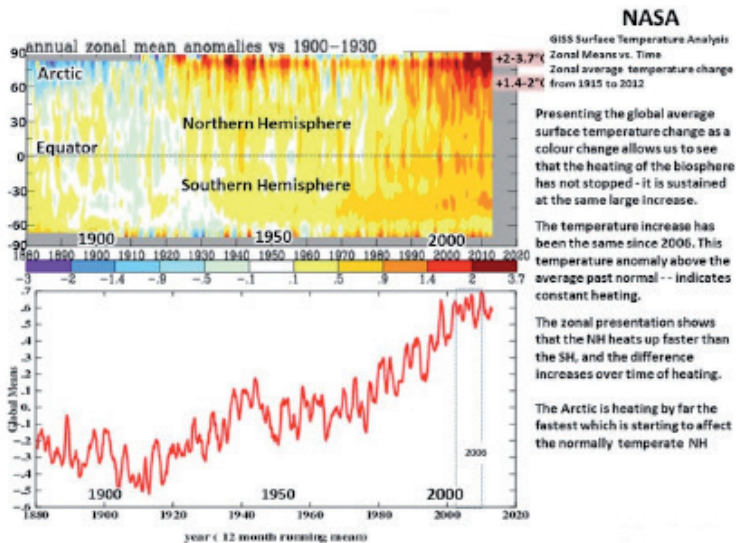
Box 1. Arctic amplification

The rather unusual scientific term of “Arctic amplification” refers to the alarming tendency of a doubling or tripling of the warming process registered in the Arctic, in comparison with average global warming. This is due to a mechanism by which the poles of our planet (of any planet whose atmosphere can repel radiation back into space) are more exposed than the inferior latitudes to climate change. This is nothing new, since a complex polar amplification process, extended to both our poles, already happened in the Earth’s history during the Pleistocene Age, which lasted until 11,700 years ago.

This macro-scale trend is mainly due to a simple, eternal process that occurs in space: energy and radiation, emitted by the immense surface of the sun touches every planet, satellite and fluctuating mass in our solar system. Consequently, a variable part of this energy is reflected into space or absorbed by each planet. On Earth the ice-albedo feedback intervenes, a phenomenon

by which the huge loss of ice leaves open waters that prevent the planet from reflecting solar radiation back into outer space, with a resulting increase in the heating process - this, due to the fact that large, white icy surfaces are the Earth's most important natural "mirrors".

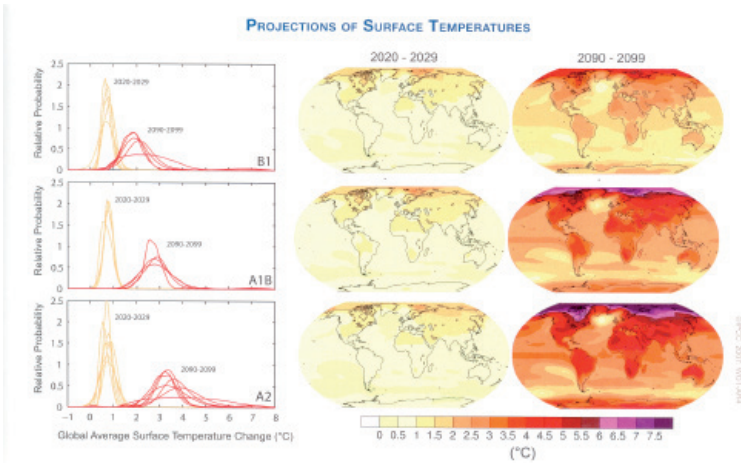
Figure 2.
Global heating continues



Source: P. Carter 2013, http://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/cdrar/do_LTmapE.cgi

Yet worse are the currently available projections of surface temperatures, which demonstrate that our Earth will become a sensibly hotter habitat, with an increase of + 7.5° C by the end of this century. Dramatically, this rise in temperature will be concentrated mainly at the top of the Northern Hemisphere.

Figure 3.
Projections on surface temperatures



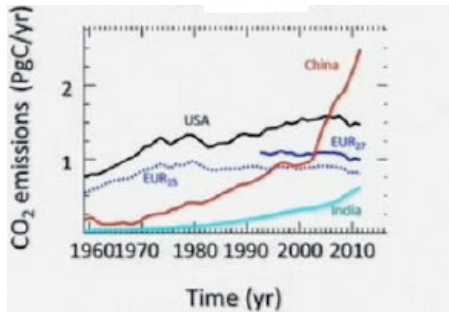
Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming, New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

During the past decades, even our intellectual and political approach to these key problems has wavered, at times unable to harmonize different points of view into, a unified decisive action to counter this rapid decline of our Earth’s health.

It should be noted, for instance, that *climate change* and *global warming* are two fairly different terms, even if often used as synonyms by politicians and journalists. “*Climate change*” is a natural process which refers to a broader series of alternations in worldwide climate: our planet has experienced both extremely hot and cold millennia, while we are now living in an interglacial period. This fluctuating trend has always been based on various factors, including for instance the amount of solar radiation received by both the Southern and Northern Hemispheres. Unfortunately, this eternal natural cycle has been slowed down, or even interrupted, by human intervention: centuries of house heating, vehicles and

industrial emissions from fuel consumption of oil, gas and coal have brought about an enormous, sudden increase in carbon dioxide and dust concentration in the atmosphere. Unfortunately, all the appeals for progressive emissions reduction have proved to be totally ineffectual. Addicted to its huge goods production, our modern world continues to produce carbon dioxide, even if Europe and United States achieved a token reduction by 2010; despite this, during those very same years India and especially China greatly increased their emissions, mainly as a result of their vast number of “dirty” manufacturing and power plants. These emission trends may be easily represented on a graph, but it should be carefully pointed out that, once poured into the atmosphere, this dangerous accumulation of carbon dioxide loses all national identity.

Figure 4.
Fossil fuel & cement CO₂ emissions by country/region



Source: Peters et al., Nature Climate Change submitted, based on CDLAC data and BP energy statistics

It should be clear that, when we add further emissions to the already present solar radiation, we sensibly increase the Earth’s entire warming process by simply preventing a considerable part of this overall radiation to leave our atmosphere. In this regard and in terms of radiative forcing components, CO₂ is the main “criminal” gas, followed by nitrous oxide (N₂O) and methane

(CH₄). These are also long-lived greenhouse gases, but other threats too menace our Earth's climate. Halocarbons, made up of carbon and halogens such as iodine, bromine, fluorine or chlorine, are among the most dangerous killers of stratospheric ozone. They are mainly produced by aerosol propellants and refrigerants, used for instance in air conditioning systems. Some of them, such as CFC-11, CFC-12, CFC-113, are also powerful greenhouse gases.

In other words, human activities have been harming both our ozone layer and the Earth's ability to repel excess heat. This lethal combination may entail seven different kinds of impact, which include:

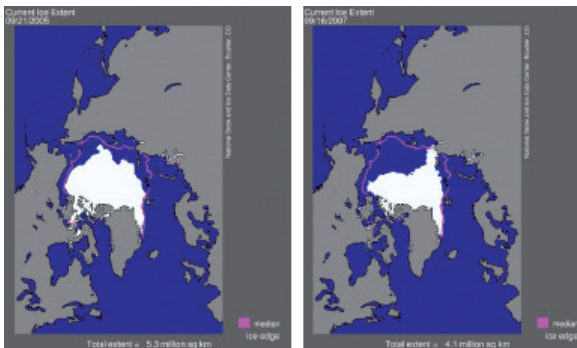
1. Increasing retreat of sea ice in Arctic seas and continuing change in the albedo feedback.
2. Acceleration of retreat due to thinning and composition changes.
3. Accelerated melting of the vast Greenland ice sheet, consequently leading to enhanced rate of global rise in sea level.
4. Very rapid snowline retreat, together with enhanced albedo feedback.
5. Threat from offshore Arctic methane, representing a very serious problem.
6. Extreme weather events, with an impact on worldwide food production, in a critical moment of mankind's demographic expansion.
7. Decline in strength of Atlantic thermohaline oceanic circulation, a process by which Europe would receive a lower rate of warming, with a sensible temperature decrease in the United Kingdom.

The retreat of sea ice, which today has become a serious problem, was first noticed in 1950, for a mainly practical reason: before that it could not be measured with great precision on such a huge scale because of the absence of specialized instruments

and satellites. Most early measurements were simply related to whale and seal catching, through whaling ship logbooks, which obviously recorded iceberg and pack positions for each hunting season. Buoys and long-range planes were also employed, occasionally, in this routine surveillance - of course, with just a limited probability of tracking both the evolution and general conditions of the ice sheet.

In the 1970's, advances in space technology greatly improved its know-how and enabled huge, highly valuable payloads to be placed in orbit, and the very first satellites revealed the growing trend of a rapid retreat during the summer months, especially concentrated in the July-September period. The orbital surveillance constellation, initially comprising meteorological satellites and later purposely-built machines, soon provided a complete scenario of Arctic conditions. It was recently noticed that the ice cover of the Arctic Ocean along the coasts of Alaska and Siberia has started to retreat, leaving open waters. In September 2007, the ice extent reached its record minimum, leading to attempts to complete a daring northern sea route, or northwestern passage, by sailing directly through dangerous Baffin Bay.

Figure 5.
Arctic ice extent in September 2005 and 2007

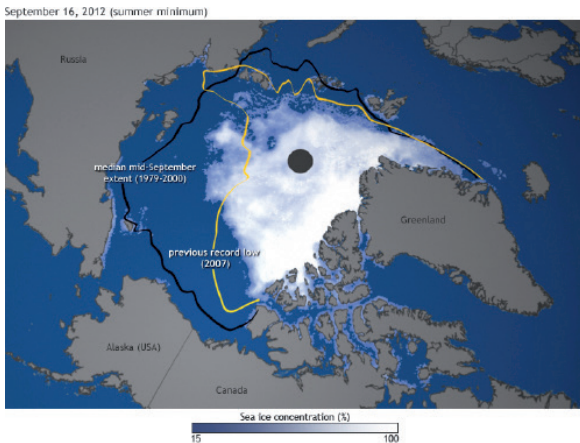


Source: National snow and ice data center, Boulder, CO

On September 16th, 2012, the situation had worsened even more, with the ice cover reaching a new astonishing minimum, its surface dotted by holes of melt water pools, as shown by the monitoring satellites; these pools of melt water also triggered an enhanced phytoplankton boom, as had happened in the Eastern Bering Sea.³

That year marked a very rapid decrease, sensationally unpredicted by all the computer models used by government panels. These models originally foresaw a far lower reduction, in dramatic contradiction to what happened in the Arctic during the 2012 summer season. When the model failure was acknowledged, it became clear that more direct observation was also needed, triggering a new interest in direct field surveys.

Figure 6.
September 2012 marked an astonishing, dramatic record in Arctic ice loss

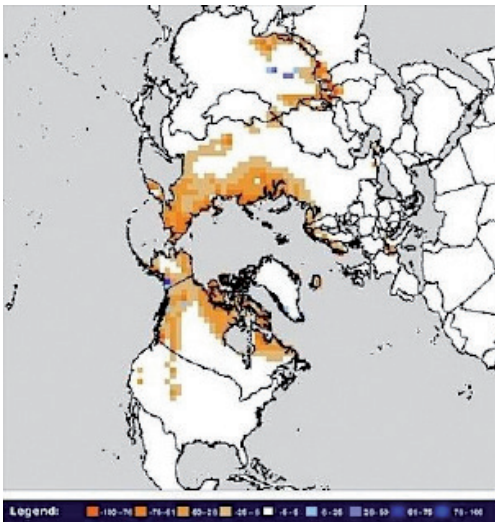


Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

3 Z. W. Brown, K. R. Arrigo, *Sea ice impacts on spring bloom dynamics and net primary production in the Eastern Bering Sea*, *Journal of Geophysical Research*, Volume 118, Issue 1, January 2013.

The albedo is the fraction of solar radiation reflected into outer space by white surfaces such as snow and ice covers: it is a natural phenomenon, which clearly underlines the need for white surfaces to keep the Earth cool. In 2014, at the University of California, scientists focused on this key element of our planet, studying its trend between 1979 and 2012; their scientific analysis led to a dramatic discovery. During just 33 years, our Earth's albedo percentage had shrunk from 52 to 48%. This was not, unfortunately, an isolated alarm: in June 2012, more than 6 million square km of northern Canada and Siberia were partially snow free, highlighting an alarming change from their normal condition, with negative consequences for the tundra environment - a further issue, since the tundra is another important absorber of solar radiation.

Figure 7.
Departure from Normal, June 2012



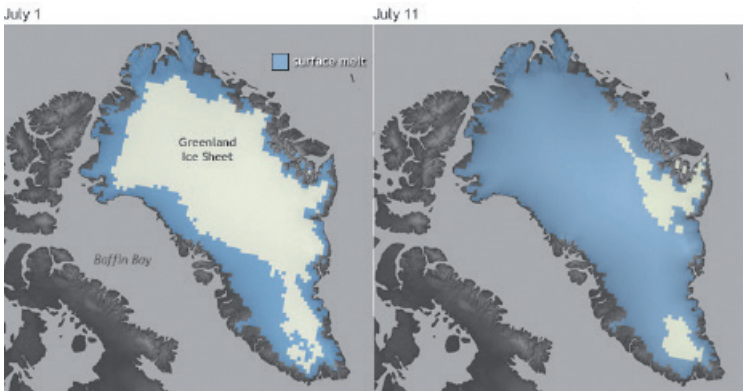
Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification*, *Climate Change, Global Warming, New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

In 2012, satellite footage of Greenland revealed another alarming situation: in just a few days, between July 1st and 11th, the whole snow surface cover melted into the ocean. On November 10th, 2012, Siberia was more than 20 degrees warmer than it should have been in that season.

Further data, taken from the gravitational satellite GRACE and elaborated in 2009, confirmed the accelerated decrease of the permafrost.

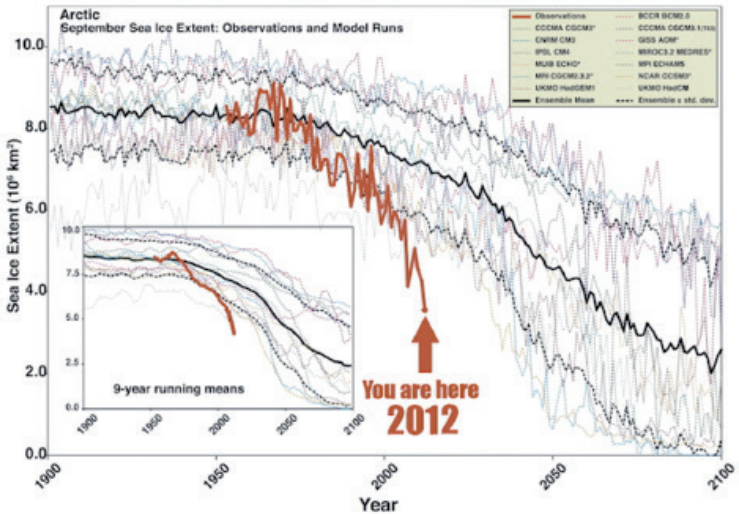
Figure 8.

The Greenland Ice Sheet almost completely melted away in less than a month (July 2012)



Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

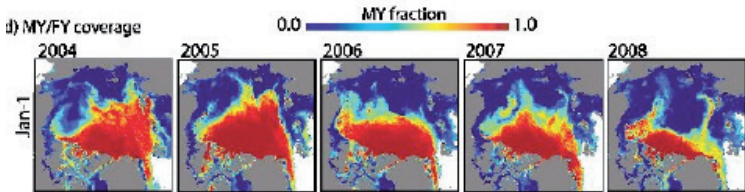
Figure 9.
The alarming difference in 2012 between the model projections and the actual rate of ice reduction



Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming, New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

When able to grow for more than a single year, the ice becomes increasingly thicker, being called MY, an acronym for multiyear ice fraction. Unfortunately, satellite images taken between 2004 and 2008 show how the Arctic ice cover became increasingly younger, with ever smaller areas of these multiyear ice fractions.

Figure 10.
Multiyear ice fraction reduction, 2004-2008



Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Further analyses were conducted by a very special research vessel, the British nuclear attack submarine HMS *Tireless*, whose crew ventured to the North Pole on a scientific expedition very different from its usual anti-submarine patrols. Built and launched for the explicit purpose of finding, shadowing and destroying its Soviet Navy counterparts running through the mid-Atlantic waters in the event of a third world war, the *Trafalgar*-class vessel frequently sailed the Arctic seas in deep submersion. Unfortunately, as discovered by generations of scientists and adventurers, these latitudes may prove to be hostile to human presence. On one occasion, in May 2003, the ship struck a submerged iceberg, with widespread damage to its upper deck and sail. Again sailing underwater close to the North Pole in 2007, the *Tireless* suffered a severe accident in which two sailors died after the explosion of an oxygen-generator device and which forced the submarine to make a dangerous emergency surface, breaking through the polar ice cap.

During that same year, in March 2007, the ship also carried a special electronic suite which included a high-performance, dynamically focused EM3002 multibeam sonar in its forward dome.⁴ Built in Norway by Kongsberg Maritime AS, this innovative

4 Nicholas Toberg and Till Wagner, *Sea Ice Properties from Submarine Multi Beam Sonar*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-9262, 2010.

device had been installed on the submarine's nose as part of the DAMOCLES project, whose specific aim was to measure the Arctic sea ice: thanks to this sonar, the HMS *Tireless* was able to record high resolution imaging of the floating ice cover from a very unusual point of view: after so many years of panoramic captures from aircrafts and satellites, these sequences were taken from directly *below* the waves. Quietly sailing about 350 km off Greenland's northern shores and unseen from the surface, the submarine drew a precise survey pattern, recording an invaluable amount of data, which included pressure ridge spacing, orientation and frequency, as well as the difference between multi- and first-year ice areas. At the end of this difficult research expedition, it became clear that the polar sea ice was getting thinner, as had already been suggested by surface and aerial reconnaissance.

Figure 11.
HMS *Tireless* surfacing in the Arctic, March 2007

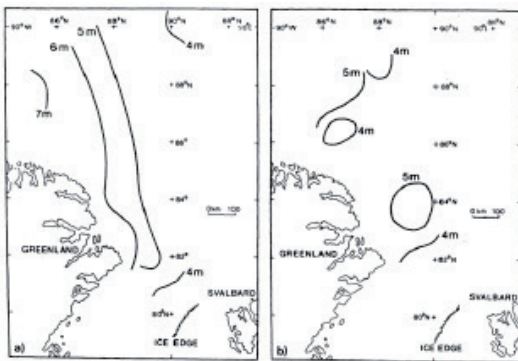


Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Although detailed as never before, the outcomes of the *Tireless*' underwater mapping expedition did not surprise scientists, since the premises of polar ice melting had been studied long before, and were already known in the scientific literature. Twenty-five

years ago, in 1990, Professor Peter Wadhams published a paper on it in *Nature*, focusing on mean ice drafts as measured by Royal Navy submarines between 1976 and 1987.⁵ That publication described the data recorded by a British vessel crew that in May 1987 closely followed an undersea polar route already taken in October, 1976, during an ice profiling expedition. The experiment underlined how, 400 km from northern Greenland's shores, mean ice thickness had decreased since 1976, with a 15% loss on a 300,000 km² surface, also revealing a huge presence of young, first-year ice. Moreover, the article included two side-by-side, black-and-white maps depicting Northern Greenland and the Svalbard islands: while the first map showed an average ice thickness of 6 and even 7 meters in open Arctic waters, the second, referring to 1987, marked a dramatic reduction to 5 and even 4 meters.

Figure 12.
The dramatic average ice thickness reduction, October 1976-May 1987

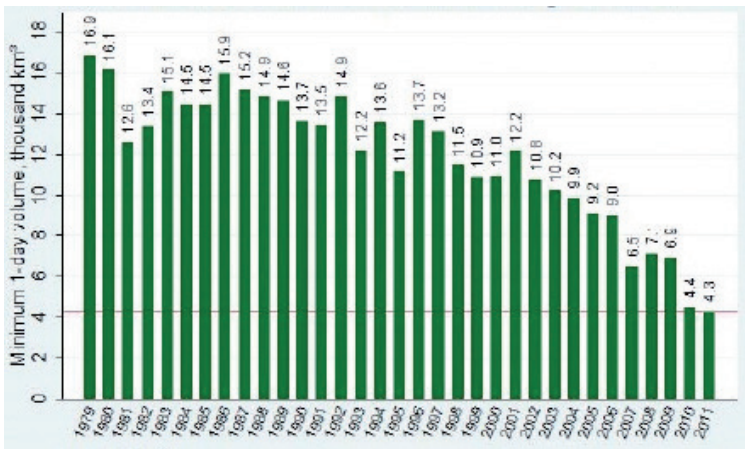


Source: P. Wadhams, *Evidence for thinning of the Arctic ice cover north of Greenland*, *Letters to Nature*, *Nature* 345, 28 June 1990

⁵ Peter Wadhams, *Evidence for thinning of the Arctic ice cover north of Greenland*, *Letters to Nature*, *Nature* 345, 28 June 1990.

From 1979 to 2011 the minimum Arctic cover volume decreased, the ice shrinking and becoming thinner: in 2011, the polar ice was just a quarter of what it had been in 1979. Moreover, it even seems possible that this year, in September, the ice cover will completely disappear despite last year's limited recovery.

Figure 13.
Min Arctic sea ice volume, 1979 through August 2011



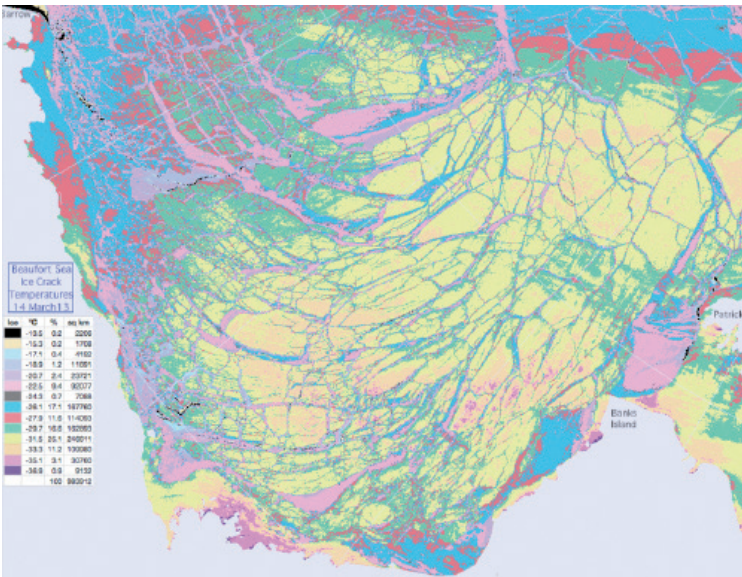
Source: L. Hamilton, PIOMAS

Consequently, the polar ice cap is no longer safe for scientific camps, nor easily reachable by aircraft, since only multiyear ice can host large and reliable airstrips; moreover, the ice cover now breaks even in the colder months of winter, also due to the powerful combined forces of streams and storms.

A picture taken on March 14th, 2013 on the Beaufort Sea showed its infinite cracks, broken by a storm, which clearly underlines how the Arctic ice surface can no longer provide safe ground, even in winter. These unusual conditions have severely compromised the long-established research routine on the

ground, since very few expeditions can count on nuclear attack submarines for transport to the Arctic. Furthermore, in August-October 2012, five-meter waves were sighted in the Beaufort Sea, a phenomenon previously unknown because the total ice cover had prevented wave formation. Powerful waves such as these, driven by storms, may also hasten the disappearance of sea ice.

Figure 14.
The infinite cracks show where there was once the thick, compact Beaufort Sea ice cover, March 2013



Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

On the other hand, this situation will have a very positive effect on oil & gas exploration, since most Arctic coastal waters only account for ten- or hundred-meter depths and, without a dangerous permanent ice cover, multinational oil & gas companies

are able to undertake new explorations. The first dynamic positioned drilling ships have already started operations, assisted by dedicated icebreakers circling around their position to break up the pressure force of the ice.

At the same time, along with possible hydrocarbon exploration, the Arctic ice reduction will also allow enterprising commanders to exploit previously inaccessible commercial routes. It is therefore foreseen that it will be progressively easier for specially outfitted ships to exploit future transport routes across the Arctic or along the northern Siberian coasts even in winter.

Box 2.

The 21st century's challenge: new commercial routes in the far North

Political and legal framework

The progressive disappearance of the Arctic ice cover, although feared by many from an environmental and climatic point of view, also represents new opportunities for summer commercial navigation. According to various economic analyses, an easier Arctic transport would be worth billions of dollars per year, even if increased warming would cost trillions. Strategic interests in favor of safe northern shipping have been quickly reassessed by various nations sharing navigation rights on the Arctic, such as Denmark, Russia, Norway, Sweden, Finland, Iceland, Canada and the United States of America; this, together with the new need for field survey explorations, have led to a renewed substantial human presence in the far Arctic, since military and border police officers have been deployed by all these governments to monitor each other. The only non-NATO Arctic littoral state, Russia, has enacted a new policy foreseeing a strong military buildup, with the reconstruction of abandoned airstrips and aero-naval deployment. In September 2014, six ships laden with heavy equipment reached an old Soviet base in the Arctic.

This overall interest and presence, not to be seen since the end of the Cold War, has raised new environmental, political and legal concerns. This, because the extent of the exploitation possibilities raised by the new climatic conditions

is almost impossible to assess, in key resource sectors such as shipping and fishing, energy production and mining. Anyway, all conceivable legal issues created by this present race to the Arctic seas should be regulated by the United Nations Convention on the Law of the Sea. Written in December 1982, this fundamental treaty has established freedom of navigation, with an exception of twelve miles for territorial waters and an exclusive economic zone of 200 miles from the coast of each interested country. This Convention has also created an important mechanism for conflict resolution: the United Nations Continental Shelf Commission, together with the International Seabed Authority.

Furthermore, the only five nations directly circling the Arctic - Greenland and Denmark, Canada, Norway, Russia and the United States - signed in Ilulissat, Greenland, on May 28th, 2008 a declaration of Arctic sovereignty. Despite this treaty, various disputes remain, as, for instance, ownership claims on the submarine Lomonosov Ridge or reciprocal disagreement between Canada and United States on their respective boundaries in the Beaufort Sea. On December 9th, 2013, Canada filed a United Nations application claiming its ownership of the North Pole and the surrounding area, which on the very next day led to a Kremlin order to increase Russian military presence in the Arctic. One year later, on December 15th, 2014, Denmark laid claim at the United Nations to ownership of 900,000 square kilometers north of Greenland.

New shipping lanes on the top of the world

Since the sea ice reduction is expected to continue in the next years, together with the formation of much younger and thinner ice, sailing through the Arctic Circle - especially in September, when the ice usually reaches its lower point - is no longer a dream. In 2007, for the first time in modern human history, the Northern Sea Route, which connects the Pacific to the Atlantic across Siberian waters, was found to be ice-free. Although still rather dangerous, this route allows a 30% time reduction from Shanghai to Hamburg, in comparison with the usual route via the Suez Canal. It was soon realized that, despite all the remaining risks, the northern course was ice-free for two months per year, against the very few weeks of ten years ago, and this new situation was immediately exploited.

2010 was the pioneering year, with four cargo ships successfully completing the daring Northern Sea Route. They soon became thirty-four in 2011, forty-

six in 2012, seventy-one in 2013, and twenty-two in 2014.⁶ In 2012, for the first time in history, even a large LNG tanker, laden with 134,738 cubic meters of liquefied natural gas, completed the whole Northern Sea Route in Winter, leaving Norway for Japan, and saving twenty days and about 1,000 tons of expensive fuel, in comparison with the traditional routes via the Suez Canal.

Despite the promising shortened length of this northern trip, which justified relevant investments by Moscow, the route remains dangerous and potentially full of obstacles even in summer. Icebergs, gales and other inhumanly severe weather conditions often force commanders to require the expensive assistance of one or more icebreakers, whose highly specialized fleet sails almost completely under the Russian flag.⁷ Such an expense, which can be as high as \$ 400,000, in addition to the need for additional insurance for both the ship and her crew, offsets the monetary savings granted by this shorter shipping route. Furthermore, due to the unpredictability of the maritime conditions, the Northern Sea Route has been exploited mainly by great cargo vessels and tankers, while the very strict schedule imposed upon container ships could not cope with the possible delays imposed by such an extreme environment. New projects are being rapidly developed to meet these new challenge, such as a Russian natural gas company, Novatek, which recently designed an innovative, ice-proof LNG tanker with the specific aim of exploiting the Northern Sea Route.

Even more difficult is the high-risk, high-gain route through the Northwest Passage, which runs along the North American coast through the Canadian Arctic Archipelago, formerly off limits to large vessels and open to the few small cargos supplying some isolated Canadian villages. Even before, this challenging route had been taken by the explorer Roald Amundsen in 1903-1906 and sought in vain by generations of European sailors looking for an easier commercial route with Asia. The modern record was made in September 2013 by a 225 meter-long, 75,000 ton ship laden with Canadian coking coal, the Nordic Orion, purposely designed in Japan with a reinforced hull. This route is particularly perilous, with an Eastern end depth of about 15 meters, together with other risks due to floating ice and extreme weather conditions, with the

6 Source: The Northern Sea Route Information Office, Website: http://www.arctic-lia.com/nsr_transits.

7 Currently, the icebreakers available in the Arctic sail under the flags of Canada (six), the United States (two) and Russia (thirty, including a nuclear-powered vessel).

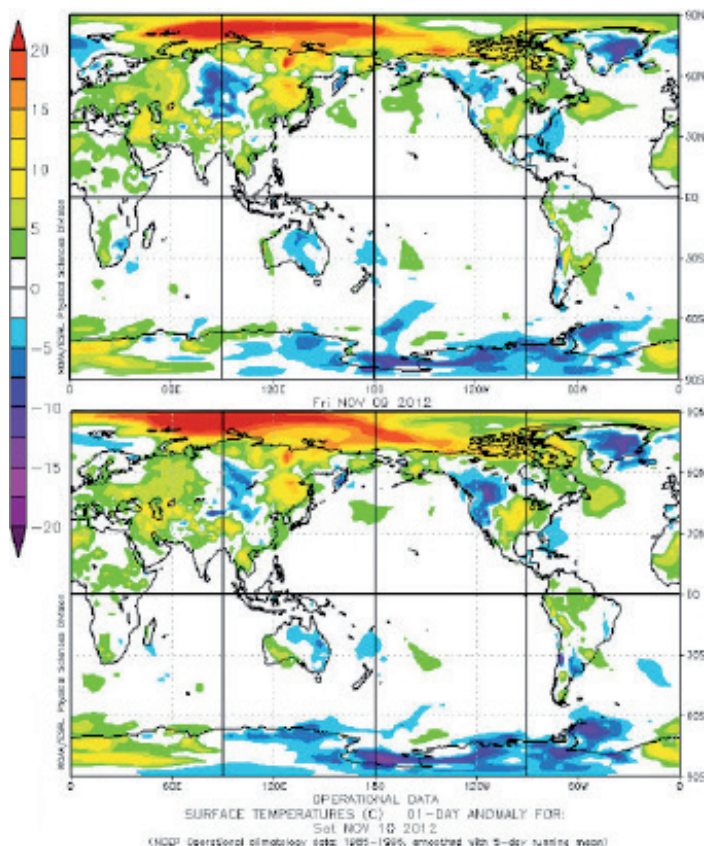
constant lack of havens along the way.

The Transpolar Sea Route, or Trans-Arctic Route, is the third shipping lane to connect the Atlantic to the Pacific Ocean, mainly running in international waters through the central Arctic Ocean. Currently off limits to all ships lacking heavy icebreaker capability, this route is expected to become more feasible for cargo vessels by 2030, owing to the continuing sea ice retreat. The importance of this route is expected to increase in the future, since it eludes all the exclusive economic zones of the various littoral states. Significantly, one of the first ships to exploit this route was, in 2012, the Chinese icebreaker and research vessel, Xuě Lóng.

In conclusion, both the northern routes created by the polar ice reduction remain hazardous, exposed to sensible risks despite their unquestionable profitability in terms of time and fuel savings. What must also be taken into consideration is that any accident, due for instance to fire, collision or hull damage, would trigger an environmental catastrophe in one of the harshest areas of the planet. The combination of floating ice, wind and sea conditions would be nightmarish for any oil spill remediation or wreckage removal, while marine microbes would be extremely slow in breaking down the released chemicals. In addition, very few harbors are available along these distant routes, for providing havens or rescue in case of need.

This increasing trend will lead to an enhanced rate of global rise in sea level and worldwide surface temperature. These are just some examples of a much broader problem on a planetary scale. In 2009 it was estimated that by the year 2100 the average global sea rise will reach 1.2 meters, far higher than previously foreseen: a clear source of problems for Venice, Poland and Eastern England, and a potential disaster for Bangladesh, as well as the almost certain evacuation of coastal cities such as Miami and New Orleans. Moreover, throughout the world the probability of flood disasters would increase sharply due to this additional average rise in sea level, further incremented by tides, winds and storms.

Figure 15.
 Surface temperature anomalies, as of November 10, 2012.
 In red, the excessive temperatures are clearly concentrated
 in the Arctic region



Source: NCEP Operational Climatology data

2. The threat from offshore Arctic methane

While large onshore methane reservoirs lie in various parts of the world, many other deposits are hidden underwater, on the sea bottom, in the solid form of hydrates. These methane hydrates represent a dual challenge for mankind: if successfully exploited, they could provide a vast energy reserve, while if released on the ocean floor as a consequence of global warming, they could dangerously accelerate the global greenhouse effect.

Box 3.

Methane hydrates: a powerful energy source for the future, a dramatic threat from the past

Strangely similar to dusty, grimy pieces of white ice, methane hydrates (also called hydro-methane or even fire ice, methane ice) are part of the “clathrate” family, characterised on a molecular scale by small, crystal-shaped cages, each trapping a different molecule. In methane hydrates, this cage structure is made up of water, while the molecule hidden in each little cage is methane, creating a solid clathrate compound based on a microscopic, water-crystal structure.

It is rather strange to consider that these hydrates are still almost unknown to the general public, despite their incredible, potential resource: if exploited, they could provide a far superior energy source than all the other existing oil, gas and coal reservoirs on Earth. They exist in outer space, at the borders of our Solar System, as well as on our planet. This precious gas, at least in the sea, is slowly produced and amassed by microbial activity on the bottom, feeding on and decomposing the sunken remains of algae, animals, plankton and living matter, a process that is called “methanogenesis” because based on

methanogenic microbes. Since this organic biomass is broken down and fed upon well before it reaches the sea floor in deep seas, methane can be produced by microbes only on the continental slopes, rising before the abyss at an average depth of 500 meters.

Incredibly vast in terms of energy output, these hydrates can form and survive in the presence of an elevated pressure, over 35 bar, and in very low temperatures - or, in warmer seas, in the presence of incredibly high pressures. In the presence of warm temperatures or lower pressures, the billions of microscopic cages surrounding the methane molecules collapse, releasing the gas. Of course, if the water temperature is particularly cold, hydrate reservoirs could be found in coastal proximity. This is the case of the particularly rich Arctic methane reservoirs, which can be found on the continental shelf at less than 200 meters, or even on the surface, since the Arctic permafrost does not melt.⁸

Methane hydrates. A forgotten, ticking bomb?

Unfortunately, the other side of the coin of this massive energy potential is that methane is also a dangerous greenhouse gas, and the hydrate reservoirs covering all the continental margins of the world could potentially release an enormous amount of methane. As yet imprecise estimates have evaluated these reservoirs as being in the range of 1000/5000 giga-tonnes, whose partial release - triggered, for instance, by lower temperatures in deep waters or even on Arctic lands - would be catastrophic for life on Earth. For instance, scientists and palaeontologists tend to link to massive methane emissions in the atmosphere to the Great Permian Extinction which occurred 252 million years ago after a temperature increase of 6° C, when ocean life was almost wiped out, with the loss of 96% of its inhabitants, as well as of 70% of onshore vertebrates. Today, the so-called “clathrate gun hypothesis”, which postulates a swift and massive methane release from the seabed and permafrost, is among the most valid explanations for that far-off catastrophic event which almost extinguished life on Earth.⁹ The enormous temporal distance from that historical nightmare,

- 8 Not only may oceans and onshore permafrost host methane hydrates, but also deep lakes, such as Lake Baikal in Siberia.
- 9 In particular, the clathrate gun hypothesis is based on the global warming triggered by the first melting of the most exposed methane hydrates. This warming would subsequently increase worldwide temperatures, melting other deeper hydrate deposits, thus continuing an unstoppable, lethal process.

unwitnessed by any human being, should not reassure us: in 2008, the Arctic clathrate destabilization process was selected as one of the four worst scenarios of a sudden climate change by both the United States Department of Energy's National Laboratory System and the United States Geological Survey's Climate Change Science Program.¹⁰

Methane, furthermore, leaves the ocean under the form of carbon dioxide, depleting the ocean's oxygen percentage and increasing oceanic acidification. This process may have already gotten under way from global warming. In 2008, off the Spitsbergen island, gas seepage from the sea floor was detected at a depth of 350 meters, triggered by the dissolution of methane hydrates, while every day the East Siberian Shelf leaks 600–630 mg of methane per square meter. Millions of tons of methane are being released by cracks in the underwater permafrost of the Laptev Sea, as well as in the East Siberian Sea, both due to geological heating of the soil and to the much increased water flow of various Siberian rivers.

As a final threat, a massive, general thawing of methane hydrates would sensibly undermine the stability of the continental shelf and slopes, since these ice-shaped structure have always been acting as a natural adhesive: this may lead to enormous underwater landslides, earthquakes and tsunamis.

Methane hydrates. A resource for the future?

Driven by the rising costs of raw hydrocarbons for fuel production, as well as by the incessant warlike conditions which affect so many reservoir-rich areas of the planet, various companies have started focusing on methane hydrates, especially in Taiwan, India, China, South Korea and Japan. Hydrates would not only offer a powerful, enormous energy resource to the world, but also an almost clean one: even today, natural gas-fuelled plants have a reduced environmental impact, if compared with traditional coal plants. Unfortunately, the feasibility of such exploitation remains unknown, due to technical difficulties and to the very far-flung locations of the already known reservoirs.

Despite these increasing technological efforts, the economic feasibility

10 Clark et al., *Abrupt Climate Change. A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*, U. S. Geological Survey, December 2008.

of hydrate exploitation remains problematic due to the tendency of their microscopic cages to dissolve when the whole substance is taken to the surface, in the presence of increasingly lower pressures. It is a scientific and technological challenge. Until today, it has been considered safe and reliable to exploit methane hydrates buried under no less than 100 meters of fine-grained sediment, with the constant reminder that a 10-bar or greater pressure increase would disintegrate the precious hydrates, releasing their dangerous contents into open waters.

It has been hypothesized that the best way to approach an underwater hydrate reservoir would be through precise, delicate, sideways, subduction drilling: methane would flow into cavities and be pumped out, as occurs with the techniques presently used in “fracking”, though with elevated costs. Instead, in 2008 a Japanese and Canadian team was able to extract methane hydrates onshore by lowering the pressure, thanks to the protection of a thick permafrost shield, from the Malik site on the delta of the Mackenzie River. Subsequent laboratory tests confirmed that methane could be successfully produced by simply heating the surrounding hydrates, or by changing its pressure. Other tests have been done in the field in Alaska. In Japan, more recently, a major R&D program was launched by the Japan National Oil Corporation, the Japanese Petroleum Exploration and the United States Department of Energy at the Nankai Trough site, a subduction zone hosting a large clathrate reservoir, with an amount of 16/27 trillion cubic meters. This program is mainly an attempt to achieve the commercial exploitation of the hydrates, as well as to maintain an “active study” site, in order to perfect the safety procedures required in future during such hazardous drilling activities.

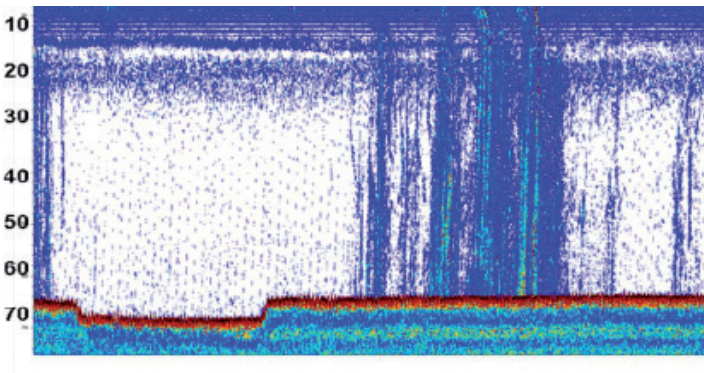
However, despite some attempts off the Japanese coasts, the exploitation of offshore hydrate reservoirs still remains a far-off goal, due to various fundamental questions concerning its technological, economic and environmental feasibility.

Studied by various European research programs, this serious threat is linked to the peculiar topography of the Arctic sea, whose coastal waters are very shallow, with an average depth of less than 100 meters, along Siberia, for instance. These coastlines were usually covered by ice, even in summer, and are now open

waters. Unfortunately, a secondary effect of the disappearance of the usual ice cover is the release of methane bubbles from the seafloor, as noted along the East Siberian Arctic Shelf and above all in the Laptev Sea. At the end of September 2007, unusually warm surface waters reached the coastal seabed, whose temperatures reached 3° C, very close to the thawing temperature of methane hydrates, which cannot remain united without the usual ice pressure.

A disturbing image, taken by sonar at a 70-meter depth, clearly shows how sediment has melted, severely endangering the seabed permafrost and releasing continuous columns and plumes of methane bubble from the massive methane hydrate deposits lying below. Once on the surface, these bubbles release methane into the atmosphere, contributing to the increase in global warming.

Figure 16.
Methane plumes released by broken hydrate reservoirs in the seabed, as seen by sonar



Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

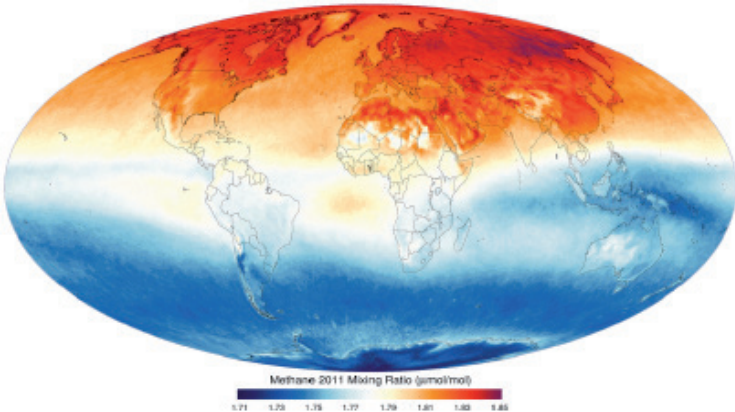
Figure 17.
The same methane plumes, rising to the surface



Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

This phenomenon, unfortunately, has been worsening every year, expanding to ever larger areas of the seabed. Once in the atmosphere, methane spreads very quickly and it is therefore hard to pinpoint where it came from, despite strong evidence of its possible main provenance - the Arctic shelf - and principal concentration in May 2011, on the northern top of the planet.

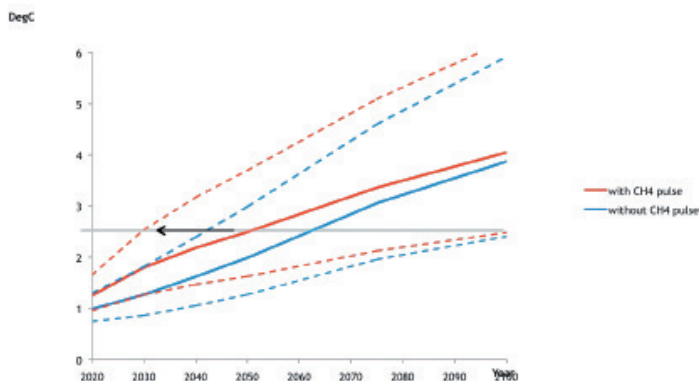
Figure 18.
Methane concentration (in red), in May 2011



Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

The University of Cambridge tried to predict the future evolution of this trend by proposing three different scenarios related to the effect of the methane outbreak on global temperatures, in the presence and absence of the CH₄ pulse. All these scenarios highlight the future increase of global warming, but above all the superior increase in the presence of methane emissions.

Figure 19.
The effect of methane outbreak on global temperatures.
Emission of 50 Gt between 2015-2025, three scenarios



Source: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming, New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Between 1978 and 2008, Alaska’s land permafrost has been melting as well. A decade-scale series of surveys, taken in Deadhorse at a depth of 20 meters, revealed an alarmingly marked temperature increase in 2008. It should therefore be clear that methane represents a clear and present danger, which needs to be carefully controlled every year.

Arctic warming, beyond the methane threat, also threatens to alter the jet stream position. Since the difference of temperature between the tropic and the Arctic is rapidly shrinking, the jet stream moves more slowly, even if - ironically - cold Arctic air has begun to pour into the northern and midwestern United States, as well as into Europe. Arctic amplification has been reducing the usual variability of the Northern Hemisphere’s cold-season temperatures, with frequent and previously unseen insertions of huge arctic air masses in lower latitudes.

This change adversely affects weather stability in one of the most important areas of our planet, because the main croplands are all located in the Northern Hemisphere. The progressive or even partial loss of crop yields would of course have a serious impact on food production, even if the current warming trend should enhance it by a $3/4^{\circ}$ C increase in the near future. Unfortunately, its worst effects are expected for the end of this century, together with a sharp rise of the world's population: a very dangerous combination, which could trigger severe conflicts for access to basic resources, and could condemn billions of people to starvation. Food prices would also increase, and while Western countries might still be able to afford them, other nations might not.

Yet worse, thermohaline circulation, a fundamental component of broad ocean circulation, is weakening. Since its currents are driven by different density gradients, caused by freshwater fluxes and surface heat, a marked global temperature change would seriously impact on thermohaline circulation. By the end of the century, most of Europe will be 4° C warmer, Italy included, while the Northern Atlantic will be cooler, with a colder climate in the United Kingdom and Norway.

In conclusion, CO_2 -driven global warming is worsening on the Arctic, whose ice shield has been retreating more rapidly over the past decades, with a remarkable impact on both global sea level and planetary albedo. Various geo-engineering projects have been proposed, even if as yet without any guarantees - unfortunately, mankind seems unable to achieve its ultimate goal, which means ceasing to emit carbon dioxide as soon as possible.

Box 4.

From wooden crafts to steel vessels.

An Arctic exploration timeline

In 2003 a Russian team discovered a hitherto unknown, man-made hunting site established on the Yana River in Siberia in approximately 28,000 B.C. Another prehistoric camp from the same era (28.000-30.000), was discovered by a Russian-Norwegian team on the Usa River.

330 BC *The Greek adventurer and trader Pytheas wrote the first account of polar seas beyond the Scottish coasts, including the first description ever recorded of Northern phenomena such as floating ice, the aurora borealis and the midnight sun.*

870 AD *The discovery of Iceland by Norse raiders and sailors, among which the legendary Floki Vilgerdaron. In 874, the Norwegian commander Ingólfur Arnarson and his wife, Hallveig, became the first settlers of the island, in Reykjavik.*

983 AD *The discovery of Greenland by the legendary Norse commander Erik Thorvaldsson or The Red, who grew up in Iceland and was subsequently exiled.*

1496 *The Russian explorer G. Istoma reached the Murman Coast, as far as Novaya Zemlya. He was followed by two fellow explorers, D. Zaytsev and D. Ralev, in 1497.*

1575 *During various expeditions up to 1577, the British privateer Sir Martin Frobisher reached Baffin Island.*

1594 *Driven by the widespread European need to find a cheaper, more suitable passage to the Far East, the Dutch explorer Willem Barents or Barentsz launched the first of his three cruises, looking for the mythical Northeast Passage and discovering the Spitsbergen Island in the Kara Sea; in 1596, trapped by the ice and having lost his ship, he survived a cruel winter in Novaya Zemlya, becoming, along with his battered crew the first European to endure the harsh polar winter. He died in June 1597, while trying to escape from the Arctic Circle in two smaller boats. His surname still remains in the Barents Sea toponym.*

1605 *Danish explorers reached Greenland in search of lost Norse colonies.*

1607 *The British Henry Hudson sailed three times in search of a safe passage*

to Asia, venturing into the Arctic Ocean on his ship *Discovery* and mapping the Hudson Bay, which was named after him. Trapped in the ice, he was subsequently set adrift with his son by his mutinous crew and disappeared.

- 1614** Dutch and French sailors discovered the island of Jan Mayen.
- 1732** Vitus Bering led various sea and land expeditions under the flag of the Russian Admiralty, along the still unknown Siberian shores. Called the Great Northern Expeditions, these surveys lasted for twenty years and saw the participation of a famous physicist, Mikhail Lomonosov, who for the first time studied and mapped Arctic ice and streams.
- 1776** The British vessels *Discovery* and *Resolution*, under the command of Captain James Cook, sailed up to the Bering Straits, looking for the Northwest Passage, before being stopped by the ice pack.
- 1819** The British William Edward Parry sailed for the first time, again looking for the Northwest Passage, into the Arctic Archipelago. Blocked by the ice, he wintered on Melville Island.
- 1819** At the same time, the British captain John Franklin tried to meet up with his countryman Parry on a hazardous trip by canoe. The attempt was ill-fated, with 11 of his 20 men dying of starvation.
- 1821** Despite the disaster of the Franklin expedition, William Edward Parry set sail again with two vessels, *Hecla* and *Fury*. He reached both the Hudson Straits and Baffin Island.
- 1824** During his third expedition, Parry's ship *Fury* was crushed by the ice and left stranded ashore. The *Hecla* rescued its crew, and headed back to Great Britain.
- 1831** A former Parry's officer, James Clark Ross, sailed in search of the Northwest Passage. He reached the North Magnetic Pole for the first time, but remained trapped by the ice for several winters and could not return to England for four more years.
- 1845** One of the most famous expeditions of all times set sail in search of the mythic Northwest passage with 129 men on the *Erebus* and *Terror*, under Sir John Franklin's command. An experienced sailor who had already undertaken three Arctic expeditions, Franklin was blocked by the ice in Victoria Straits, in the Canadian Arctic: none of his crew, including Franklin himself, was ever rescued. The grief stirred up in

Great Britain and elsewhere by the loss of both ships led to various rescue expeditions starting in 1848, one of them including thirteen vessels in 1850. Despite all these attempts and the discovery of a few graves, and despite John Rae's discovery in 1854 that the Inuit had collected some objects from the wreckages, the mystery remained unsolved until 2014. On September 9th of that year the wreck of the Erebus was sensationally located in the Queen Maud Gulf by the Victoria Straits Expedition, with the use of a side-scan sonar system.

- 1878** *The Northeast Passage was navigated for the first time by the Finnish explorer and scientist Baron Nils Adolf Erik Nordenskiöld, on his ship the Vega.*
- 1879** *The US. Navy Lieutenant George Washington DeLong tried to reach the North Pole from San Francisco through the Bering Straits on his steamship, the USS Jeannette. The attempt resulted in a catastrophe, with the ship's loss and the survival of a small number of its crew in Siberia.*
- 1882** *The American explorer Adolphus Greely tried to build an observation post on Ellesmere Island, but only six out of twenty-four members of his crew survived.*
- 1886** *U.S. Navy officer Robert Peary organized eight expeditions in the Arctic, exploring Greenland and claiming in 1908 to have finally reached the North Pole.*
- 1903** *The famous Norwegian explorer Roald Amundsen for the first time navigated the Northwest Passage.*
- 1910** *The Tsarist Russian Navy launched the Russian Arctic Ocean Hydrographic Expedition along the Western Siberian coasts, a scientific success made possible by two icebreakers, Tamyр and Vaygach.*
- 1928** *The Italian explorer Umberto Nobile tried to reach the North Pole with his dirigible Italia. Despite the success of the daring mission, the airship, weighted down with ice formations, crashed onto the pack on May 25th, with the loss of six crew members. The remaining crew members were rescued by an international mission which led to Roald Amundsen's death in an air accident.*
- 1930** *A first attempt at an undersea approach to the North Pole was*

made by Sir Hubert Wilkins, with a submarine, the former USS Nautilus, which he acquired explicitly for the purpose. The old ship, built in 1916 and bought by Wilkins for a single dollar, was damaged by the ice in 1931 off Spitsbergen.

- 1958** *Driven by Cold War competition, a more organized and technologically prepared attempt was made by the US. Navy, with the nuclear-powered submarine Nautilus, which reached the North Pole, while again in 1958 another nuclear vessel, the USN Skate, successfully surfaced at the North Pole. These hazardous, pioneering cruises paved the way for hundreds of other armed patrols under the Arctic ice, conducted by both NATO and Soviet submarines; since 1993, civilian researchers and oceanographers have also been allowed to take part in polar cruises on NATO nuclear submarines, such as the Scientific Ice Expeditions (1995-1998).*
- 1968** *The United States explorer Ealph Plaisted reached the North Pole, using snowmobiles and starting from Ward Hunt Island. Their position was confirmed by a United States Air Force aircraft.*
- 1977** *The Russian icebreaker Arktika became the first surface ship to reach the North Pole, on August 17th.*
- 1995** *The Polish explorer Marek Kamiński was the first man to reach the North Pole, alone and by foot.*
- 2000** *The British explorer David Hempleman-Adams reached the North Pole with the balloon Britannic Challenge, starting out from and coming back to Svalbard.*
- 2007** *For the first time, during the Arktika 2007 mission, a Russian-manned MIR submarine, launched by the Akademik Fedorov, touched the seabed on the North Pole, dropping a special titanium casing which protected a Russian flag. The seafloor was met at a depth of 4,261 meters.*

VOLUMES PUBLISHED BY FONDAZIONE ENI ENRICO MATTEI
IN THE FEEM PRESS SERIES

The Global Revolution of Unconventional Oil: New Markets, New Governances, New Policies, by John M. Deutch, Milan, FEEM Press, Economy and Society Series, 1/2014

Islam and Modernity: an Unconventional Perspective, by Tarek Heggy, Milan, FEEM Press, Economy and Society Series, 2/2014

The Ukraine Debacle, by Anatol Lieven, Milan, FEEM Press, Economy and Society Series, 3/2014

Growth Inequality and Poverty Reduction in Africa, by Francisco H. G. Ferreira, Milan, FEEM Press, Economy and Society Series, 1/2015

Coalitions and Networks, by Carlo Carraro (ed.), Milan, FEEM Press, Climate Change and Sustainable Development Series, 2/2015

Insights from China: Leadership, Policies, New World Order, by Jean Christophe Iseux von Pfetten, Milan, FEEM Press, Economy and Society Series, 3/2015

Un patto globale per lo sviluppo sostenibile. Processi e attori nell'Agenda 2030, by Ilaria Lenzi, Ilaria Pais, Andrea Zucca, Milan, FEEM Press, Sustainable Business and Social Change Initiative Series, 4/2015

Water and Development, by Michel Camdessus and Giulio Sapelli, Milan, FEEM Press, Economy and Society Series, 5/2015

Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World, by Peter Wadhams, FEEM Press, Climate Change and Sustainable Development Series, 6/2015

La **Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM)** è un'istituzione non-profit che svolge ricerca nel campo dello sviluppo sostenibile e della governance globale. La missione della FEEM è di contribuire attraverso le ricerche al rigore, alla credibilità e alla qualità delle decisioni nella sfera pubblica e privata.

Fondazione Eni Enrico Mattei
Corso Magenta 63, Milano – Italia
Tel. +39 02.520.36934
Fax. +39 02.520.36946
E-mail: letter@feem.it
www.feem.it

Le opinioni espresse nella presente pubblicazione rappresentano esclusivamente il punto di vista dell'autore/i.

ISBN 9788890991868

© FEEM 2015. Tutti i diritti sono riservati. Sono autorizzate brevi riproduzioni del testo nella lingua originale, non superiori ai due paragrafi, senza esplicito permesso, purché sia citata la fonte.

Registrazione n. 194 presso il Tribunale di Milano, il 16.05.2014.

Traduzione ed elaborazione testo a cura di Marco Soggetto.

Finito di stampare a Milano nel mese di novembre 2015 presso Roberto Cremonesi.Co Srl

Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM)

Collana «*Climate Change and Sustainable Development*»

Amplificazione artica,
cambiamento climatico,
riscaldamento globale.
Nuove sfide dal tetto del mondo

Peter Wadhams

ITALIANO

FEEM
PRESS

EE

Indice

Introduzione	51
1. Il trend del riscaldamento globale. Le prove fornite dal nostro recente passato	53
Box 1. L'amplificazione artica	54
Box 2. La sfida del ventunesimo secolo: le nuove rotte commerciali nell'estremo Nord	71
2. La minaccia posta dai giacimenti artici offshore di metano	77
Box 3. Gli idrati di metano: una ricca fonte energetica per il futuro, una grave minaccia dal passato	77
Box 4. Dai velieri di legno alle navi in acciaio. Una cronologia dell'esplorazione artica	86

Introduzione

Nel corso degli ultimi anni abbiamo assistito ai più svariati, impressionanti e terrificanti effetti di un fenomeno misterioso e ancora parzialmente frainteso, definito, in modo piuttosto generico, come “cambiamento climatico”. Questa ingannevole denominazione identifica un fenomeno capace di scatenare eventi di enorme portata e carichi di gravi conseguenze, prontamente trasmessi dai nostri media, che spesso hanno come vittime territori con alta densità di popolazione. Frane improvise che colpiscono vallate ricche di villaggi e fattorie, città e coste devastate da tifoni di violenza senza precedenti o dall’innalzamento del livello del mare a velocità inaudita, l’allarmante dissoluzione del ciclo delle stagioni, un tempo giudicato immutabile, con conseguente danno al sistema agricolo. Esiste tuttavia un problema perfino peggiore, in gran parte trascurato dai media occidentali, che sta minacciando una delle zone più selvagge e meno abitate del nostro pianeta: l’Artico, la cui drammatica situazione rischia di avere conseguenze su ogni mare e ogni angolo della Terra.

La nostra attenzione è stata distratta dagli innumerevoli disastri naturali che colpiscono qualsiasi altra parte del mondo, eppure l’Artico si sta riscaldando più velocemente del resto del pianeta ed è quindi una delle cause occulte del cambiamento climatico globale. Questo riscaldamento accelerato, del resto, ha dei precedenti. Un migliaio di anni fa, intorno al decimo secolo, quando i marinai norreni provenienti dall’Islanda approdarono in Groenlandia e cominciarono a colonizzarne le coste sud-occidentali, la grande isola vantava un clima più mite, non essendo ancora iniziato il processo di industrializzazione globale. Suben-

trò quindi un periodo più freddo, la cosiddetta “Piccola Era Glaciale”, protrattasi all’incirca dal sedicesimo alla metà del diciannovesimo secolo, quando le fabbriche alimentate a carbone della Rivoluzione industriale iniziarono a immettere sempre maggiori quantità di gas serra nell’atmosfera. I moderni grafici del clima che descrivono quel periodo mostrano un trend allarmante: il nostro pianeta ha cominciato a riscaldarsi molto rapidamente sin dalla metà del diciannovesimo secolo, con un incremento particolarmente intenso dal 1960 in poi, causato dal sempre più esteso ricorso al carbone nelle centrali elettriche di tutto il mondo. L’Artico si sta riscaldando tre volte più velocemente del resto del pianeta, a causa del fenomeno dell’amplificazione artica, che verrà debitamente illustrato in queste pagine; inoltre, tra il 1951 e il 1980, il cambiamento climatico dell’Artico ha di gran lunga superato il valore globale medio. In base a una preoccupante immagine diffusa dal Goddard Visualization Center della NASA, relativa al riscaldamento terrestre tra il 1981 e il 2009, il maggiore incremento della temperatura è infatti localizzato nella parte occidentale dell’Oceano Artico, un tempo ricoperto da una spessa coltre glaciale, sostituita oggi da una vasta distesa di acqua.

Quest’ampia panoramica di immagini, grafici e dati delinea uno scenario inquietante, al cui cuore si trova l’Artico, fulcro dell’accuratissima lecture proposta dal professor Wadhams.

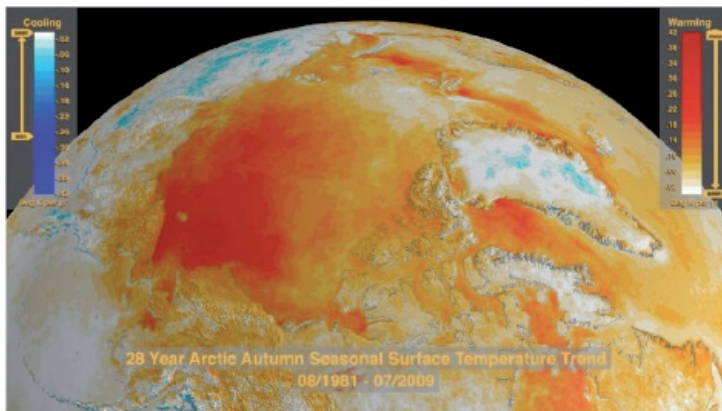
1. Il trend del riscaldamento globale. Le prove fornite dal nostro recente passato

Tra il 1880 e il 2010, la nostra biosfera si è riscaldata incessantemente, mantenendo un forte incremento di temperatura sin dal 2006, con una marcata accelerazione nell'emisfero settentrionale, solitamente temperato. In altri termini, a partire dal 2000 il pianeta si è riscaldato con enorme rapidità, e la maggior parte di tale calore è stato assorbito dalle sue superfici più estese, cioè gli oceani; tuttavia, il picco di questo processo accelerato di riscaldamento è stato raggiunto nell'Artico, che sta vivendo il periodo più caldo degli ultimi 40.000 anni.¹ Inoltre, questo intenso processo di riscaldamento si concentra in particolare nelle latitudini più settentrionali, mentre l'emisfero meridionale è molto più freddo e si riscalda con ritmo assai più contenuto.²

1 J. C. Stroeve, T. Markus, L. Boisvert, J. Miller, A. Barrett, *Changes in Arctic melt season and implications for sea ice loss*, Geophysical Research Letters, Volume 41, Issue 4, 28 febbraio 2014.

2 Sorprendentemente, la superficie glaciale dell'Antartide si sta lentamente espandendo, probabilmente a causa dell'effetto combinato dei venti e dell'assenza di masse di terra emerse.

Figura 1.
Amplificazione polare del riscaldamento globale.
Il massimo riscaldamento terrestre (1981-2009), ad un
incremento massimo di 0.42° C/anno



Fonte: NASA Goddard Visualization Center

Box 1.

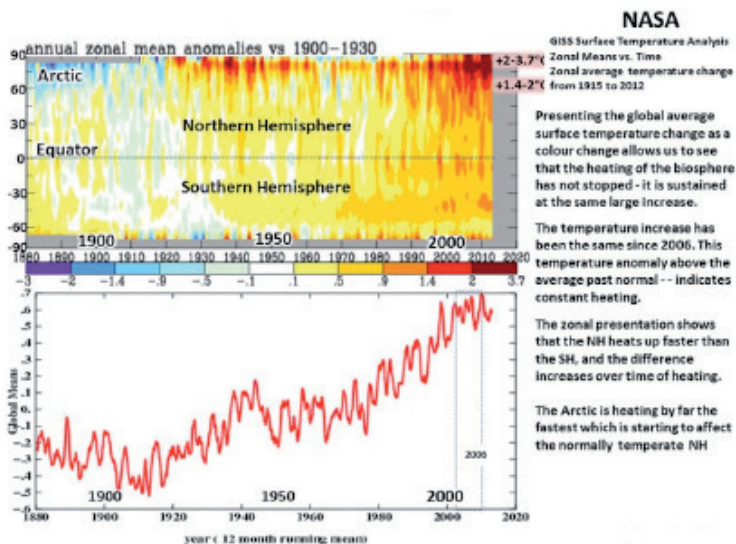
L'amplificazione artica

All'apparenza insolito, il termine scientifico di amplificazione artica fa riferimento all'allarmante tendenza che vede raddoppiare o triplicare l'entità del riscaldamento artico, in confronto alla media del riscaldamento globale. Ciò è causato da un meccanismo in base al quale i due poli del nostro pianeta (nonché di qualsiasi pianeta la cui atmosfera possa respingere nello spazio le radiazioni) sono più esposti al cambiamento climatico, rispetto alle latitudini sottostanti. Non si tratta di una novità, poiché un complesso processo di amplificazione polare, esteso a entrambi i poli, si verificò sulla Terra già durante il Pleistocene, che perdurò fino a circa 11.700 anni fa.

Questo trend di lungo periodo è causato principalmente da un processo semplice ed eterno, che ha luogo nello spazio: l'energia e le radiazioni emesse dall'immensa superficie solare colpiscono ogni pianeta, satellite e massa del nostro sistema solare. Di conseguenza, una parte variabile di questa energia

viene riflessa nello spazio, mentre il resto è assorbito dai pianeti. Sulla Terra interviene il feedback ghiaccio-albedo, poiché le grandi, candide superfici glaciali fungono da specchi naturali: pertanto, una cospicua perdita di ghiaccio lascia al suo posto acque libere, impedendo al pianeta di riflettere la radiazione solare nello spazio e incrementandone il processo di riscaldamento.

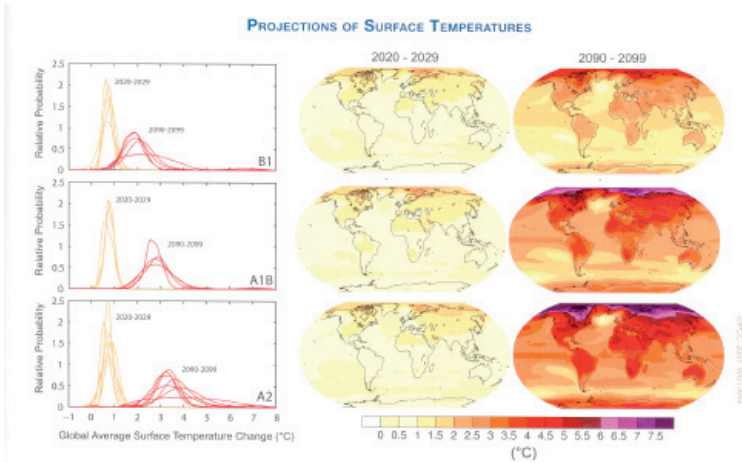
Figura 2.
Il riscaldamento globale prosegue



Fonte: P. Carter 2013, http://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/cdrar/do_LTmapE.cgi

Sfortunatamente, le proiezioni attualmente disponibili relative alle temperature superficiali sono più negative e dimostrano che la nostra Terra è destinata a divenire un pianeta notevolmente più caldo, a causa di un incremento di 7,5° C entro la fine del secolo. Purtroppo questo aumento delle temperature si concentrerà principalmente al culmine dell'emisfero settentrionale.

Figura 3.
Proiezioni delle temperature di superficie

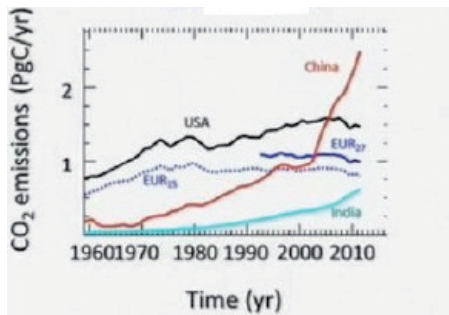


Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming, New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Nel corso degli ultimi decenni, perfino il nostro approccio politico e intellettuale a questi problemi fondamentali si è rivelato incerto, spesso incapace di far convergere punti di vista differenti in un'unica azione decisiva per contrastare il rapido declino delle condizioni del pianeta. Bisognerebbe notare, ad esempio, che i termini *cambiamento climatico* e *riscaldamento globale* possiedono connotazioni profondamente differenti, malgrado siano spesso usati come sinonimi dai politici e dai giornalisti. Il cambiamento climatico è un processo naturale che si riferisce a una serie ben più ampia di alterazioni del clima mondiale: il nostro pianeta ha conosciuto millenni estremamente gelidi e torridi, mentre attualmente viviamo in un periodo interglaciale. Questo trend altalenante è sempre stato determinato da vari fattori, tra cui per esempio la quantità di radiazioni solari ricevute dagli emisferi meridionale e settentrionale. Sfortunatamente questo eterno ciclo

naturale è stato rallentato, se non addirittura interrotto, dall'intervento umano: secoli di riscaldamento domestico, di emissioni da parte di veicoli e industrie alimentate a petrolio, gas e carbone hanno causato un enorme, improvviso aumento della concentrazione di anidride carbonica e di polveri nell'atmosfera. Purtroppo ogni appello per la progressiva diminuzione delle emissioni si è rivelato inefficace. Abituato a un sistema di produzione di massa di beni, il mondo moderno continua a emettere anidride carbonica, anche se Europa e Stati Uniti ne hanno implementato una riduzione simbolica nel 2010; malgrado ciò, nello stesso periodo l'India e soprattutto la Cina hanno notevolmente aumentato le loro emissioni, principalmente a causa del cospicuo numero di impianti e centrali inquinanti. È facile rappresentare i trend delle emissioni in un grafico; occorre tuttavia sottolineare con attenzione che, una volta immesse nell'atmosfera, queste pericolose quantità di anidride carbonica perdono, ovviamente, qualsiasi connotazione nazionale.

Figura 4.
Emissioni di CO₂ da combustibili fossili & cementificazione per Paese/area geografica



Fonte: Peters et al., Nature Climate Change submitted, sulla base di dati CDLAC e statistiche energetiche BP

Appare quindi chiaro che, incrementando ulteriormente le emissioni e sommandole alla già presente radiazione solare, l'intero processo di riscaldamento terrestre aumenta sensibilmente e impedisce che una parte considerevole di queste radiazioni abbandonino la nostra atmosfera. A tal proposito e in merito ai componenti del forzante radiativo, la CO_2 si conferma il principale "gas criminale", seguita dall'ossido di azoto (N_2O) e dal metano (CH_4). Sono presenti anche dei gas serra particolarmente longevi, che si aggiungono ad altre fonti di minaccia al clima terrestre. Gli idrocarburi alogenati, composti da carbonio e da alogeni quali iodio, bromo, fluoro o cloro, sono tra i più dannosi per l'ozono della stratosfera e vengono prodotti soprattutto dai propellenti per l'aerosol e dai refrigeranti, utilizzati ad esempio nei condizionatori. Alcuni di essi, designati con le sigle CFC-11, CFC-12, CFC-113, sono oltretutto dei potenti gas serra.

In altre parole, le attività umane hanno danneggiato sia lo strato di ozono, sia la capacità della Terra di espellere il caldo in eccesso. Questa letale combinazione può includere sette differenti tipologie d'impatto, tra cui:

1. Aumento della regressione del ghiaccio marino nell'Artico, e cambiamento del feedback dell'albedo.
2. Incremento della velocità regressiva, dovuto all'assottigliamento e al cambio della composizione del ghiaccio.
3. Scioglimento accelerato dell'ampia copertura nivale groenlandese, con conseguente aumento dell'innalzamento globale dei mari.
4. Rapido arretramento della quota d'innevamento, con conseguenze sull'albedo.
5. Minaccia costituita dai giacimenti artici di metano, che costituiscono un serio problema.
6. Eventi meteorologici estremi, con un impatto notevole sulla produzione mondiale di cibo, in una fase critica dell'espansione demografica mondiale.
7. Diminuzione della forza della circolazione termoalina atlantica.

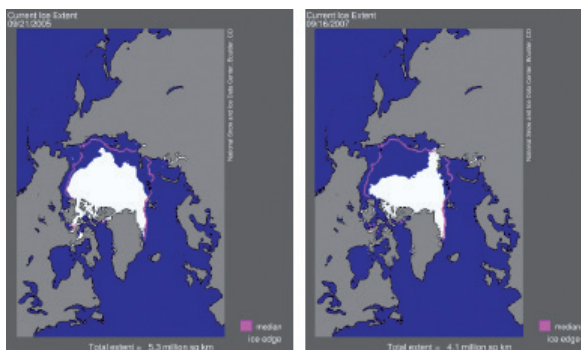
tica, con conseguente riduzione del riscaldamento fornito all'Europa e una sensibile diminuzione delle temperature del Regno Unito.

La regressione del ghiaccio marino, divenuta oggi un problema molto serio, fu notata per la prima volta nel 1950 per motivi meramente pratici: in precedenza il fenomeno non poteva essere rilevato con grande precisione e su larga scala, a causa dell'assenza di strumenti specifici, nonché di satelliti. La maggior parte delle misurazioni primitive era semplicemente relativa alla caccia a foche e balene, tramite i libri di bordo delle baleniere, che riportavano la posizione di iceberg e pack durante ogni stagione venatoria. Si ricorreva saltuariamente anche a boe e aerei a lungo raggio, durante missioni di sorveglianza di routine; le probabilità di tracciare efficacemente sia l'evoluzione sia le condizioni generiche della massa glaciale erano ovviamente scarse. Negli anni Settanta, tuttavia, il progresso aerospaziale fece passi da gigante, consentendo di posizionare in orbita strumenti di enorme valore: i primi satelliti rivelarono dunque il trend regressivo crescente nei mesi estivi, concentrato specialmente nel periodo tra luglio e settembre.

La costellazione di sorveglianza orbitale, inizialmente basata su piattaforme meteorologiche e quindi su satelliti appositamente costruiti, fu rapidamente in grado di fornire uno scenario completo delle condizioni artiche. Si è recentemente notato che la superficie glaciale dell'Oceano Artico lungo le coste di Alaska e Siberia ha iniziato a regredire, lasciando al suo posto una distesa d'acqua. Nel settembre 2007, la copertura glaciale ha raggiunto il suo record negativo, portando al tentativo di affrontare la rischiosa rotta settentrionale, detta anche Passaggio a Nord-Ovest, navigando attraverso i pericoli della Baia di Baffin.

Figura 5.

Estensione glaciale artica nei mesi di settembre 2005 e 2007

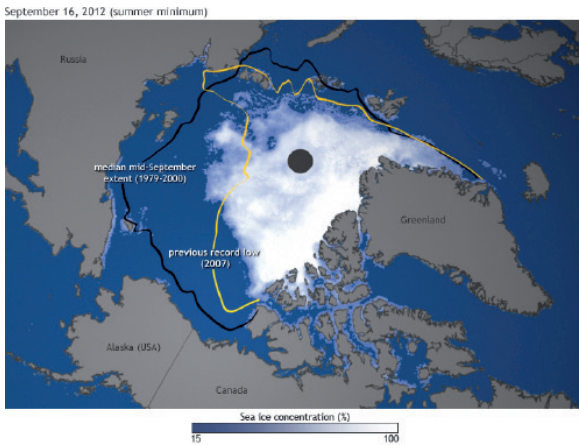


Fonte: National snow and ice data center, Boulder, CO

Il 16 settembre 2012 la situazione peggiorò ulteriormente quando la superficie glaciale raggiunse un nuovo, sorprendente minimo, ricoprendosi inoltre di pozze d'acqua sciolta, messe in evidenza dai rilievi dei satelliti; queste pozze d'acqua di fusione innescarono una crescita esponenziale di fitoplancton, come successo nel Mare di Bering Orientale.³ Quell'anno segnò una diminuzione molto accelerata, sorprendentemente non prevista da alcun modello realizzato al computer, del tipo usato in ambito governativo. Questi modelli avevano inizialmente stimato una riduzione molto più contenuta, previsioni purtroppo smentite da quel che sarebbe successo nell'Artico durante la stagione estiva del 2012. Quando si accettò il fallimento del modello predittivo, divenne parimenti chiaro che occorrevo più osservazioni dirette, il che innescò un rinnovato interesse nella ricerca sul campo.

³ Z. W. Brown, K. R. Arrigo, *Sea ice impacts on spring bloom dynamics and net primary production in the Eastern Bering Sea*, Journal of Geophysical Research, Volume 118, Issue 1, gennaio 2013.

Figura 6.
Il mese di settembre 2012 segnò un record negativo in merito alla perdita glaciale dell'Artico

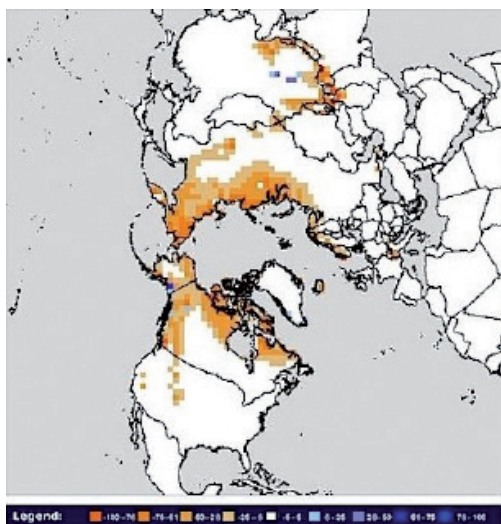


Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

L'albedo è la frazione di radiazione solare riflessa nello spazio esterno dalle superfici candide, quali neve e ghiaccio: si tratta di un fenomeno naturale, che sottolinea l'esigenza di mantenere superfici bianche al fine di evitare il surriscaldamento globale. Nel 2014, presso l'Università della California, gli scienziati si focalizzarono su questo elemento chiave del nostro pianeta, studiandone il trend tra il 1979 e il 2012; la loro disamina condusse a una scoperta drammatica. Nel corso di soli 33 anni, la percentuale dell'albedo terrestre si era infatti ridotta dal 52 al 48%. Non si trattava, sfortunatamente, di un allarme isolato: nel giugno 2012, si scoprirono più di sei milioni di chilometri quadrati parzialmente privi di neve nel Canada settentrionale e in Siberia. Ciò metteva in luce un preoccupante cambiamento rispetto alle condizioni usuali dei due Paesi, con pessime ricadute sulle condizioni della tundra. Proprio quest'ultimo punto costituiva un ulterio-

re problema, poiché anche la tundra è un importante elemento nell'assorbimento della radiazione solare.

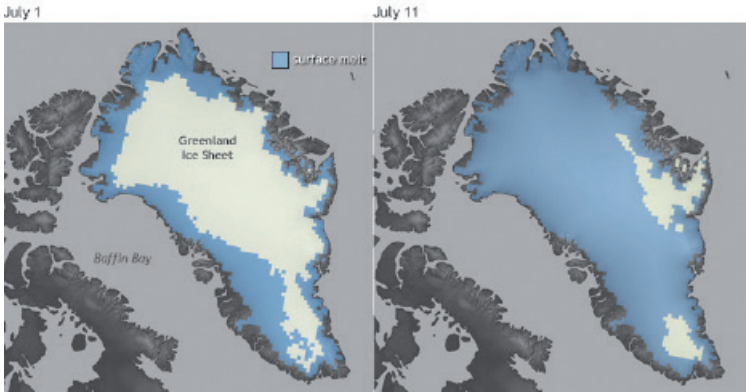
Figura 7.
Discrepanza dall'innnevamento normale, giugno 2012



Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Nel 2012, alcune fotografie satellitari rivelarono un'altra situazione preoccupante in Groenlandia: in pochi giorni, tra l'1 e l'11 luglio, l'intera coltre nevosa si sciolse nell'oceano. Il 10 novembre del 2012, la Siberia risultava più calda di 20° rispetto alla media stagionale. Ulteriori dati provenienti dal satellite gravitazionale GRACE, elaborati nel 2009, avevano già confermato il rateo accelerato di scioglimento del permafrost.

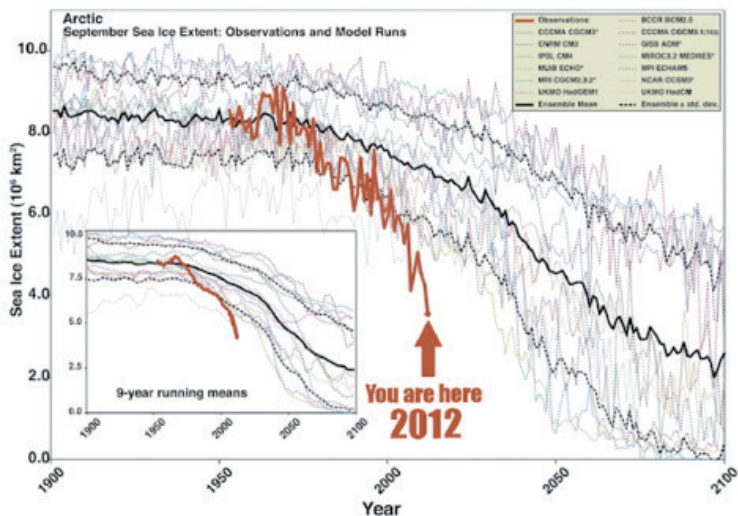
Figura 8.
In meno di un mese, nel luglio 2012, la calotta nevosa
groenlandese si è fusa completamente



Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Figura 9.

L'allarmante differenza, relativa al 2012, tra le previsioni dei modelli e l'autentico tasso di riduzione della superficie glaciale

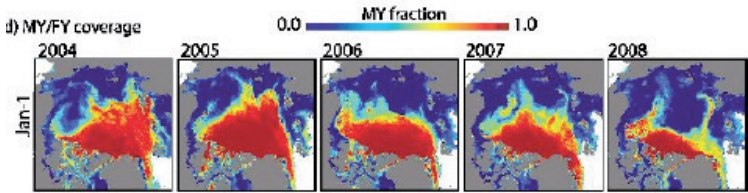


Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Se riesce a crescere per più di un anno, il ghiaccio aumenta di spessore e viene denominato MY, acronimo di Multiyear ice fraction. Sfortunatamente, le immagini satellitari scattate tra il 2004 e il 2008 mostrano che la calotta glaciale artica è diventata sempre più “giovane”, e che le aree di ghiaccio MY sono sempre più ridotte.

Figure 10.

La riduzione del Multiyear ice fraction, tra il 2004 e il 2008



Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Ulteriori indagini furono condotte da una piattaforma scientifica molto particolare, ovvero il sottomarino nucleare d'assalto britannico HMS *Tireless*, condotto dal suo equipaggio fino al Polo Nord durante una spedizione di ricerca profondamente differente dalle solite perlustrazioni anti-sottomarino. Progettati e varati allo scopo preciso di individuare, inseguire silenziosamente e affondare le loro controparti della Marina sovietica, intente a calare verso le acque dell'Atlantico nel caso di una terza guerra mondiale, i battelli della classe *Trafalgar* hanno visitato frequentemente l'Artico, studiandolo in profondità. Sfortunatamente, come già sperimentato da molte generazioni di scienziati ed esploratori, queste latitudini possono rivelarsi molto ostili all'uomo. Nel maggio 2003 il sottomarino colpì un iceberg sommerso, riportando danni estesi al ponte superiore e alla torretta. Ancora, nel 2007, il *Tireless* subì un grave incidente mentre navigava nei pressi del Polo Nord: l'esplosione di un generatore di ossigeno uccise due marinai, obbligando l'unità a una pericolosa emersione rapida, sfondando la calotta polare.

Nel marzo 2007, il sottomarino fu dotato di una speciale suite elettronica che comprendeva un sonar multibeam EM3002, ad alta capacità e focalizzato dinamicamente, installato nella cu-

pola anteriore dell'unità.⁴ Costruito in Norvegia dalla Kongsberg Maritime AS, questo strumento innovativo è stato installato all'estremità anteriore del sottomarino nell'ambito del progetto DAMOCLES, volto a misurare lo spessore dei ghiacci artici: grazie a questo sonar, l'HMS *Tireless* fu in grado di registrare immagini in alta risoluzione della copertura glaciale galleggiante, da una prospettiva davvero insolita. Dopo molti anni di panoramiche scattate da aerei e satelliti, queste sequenze furono infatti riprese direttamente da sott'acqua. Navigando silenziosamente a circa 350 chilometri di distanza dalle coste settentrionali della Groenlandia, invisibile dalla superficie, il sottomarino disegnò un tracciato preciso, registrando una quantità di preziosi dati che includevano la spaziatura delle creste prodotte dalla pressione, il loro orientamento e la frequenza, così come la differenza tra il ghiaccio giovane e quello pluriennale. Al termine di questa complessa spedizione di ricerca, divenne chiaro che il ghiaccio polare stava perdendo spessore, come già suggerito dalla ricognizione aerea e di superficie.

Figura 11.

L'HMS *Tireless* in emersione nell'Artico, nel marzo 2007



Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

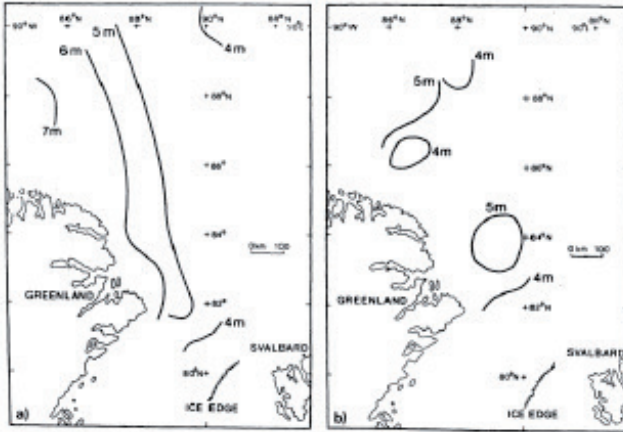
4 Nicholas Toberg and Till Wagner, *Sea Ice Properties from Submarine Multi Beam Sonar*, Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-9262, 2010.

Malgrado fossero le più dettagliate di sempre, le immagini della mappatura sottomarina del *Tireless* non sorpresero gli scienziati, poiché i segnali della fusione glaciale polare erano ormai stati colti da molto tempo, ed erano quindi già noti alla letteratura scientifica. Venticinque anni fa, nel 1990, il professor Peter Wadhams pubblicò su *Nature* un articolo relativo allo spessore della parte glaciale immersa, misurato dai sottomarini della Royal Navy tra il 1976 and 1987.⁵ Il paper descriveva come l'equipaggio di un battello britannico, nel maggio 1987, avesse seguito attentamente la rotta polare sottomarina già percorsa nell'ottobre del 1976, durante una spedizione volta a studiare il ghiaccio. L'esperimento permise di scoprire come, 400 chilometri al largo delle coste settentrionali della Groenlandia, lo spessore medio del ghiaccio fosse diminuito sin dal 1976, con una perdita del 15% su una superficie di 300.000 km² che lasciò inoltre scorgere un'ampia presenza di ghiaccio giovane. L'articolo includeva due mappe in bianco e nero, affiancate, che mostravano la Groenlandia settentrionale e le isole Svalbard; mentre la prima indicava uno spessore medio di 6 e perfino 7 metri nelle acque aperte dell'Artico, la seconda, risalente al 1987, segnalava una forte riduzione di spessore, fino a 5 e addirittura 4 metri.

5 P. Wadhams, *Evidence for thinning of the Arctic ice cover north of Greenland*, *Letters to Nature*, *Nature* 345, 28 giugno 1990.

Figura 12.

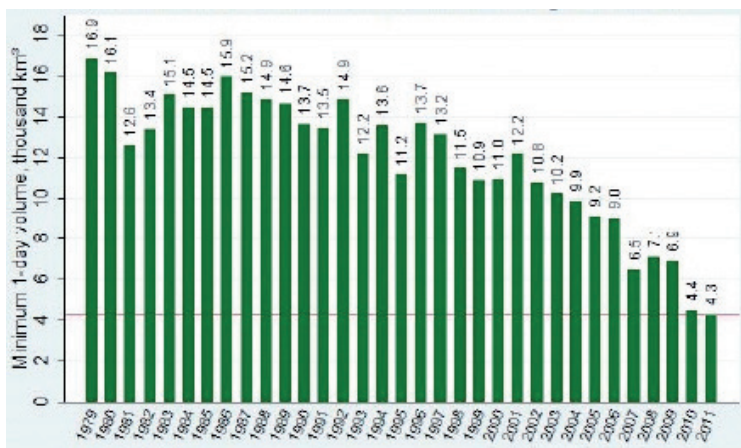
L'impressionante riduzione dello spessore glaciale medio, registrata tra l'ottobre 1976 e il maggio 1987



Fonte: P. Wadhams, *Evidence for thinning of the Arctic ice cover north of Greenland*, Letters to Nature, Nature 345, 28 June 1990

Dal 1979 al 2011 la copertura glaciale minima dell'Artico è diminuita, mentre il ghiaccio si è ristretto, perdendo gran parte del suo spessore; nel 2011, la calotta polare era ridotta a un quarto della superficie del 1979. Inoltre sembra possibile che quest'anno, a settembre, la copertura glaciale sparisca del tutto, malgrado il parziale recupero dell'anno scorso.

Figura 13.
L'enorme perdita di volume glaciale marino, tra il 1979 e il 2011



Fonte: L. Hamilton, PIOMAS

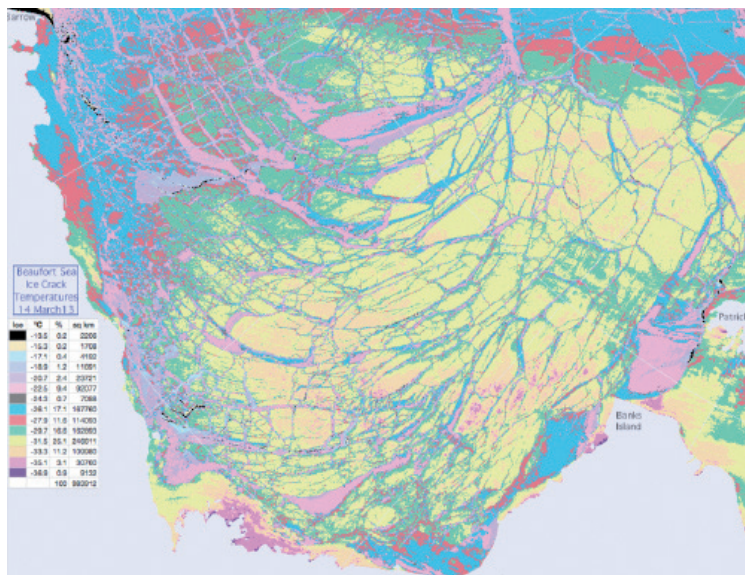
Di conseguenza, la calotta polare non è più un luogo sicuro per le spedizioni scientifiche e i loro accampamenti, né per l'atterraggio dei velivoli, poiché solamente il ghiaccio pluriennale può ospitare piste ampie e affidabili; inoltre oggi la superficie glaciale si frattura perfino nei mesi più freddi dell'inverno, a causa delle potenti forze combinate delle correnti e delle tempeste.

Una fotografia scattata il 14 marzo del 2013 sul Mare di Beaufort ne mostrava infatti le infinite fratture, causate da una tempesta, evidenziando come la superficie glaciale artica non possa più fornire un terreno saldo nemmeno in inverno. Queste insolite condizioni hanno gravemente compromesso la routine della ricerca sul campo, ormai consolidata da lungo tempo, poiché ben poche spedizioni possono avere accesso a un sottomarino nucleare d'assalto per raggiungere l'Artico. Inoltre, tra agosto e ottobre del 2012, nel Mare di Beaufort vennero segnalate onde

di cinque metri: un fenomeno in precedenza sconosciuto, a causa della compatta calotta glaciale che ne preveniva la formazione. Simili ondate, spinte dalle tempeste, possono aver a loro volta accelerato la scomparsa del ghiaccio marino.

Figura 14.

Le numerosissime crepe e fratture indicano dove un tempo il ghiaccio era spesso e formava la copertura glaciale del Mare di Beaufort. Marzo 2013



Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

D'altro canto, questa situazione avrà ricadute positive sull'esplorazione nel settore petrolifero ed estrattivo, poiché la maggior parte delle acque costiere dell'Artico è profonda solo qualche decina o centinaia di metri e, in assenza di una pericolosa copertura glaciale permanente, le multinazionali del settore ener-

getico possono intraprendere nuove esplorazioni. Le prime navi trivellatrici, in grado di posizionarsi dinamicamente, hanno già iniziato le operazioni con l'assistenza di rompighiaccio specializzati che, navigando loro intorno, rompono continuamente la pressione glaciale.

Al contempo, di pari passo con la ricerca di idrocarburi, la riduzione dei ghiacci artici consentirà a comandanti intraprendenti di sfruttare rotte commerciali precedentemente inaccessibili. È dunque prevedibile che diventerà progressivamente più semplice, per navi costruite ed equipaggiate a tale scopo, percorrere nuove rotte attraverso l'Artico, oppure lungo le coste settentrionali della Siberia, perfino durante i mesi invernali.

Box 2.

La sfida del ventunesimo secolo: le nuove rotte commerciali nell'estremo Nord

Il quadro legale e politico

La progressiva scomparsa della calotta artica, seppur temibile da un punto di vista ambientale e climatico, offre nuove possibilità per la navigazione commerciale estiva. Secondo svariate analisi economiche, un trasporto più agevole attraverso l'Artico varrebbe miliardi di dollari l'anno, sebbene il riscaldamento globale ne costerebbe trilioni. Forti interessi strategici alla base di un sicuro transito settentrionale per le navi commerciali sono tornati alla ribalta in numerose nazioni che detengono il diritto di navigazione nell'Artico, quali Danimarca, Russia, Norvegia, Svezia, Finlandia, Islanda, Canada e Stati Uniti d'America; questo fattore, unitamente alla rinnovata esigenza di esplorazioni sul campo, ha portato a una nuova, massiccia presenza umana nell'estremo Artico, poiché tutti questi Paesi vi hanno stanziato forze militari e confinarie per controllarsi a vicenda. L'unico Stato litoraneo non appartenente alla NATO, la Russia, ha messo in atto una nuova politica che prevede un intenso programma di riarmo, oltre alla ricostruzione di piste d'atterraggio abbandonate e l'invio di forze aeronavali. Nel settembre 2014, sei navi cariche di equipaggiamenti pesanti hanno raggiunto una vecchia base sovietica nell'Artico. Questa presenza complessiva e l'interesse alla sua base, inedito

sin dalla fine della Guerra Fredda, hanno sollevato nuove preoccupazioni ambientali, politiche e legali. L'entità del possibile sfruttamento permesso dalle nuove condizioni climatiche è quasi impossibile da definire, in ambiti strategici quali le risorse ittiche e la navigazione, la produzione energetica, le estrazioni minerarie.

Tutte le problematiche legali create da questa corsa ai mari artici dovrebbero essere regolate dalla Convention on the Law of the Sea, promossa dalle Nazioni Unite. Stilata nel dicembre del 1982, questa fondamentale convenzione ha stabilito la libertà di navigazione con una zona d'eccezione relativa alle acque territoriali estesa per dodici miglia, nonché una zona economica esclusiva di 200 miglia al largo delle coste di ogni Paese coinvolto. Il testo ha inoltre creato un importante meccanismo per la risoluzione dei conflitti, ovvero l'United Nations Continental Shelf Commission, insieme all'International Seabed Authority. Oltre a ciò, le uniche cinque nazioni confinanti l'Artico – Groenlandia e Danimarca, Canada, Norvegia, Russia, Stati Uniti – hanno firmato il 28 maggio 2008 a Ilulissat, in Groenlandia, una dichiarazione sulla sovranità artica.

Ciò nonostante persistono numerose diatribe, quali ad esempio le rivendicazioni sulla proprietà della dorsale sottomarina detta Lomonosov Ridge, oppure il contenzioso tra Canada e Stati Uniti sui reciproci confini nel Mare di Beaufort. Il 9 dicembre 2013, il Canada ha inoltrato domanda presso le Nazioni Unite, rivendicando la proprietà del Polo Nord e dell'area circostante: ciò ha indotto il Cremlino, il giorno successivo, a ordinare l'immediato incremento della presenza militare russa nell'Artico. Un anno più tardi, il 15 dicembre 2014, la Danimarca ha rivendicato presso le Nazioni Unite la proprietà di 900.000 chilometri quadrati, situati a nord della Groenlandia.

Nuove rotte commerciali sul tetto del mondo

Poiché il fenomeno della riduzione del ghiaccio marino è destinato a durare nei prossimi anni, insieme alla formazione di ghiaccio molto più giovane e sottile, la navigazione nell'Artico – specialmente a settembre, quando il ghiaccio raggiunge usualmente il suo punto di minor espansione – non è più un miraggio. Nel 2007, per la prima volta nella storia moderna, la cosiddetta Northern Sea Route che collega il Pacifico all'Atlantico attraverso le acque siberiane, è stata trovata priva di ghiaccio. Sebbene sia ancora pericolosa,

questa rotta consente una riduzione del 30% del tempo necessario a navigare da Shanghai ad Amburgo, se paragonata alla consolidata rotta che attraversa il Canale di Suez. Si è rapidamente compreso che, malgrado tutti i rischi che ancora sussistono, la rotta settentrionale è ormai libera dal ghiaccio per due mesi l'anno, contro le pochissime settimane di dieci anni fa, e questa nuova situazione è stata immediatamente sfruttata. Il 2010 fu l'anno della svolta, con quattro navi cargo in grado di completare con successo la pericolosa Northern Sea Route; divennero trentaquattro nel 2011, quarantasei nel 2012, settantuno nel 2013, ventidue nel 2014.⁶ Nel 2012, per la prima volta nella storia, perfino un'enorme nave metaniera carica di 134.738 metri cubi di gas naturale liquefatto completò la rotta in inverno, salpando dalla Norvegia per il Giappone e risparmiando venti giorni di viaggio e circa 1.000 tonnellate di costoso carburante, rispetto alla rotta tradizionale, via Suez.

Malgrado la promessa di un percorso più breve, che giustifica gli ingenti investimenti promossi da Mosca, la rotta rimane altamente rischiosa e potenzialmente colma di ostacoli, anche nel periodo estivo. Iceberg, tempeste e condizioni meteo disumane obbligano spesso i comandanti a richiedere la costosa assistenza di uno o più rompighiaccio, la cui flotta altamente specializzata naviga perlopiù sotto la bandiera russa.⁷ Una simile spesa, che può raggiungere i 400.000 dollari, vanifica il risparmio consentito da questa rotta più breve, tanto più se si considera la necessità di un'assicurazione addizionale per l'equipaggio e per la nave stessa. Oltretutto, a causa del carattere imprevedibile delle condizioni marine, la rotta settentrionale è stata sfruttata soprattutto da grandi navi cargo e petroliere, mentre le rigide scadenze imposte alle portacontainer non sono compatibili con i possibili ritardi che un ambiente così estremo può provocare. Nuovi progetti sono in corso di sviluppo, al fine di rispondere a questi nuovi requisiti, come ad esempio l'innovativa LNG tanker o metaniera specificamente progettata per resistere al ghiaccio dalla compagnia estrattiva russa Novatek, per sfruttare la Northern Sea Route.

Ancora più ostica è la rotta che corre attraverso il Passaggio a Nord-Ovest, un percorso ad alto rischio ed elevati guadagni esteso lungo le coste

6 Fonte: The Northern Sea Route Information Office, Website: http://www.arctic-lio.com/nsr_transits.

7 Attualmente, i rompighiaccio disponibili nell'Artico salpano sotto la bandiera canadese (sei), statunitense (due) e russa (trenta, tra cui un'unità a propulsione nucleare).

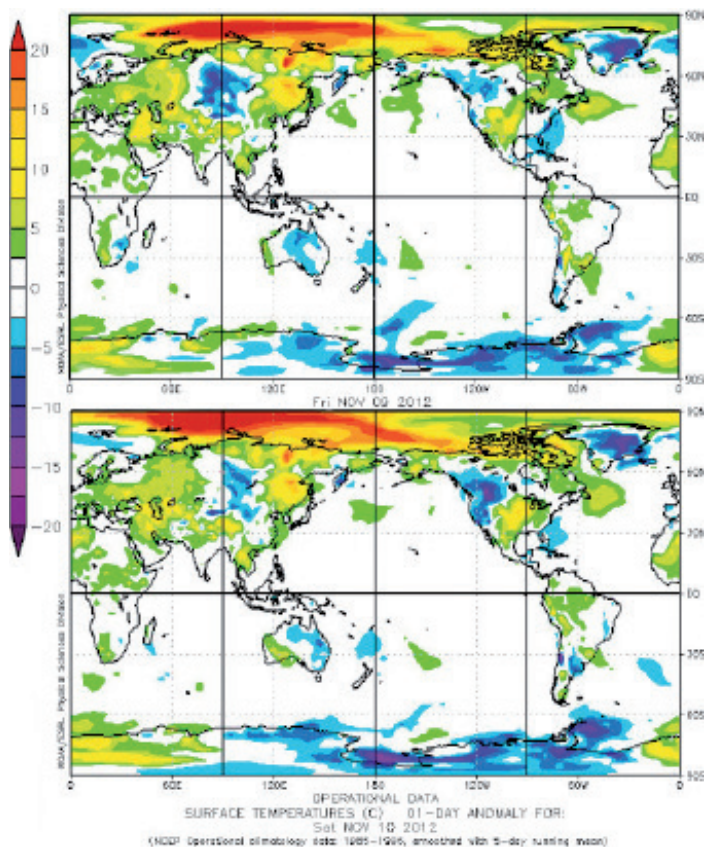
nordamericane attraverso l'Arcipelago Artico Canadese, in precedenza proibito alle grandi navi e accessibile solamente a piccoli cargo adibiti al rifornimento delle comunità canadesi più isolate. Prima ancora, questa rotta impegnativa era stata percorsa dall'esploratore Roald Amundsen, tra il 1903 e il 1906, e cercata invano da generazioni di navigatori europei, alla ricerca di una via più agevole per il commercio con l'Asia. Il record moderno fu stabilito nel settembre 2013 da una nave di 223 metri per 75.000 tonnellate di stazza, carica di carbone da stufa canadese: si trattava della Nordic Orion, appositamente progettata in Giappone con uno scafo rinforzato. Questa rotta è particolarmente pericolosa a causa della profondità di circa 15 metri all'uscita orientale e di ulteriori rischi comportati dal ghiaccio galleggiante e dalle condizioni meteorologiche estreme, oltre che dalla costante mancanza di ripari lungo il percorso.

La *Transpolar Sea Route*, denominata anche *Trans-Arctic Route*, è la terza rotta commerciale che collega l'Atlantico all'Oceano Pacifico e perlopiù attraversa acque internazionali al centro l'Oceano Artico. Attualmente inaccessibile alle navi non specificamente configurate come rompighiaccio pesanti, questa rotta diverrà probabilmente più percorribile per le navi cargo entro il 2030, a causa della persistente regressione del ghiaccio marino. Ci si attende un notevole incremento dell'importanza di questa rotta in futuro, poiché non accede ad alcuna delle zone economiche esclusive dei vari Stati litoranei. Significativamente, una delle prime navi a sfruttarla è stata, nel 2012, un rompighiaccio adibito alla ricerca scientifica, la nave cinese Xuè Lóng.

In conclusione, tutte le rotte settentrionali aperte dalla regressione del ghiaccio polare restano pericolose, esposte a rischi notevoli malgrado la loro innegabile vantaggiosità in termini di risparmio di tempo e carburante. Occorre inoltre considerare che qualsiasi incidente, dovuto ad esempio a incendi, collisioni o danni allo scafo, innescerebbe una catastrofe ambientale in una delle aree più estreme del pianeta. La combinazione di ghiaccio galleggiante, vento e condizioni marine renderebbe impossibile qualsiasi tentativo di porre rimedio a sversamenti di combustibile o al recupero di un relitto, mentre i microbi marini sarebbero particolarmente lenti nell'aggreddire e distruggere i prodotti chimici dispersi. Infine, queste rotte così estreme possono contare su pochi porti in grado di fornire soccorso e riparo ove necessario.

Figura 15.

Anomalie delle temperature di superficie, registrate il 10 novembre 2012. In rosso le temperature eccessive, chiaramente concentrate nella regione artica



Fonte: Dati operativi climatologici NCEP

Questo trend in aumento porterà a un rateo accelerato dell'innalzamento dei mari in tutto il mondo, nonché della temperatura di superficie del pianeta. Questi sono solamente alcuni

esempi di un problema ben più ampio, su scala globale. Nel 2009 è stato stimato che entro l'anno 2100 il livello del mare aumenterà in media di 1,2 metri, molto più di quanto previsto in precedenza: un chiaro problema per Venezia, la Polonia e l'Inghilterra orientale e un potenziale disastro per il Bangladesh, oltre che la quasi sicura evacuazione di città costiere quali Miami e New Orleans. Oltretutto, in ogni angolo del mondo la probabilità di alluvioni aumenterà notevolmente, a causa dell'aumento del livello del mare, a sua volta incrementato dalle maree, dai venti e dalle tempeste.

2. La minaccia posta dai giacimenti artici offshore di metano

Mentre vasti giacimenti terrestri di metano si trovano in superficie in varie parti del mondo, molti altri sono celati sott'acqua, sui fondali, sotto forma di idrati. Gli idrati di metano rappresentano una duplice sfida per l'umanità: se sfruttati in modo efficiente possono fornire un'immensa riserva energetica, mentre, se disciolti nell'oceano a causa del riscaldamento globale, possono intensificare pericolosamente l'effetto serra.

Box 3.

Gli idrati di metano: una ricca fonte energetica per il futuro, una grave minaccia dal passato

Curiosamente simili a frammenti di ghiaccio bianco dall'aspetto sporco e polveroso, gli idrati di metano, chiamati anche hydro-methane, fire ice o methane ice, fanno parte della famiglia dei clatrati, caratterizzata in scala molecolare da una struttura composta da minuscole celle a forma di cristallo, ognuna delle quali contiene una molecola diversa. Negli idrati di metano questa cella è composta d'acqua, mentre la molecola contenuta all'interno è metano; si viene così a creare una solida struttura di clatrato basata su un insieme microscopico di cristalli d'acqua.

Stranamente sconosciuti ai più, gli idrati, in realtà, costituiscono potenzialmente una risorsa inestimabile: se fossero sfruttati, fornirebbero un approvvigionamento energetico superiore a quello garantito da ogni altra riserva di petrolio, gas e carbone della Terra. Esistono nello spazio esterno, ai confini del nostro sistema solare, così come sul nostro pianeta. Questo gas prezioso, perlomeno in mare, viene prodotto lentamente e ammassato dall'attività

microbica del fondale, che si alimenta decomponendo i resti di alghe, animali, plankton e materia vivente, un processo chiamato metanogenesi poiché basato sui microbi metanogeni. Siccome la biomassa organica è decomposta e viene mangiata prima di raggiungere il fondale nei mari profondi, il metano può essere prodotto dai microbi solamente sui margini continentali, che risalgono dagli abissi a una profondità media di 500 metri.

Potenzialmente notevoli in termini di output energetico, questi idrati possono formarsi e sopravvivere in presenza di una forte pressione, superiore alle 35 atmosfere, e di temperature molto ridotte – oppure, in mari caldi, caratterizzati da una pressione enorme. In assenza di tali requisiti, i miliardi di microscopiche cellette collassano, rilasciando le molecole di gas. Naturalmente, qualora la temperatura dell'acqua sia particolarmente fredda, i giacimenti di idrati possono trovarsi anche in prossimità delle coste. È il caso dei giacimenti artici, particolarmente ricchi di metano, che si possono individuare sul margine continentale a meno di 200 metri di profondità o anche sulla superficie, poiché il permafrost artico non si scioglie.⁸

Gli idrati di metano. Una bomba a orologeria dimenticata?

Sfortunatamente, malgrado tale potenziale energetico, il metano presenta anche un rovescio della medaglia: si tratta infatti di un gas serra pericoloso, e i giacimenti di idrati che ricoprono tutti i margini continentali del mondo possono rilasciarne una quantità immensa. Al momento, stime non del tutto attendibili hanno valutato tali giacimenti nell'ordine di 1000/5000 gigatonnellate, il cui parziale rilascio (innescato, ad esempio, da temperature più miti nelle acque profonde o sulla terraferma artica) avrebbe conseguenze catastrofiche per la vita sulla Terra.

Ad esempio, scienziati e paleontologi tendono a collegare cospicue emissioni di metano nell'atmosfera alla Grande Estinzione del Permiano, risalente a 252 milioni di anni fa e successiva a un aumento della temperatura di 6° C. La maggior parte delle forme di vita marine fu spazzata via, con la perdita del 96% del totale, così come del 70% dei vertebrati terrestri. Oggi la teoria definita "clathrate gun hypothesis", che ipotizza appunto un massiccio rilascio di metano dal fondale e dal permafrost, è ritenuta tra le più valide spiegazioni

8 Gli idrati di metano possono essere custoditi anche dai laghi più profondi, come il Baikal in Siberia, non solamente dagli oceani e dal permafrost terrestre.

per quel remoto evento, che riuscì quasi a estinguere la vita sul nostro pianeta.⁹ L'enorme distanza cronologica che ci separa da quel lontano incubo, che fortunatamente nessun essere umano si trovò mai a vivere, non dovrebbe rassicurarci: nel 2008, il processo di destabilizzazione dei clatrati artici è stato inserito nella lista dei quattro peggiori scenari relativi a un improvviso cambiamento climatico, da parte dell'United States Department of Energy's National Laboratory System così come dall'United States Geological Survey's Climate Change Science Program.¹⁰

Il metano, oltretutto, lascia l'oceano sotto forma di anidride carbonica, impoverendo la percentuale di ossigeno dell'oceano e aumentandone l'acidificazione. Questo processo può esser già stato innescato dal riscaldamento globale. Nel 2008, al largo dell'isola di Spitsbergen, perdite di gas dal fondale sono state rilevate a una profondità di 350 metri, innescate dallo scioglimento di idrati di metano, mentre ogni giorno la piattaforma siberiana orientale perde 600-630 mg di metano al metro quadrato. Milioni di tonnellate di metano vengono rilasciate dalle crepe nel permafrost subacqueo del Mare di Laptev, così come nel Mare Siberiano Orientale, a causa sia del riscaldamento geologico del suolo, sia del notevole aumento delle acque trasportate da svariati fiumi siberiani.

Come minaccia finale, uno scioglimento diffuso e generale degli idrati di metano minerebbe sensibilmente la stabilità della piattaforma continentale e dei suoi pendii, poiché queste strutture dalla forma di ghiaccio fungono da adesivo naturale: ciò potrebbe causare enormi frane sottomarine, terremoti e tsunami.

Gli idrati di metano. Una risorsa per il futuro?

Spinte dai costi in ascesa degli idrocarburi da destinare alla produzione di combustibili, nonché dalla cronica instabilità che affligge tante aree ricche di giacimenti, numerose compagnie hanno iniziato a manifestare interesse verso

9 In particolare, questa teoria si basa sul riscaldamento globale, innescato dallo scioglimento degli idrati di metano più esposti. Questo processo avrebbe aumentato le temperature mondiali, sciogliendo altri depositi di idrati e continuando un processo letale e inarrestabile.

10 Clark et al., *Abrupt Climate Change. A report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*, U.S. Geological Survey, dicembre 2008.

gli idrati di metano, specialmente a Taiwan, in India e Cina, in Corea del Sud e in Giappone. Gli idrati avrebbero il vantaggio di offrire una fonte energetica non solo immensa, ma anche pulita: già oggi, le centrali alimentate a gas naturale hanno un impatto ambientale ridotto, se paragonate ai tradizionali impianti a carbone. Sfortunatamente, la fattibilità di un simile sfruttamento resta ignota, a causa di difficoltà tecniche e alla posizione remota dei giacimenti già noti.

Malgrado i crescenti sforzi tecnologici, la fattibilità economica dello sfruttamento degli idrati rimane problematica, poiché le loro minuscole celle hanno la tendenza a sciogliersi quando l'intero ammasso è portato in superficie, alla presenza di pressioni sempre più ridotte. Ciò comporta una sfida scientifica e tecnologica. Finora, è stato ritenuto sicuro e possibile lo sfruttamento di idrati sepolti ad almeno 100 metri di profondità nel sedimento fine, con la consapevolezza che un incremento di pressione di 10 atmosfere, o superiore, disintegrerebbe i preziosi idrati, rilasciandone il nocivo contenuto nell'acqua. È stato suggerito che il miglior modo di trattare un giacimento sottomarino di idrati consisterebbe in una precisa, delicata trivellazione laterale e subduttiva: il metano fluirebbe nelle cavità e ne sarebbe pompato fuori, utilizzando le tecniche attualmente sfruttate nell'ambito del "fracking", sebbene a costo elevato. Invece, nel 2008, un team giapponese e canadese è riuscito a estrarre idrati di metano da giacimenti di terraferma, abbassando la pressione, grazie alla protezione di uno spesso strato di permafrost, presso il sito Malik sul delta del fiume Mackenzie. I successivi test di laboratorio hanno confermato che il metano può essere estratto con successo, riscaldando semplicemente gli idrati circostanti, o variandone la pressione. Ulteriori test sono stati condotti sul campo in Alaska.

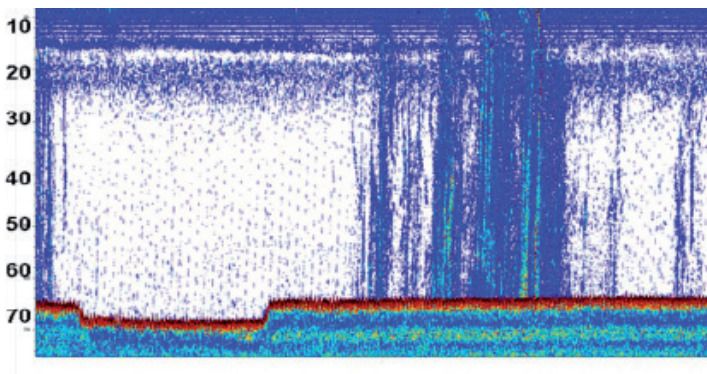
In Giappone, più recentemente, un importante programma di ricerca e sviluppo è stato lanciato dalla Japan National Oil Corporation, dalla Japanese Petroleum Exploration e dall'United States Department of Energy presso il sito Nankai Trough, una zona subduttiva contenente un ampio giacimento di clatrati, che ammonta a 16/27 bilioni di metri cubi. Questo programma ambisce principalmente a sfruttare commercialmente gli idrati, oltre che a sviluppare un sito adibito allo studio scientifico per affinare le procedure di sicurezza richieste in futuro nell'ambito di attività estrattive così rischiose. Tuttavia, nonostante alcuni tentativi al largo delle coste giapponesi, lo sfruttamento

dei giacimenti offshore di idrati rimane un obiettivo ancora remoto, a causa di problemi fondamentali inerenti alla sua fattibilità tecnologica, economica e ambientale.

Studiata da molteplici progetti di ricerca europei, questa seria minaccia è correlata alla peculiare topografia del mare artico, le cui acque costiere sono poco profonde (in media meno di 100 metri, come ad esempio lungo la Siberia). Queste linee costiere, che erano solitamente gelate, anche in estate, sono ora interessate da distese di acque aperte. Sfortunatamente, un effetto secondario della scomparsa della consueta copertura glaciale consiste nel rilascio di bolle di metano dal fondale, come già notato lungo il margine artico orientale della Siberia, e soprattutto nel Mare di Laptev. Alla fine del settembre 2007, acque superficiali insolitamente calde hanno raggiunto i fondali costieri, la cui temperatura ha raggiunto i 3 gradi, molto prossimi alla temperatura di scioglimento degli idrati di metano, che non possono rimanere coesi senza la pressione normale.

Un'immagine preoccupante, ritratta dal sonar a una profondità di 70 metri, mostra chiaramente come il sedimento si sia sciolto, minacciando gravemente il permafrost del fondale e rilasciando continuamente colonne e scie di metano dagli enormi depositi di idrati al disotto. Una volta in superficie, queste bolle rilasciano metano nell'atmosfera, accelerando il riscaldamento globale.

Figura 16.
Colonne di metano rilasciate da giacimenti di idrati danneggiati nel fondale, ritratte dal sonar



Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

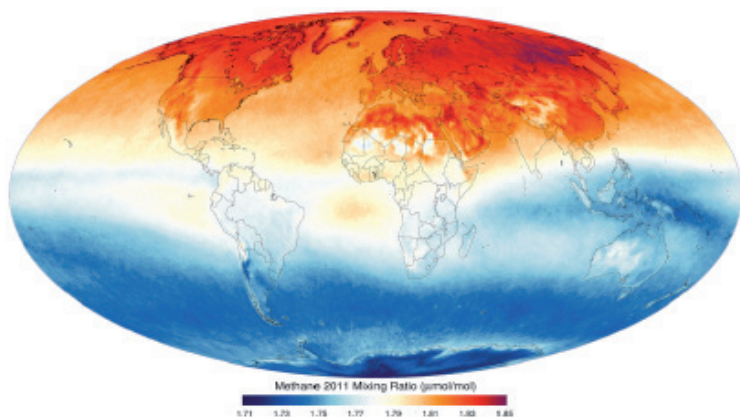
Figura 17.
Le stesse fuoriuscite di metano, in risalita verso la superficie



Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Questo fenomeno, sfortunatamente, è andato intensificandosi di anno in anno, estendendosi ad aree sempre più grandi del fondale. Una volta nell'atmosfera, il metano si diffonde rapidamente ed è dunque difficile capire da dove provenga, malgrado prove attendibili ne indichino la provenienza principale dalla piattaforma artica, e la sua principale concentrazione sul polo settentrionale del pianeta, nel mese di maggio 2011.

Figura 18.
Concentrazione di metano (in rosso),
ritratta nel maggio 2011

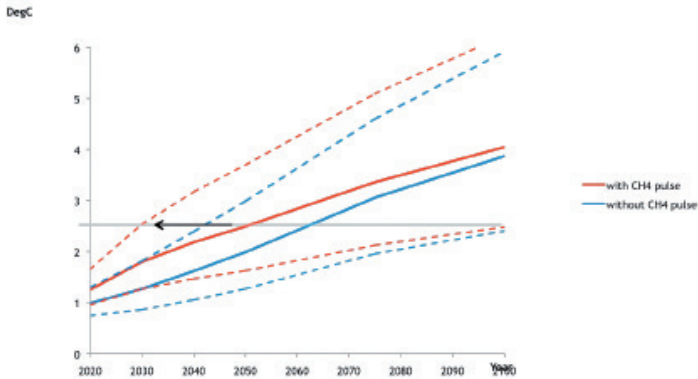


Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

L'Università di Cambridge ha cercato di prevedere le evoluzioni future di questo trend, proponendo tre differenti scenari relativi all'effetto del metano sulle temperature globali, in presenza e in assenza del suo rilascio. Tutti questi scenari evidenziano l'incremento futuro del riscaldamento globale, e prospettano un aumento più accentuato in presenza di emissioni di metano.

Figura 19.

L'effetto del rilascio di metano sulle temperature globali, in previsione di un rilascio di 50 giga-tonnellate tra il 2015 e il 2025, in base a tre scenari



Fonte: P. Wadhams, *Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World*, Outline presentation

Tra il 1978 e il 2008, anche il permafrost terrestre dell'Alaska ha cominciato a sciogliersi. Una serie di analisi su scala decennale, svolta a Deadhorse a una profondità di 20 metri, ha rivelato nel 2008 un'allarmante aumento della temperatura. Dovrebbe dunque risultare chiaro che il metano costituisce un rischio reale e immediato, che richiede di esser controllato ogni anno.

Il riscaldamento dell'Artico, oltre a comportare la minaccia causata dal metano, può anche alterare il corso della corrente a getto. Poiché la differenza di temperatura tra i tropici e l'Artico si sta rapidamente riducendo, la corrente a getto scorre più lentamente, anche se – ironicamente – l'aria fredda artica ha iniziato a diffondersi a sud negli Stati Uniti settentrionali e nel Midwest, così come in Europa. Il fenomeno dell'amplificazione artica sta riducendo l'usuale variabilità delle temperature della stagione fredda nell'emisfero settentrionale, con frequenti e inedite infil-

trazioni di grandi masse di aria artica nelle basse latitudini.

Questo cambiamento minaccia la stabilità del tempo atmosferico in una delle aree più importanti del pianeta, poiché l'emisfero settentrionale custodisce la maggior parte dei suoi terreni coltivati. La perdita di questi ultimi, progressiva o anche solamente parziale, avrebbe ovviamente un gravissimo impatto sulla produzione del cibo, anche se l'attuale trend del riscaldamento globale dovrebbe comportare un aumento di $3/4^{\circ}$ C nel prossimo futuro. Sfortunatamente, i suoi effetti peggiori sono attesi per la fine di questo secolo, insieme a una netta impennata demografica: una combinazione molto rischiosa, che può innescare gravi conflitti per l'accesso alle risorse di base, condannando miliardi di persone alla fame. I prezzi del cibo aumenterebbero di conseguenza e, mentre i Paesi occidentali sarebbero comunque in grado di farvi fronte, altre nazioni potrebbero non riuscirci.

Quel che è peggio è che la circolazione termoalina, una componente fondamentale della più ampia circolazione marina, si sta indebolendo. Poiché le correnti sono spinte da differenti gradienti di densità, causati dai flussi di acqua dolce e dal calore superficiale, un rilevante cambiamento della temperatura globale avrebbe un significativo impatto sulla circolazione termoalina. Entro la fine del secolo, la maggior parte dell'Europa sarà più calda di 4° , Italia inclusa, mentre il Nord Atlantico sarà più freddo, con un clima più rigido in Norvegia e nel Regno Unito.

In conclusione, il riscaldamento globale causato dalla CO_2 si sta intensificando nell'Artico, la cui calotta glaciale si sta ritirando più rapidamente che in passato, con un impatto notevole sia sul livello globale dei mari sia sull'albedo dell'intero pianeta. Sono stati avanzati numerosi progetti di geoingegneria, che sono però privi di qualsiasi garanzia; purtroppo, l'umanità sembra incapace di raggiungere il suo scopo primario, ovvero la cessazione delle emissioni di anidride carbonica, il prima possibile.

Box 4.

Dai velieri di legno alle navi in acciaio. Una cronologia dell'esplorazione artica

Nel 2003, un team russo ha scoperto un sito inedito, costruito dall'uomo lungo il fiume Yana in Siberia e risalente circa al 28.000 a.C. Un altro sito preistorico della medesima epoca, risalente al 28.000-30.000 a.C., è stato individuato da un team russo e norvegese lungo il fiume Usa.

- 330 a.C.** *L'avventuriero e mercante greco Pytheas scrive il primo resoconto relativo ai mari polari oltre le coste scozzesi, comprendente la prima descrizione a noi tramandata di fenomeni tipicamente settentrionali, quali il ghiaccio galleggiante, l'aurora boreale, il sole di mezzanotte.*
- 870 d.C.** *Un gruppo di marinai e scorditori norreni scopre l'Islanda: tra di essi vi è il leggendario Floki Vilgerdardson. Quattro anni più tardi, il comandante norvegese Ingólfur Arnarson e sua moglie, Hallveig, sarebbero diventati i primi coloni dell'isola, a Reykjavik.*
- 983 d.C.** *Il leggendario comandante norreno Erik Thorvaldsson, o Erik il Rosso, scopre la Groenlandia dopo esser cresciuto in Islanda ed esserne stato esiliato.*
- 1496** *L'esploratore russo G. Istoma raggiunge la costa di Murman, fino a Novaya Zemlya. Due colleghi esploratori, D. Zaytsev e D. Ralev, lo seguiranno nel 1497.*
- 1575** *Nel corso di svariate spedizioni, estese fino al 1577, il corsaro britannico Sir Martin Frobisher raggiunge Baffin Island.*
- 1594** *Spinto dalla diffusa urgenza europea di individuare un passaggio più conveniente per l'estremo oriente, l'esploratore olandese Willem Barents o Barentsz inizia la prima di tre spedizioni, alla ricerca del mitico Passaggio Nord-Orientale, scoprendo l'isola di Spitsbergen nel Mare di Kara. Nel 1596, intrappolato dal ghiaccio che ne distrugge la nave, sopravvive a un crudele inverno trascorso a Novaya Zemlya, diventando, insieme al suo malconco equipaggio, il primo europeo ad aver superato il durissimo inverno polare. Muore nel giugno 1597, cercando di lasciare il Circolo Artico a bordo di due piccole imbarcazioni. Il suo cognome sopravvive tuttora nel toponimo del Mare di Barents.*
- 1605** *Alcuni esploratori danesi raggiungono la Groenlandia, alla ricerca*

delle colonie norrene perdute.

- 1607** *L'inglese Henry Hudson salpa per tre volte alla ricerca di un passaggio sicuro per l'Asia, avventurandosi nell'Oceano Artico a bordo della sua Discovery e cartografando la Baia di Hudson, che ne porta il nome. Intrappolato dai ghiacci, viene abbandonato alla deriva dal suo equipaggio ammutinato, e non viene mai più ritrovato.*
- 1614** *Alcuni marinai olandesi e francesi scoprono l'isola di Jan Mayen.*
- 1732** *Vitus Bering conduce varie spedizioni, per mare e per terra, sotto le insegne dell'Ammiragliato russo, lungo le coste siberiane ancora sconosciute. Chiamate le Grandi Spedizioni Nordiche, queste campagne durano per vent'anni e vedono la partecipazione di un famoso fisico, Mikhail Lomonosov, che studia e cartografa per la prima volta i ghiacci e le correnti artiche.*
- 1776** *I vascelli inglesi Discovery e Resolution, al comando del capitano James Cook, navigano fino allo Stretto di Bering alla ricerca del Passaggio a Nord-Ovest, prima di essere arrestati dal pack.*
- 1819** *L'inglese British William Edward Parry naviga per la prima volta nell'Arcipelago Artico, alla ricerca del Passaggio a Nord-Ovest. Bloccato dal ghiaccio, trascorre l'inverno a Melville Island.*
- 1819** *Nel frattempo, il capitano inglese John Franklin cerca di incontrarsi con il suo compatriota Parry nel corso di un pericoloso viaggio in canoa. Il tentativo è fallimentare e undici dei suoi venti uomini muoiono di fame.*
- 1821** *Malgrado il disastro della spedizione di Franklin, William Edward Parry riparte a bordo di due navi, Hecla e Fury, raggiungendo sia lo Stretto di Hudson sia Baffin Island.*
- 1824** *Nel corso della terza spedizione, la nave di Parry, Fury, viene distrutta dal ghiaccio e abbandonata lungo la costa. L'Hecla ne soccorre l'equipaggio, rientrando in Inghilterra.*
- 1831** *Un ex ufficiale di Parry, James Clark Ross, salpa alla ricerca del Passaggio a Nord-Ovest. Raggiunge per la prima volta il Polo Nord Magnetico, restando tuttavia intrappolato nel ghiaccio per svariati inverni senza poter tornare in Inghilterra per altri quattro anni.*
- 1845** *Una delle spedizioni più celebri di tutti i tempi salpa alla ricerca del*

mitico *Passaggio a Nord-Ovest*; è composta da 129 uomini a bordo delle navi *Erebus* e *Terror*, comandate da Sir John Franklin. Malgrado sia un navigatore esperto, con già tre spedizioni artiche al suo attivo, Franklin rimane intrappolato dal ghiaccio dello Stretto di Victoria, nell'Artico canadese: nessun membro del suo equipaggio, nemmeno Franklin stesso, sopravvive. Lo choc scatenato in Gran Bretagna e nel mondo dalla perdita di entrambi i vascelli avrebbe portato a vari tentativi di soccorso, a partire dal 1848, con l'impiego di ben tredici navi nel 1850. Malgrado tali sforzi e la scoperta di alcune tombe, e malgrado John Rae scoprisse nel 1854 che gli Inuit erano in possesso di alcuni oggetti provenienti dai relitti, il mistero sarebbe rimasto insoluto fino al 2014. Il 9 settembre, infatti, avvenne il sensazionale ritrovamento del relitto della *Erebus* nel *Queen Maud Gulf* da parte della *Victoria Straits Expedition*, grazie all'impiego di una sonar a scansione laterale.

- 1878** Il *Passaggio a Nord-Est* viene attraversato per la prima volta dallo scienziato ed esploratore finlandese, Nils Adolf Erik, barone Nordenskiöld, a bordo della sua nave, la *Vega*.
- 1879** Il tenente della Marina statunitense George Washington DeLong tenta di raggiungere il Polo Nord da San Francisco attraverso lo Stretto di Bering, a bordo della sua nave a vapore, la *USS Jeannette*. Il tentativo si risolve in una tragedia, con la perdita della nave e la sopravvivenza di pochi membri dell'equipaggio, in Siberia.
- 1882** L'esploratore americano Adolphus Greeley cerca di installare un punto d'osservazione a Ellesmere Island. Sopravvivono solo sei dei ventiquattro membri del suo equipaggio.
- 1886** Robert Peary, ufficiale della Marina statunitense, organizza otto spedizioni artiche, esplorando la Groenlandia e affermando di aver finalmente raggiunto il Polo Nord nel 1908.
- 1903** Il celebre esploratore norvegese Roald Amundsen è il primo a navigare attraverso il *Passaggio a Nord-Ovest*.
- 1910** La Marina zarista lancia la *Spedizione artica russa oceanografica* lungo le coste occidentali della Siberia, un successo scientifico reso possibile grazie ai rompighiaccio Tamyra e Vaygach.
- 1928** L'esploratore italiano Umberto Nobile cerca di raggiungere il Polo

Nord a bordo del dirigibile Italia. Malgrado la rischiosa missione sia coronata dal successo, l'aeronave, appesantita dalle formazioni di ghiaccio, si schianta sul pack il 25 maggio, con la perdita di sei uomini. I superstiti saranno soccorsi grazie a uno sforzo internazionale che avrebbe visto la morte di Roald Amundsen in un incidente aereo.

- 1930** *Un primo tentativo di raggiungere il Polo Nord navigando sott'acqua è messo in atto da Sir Hubert Wilkins, mediante un sommergibile acquistato appositamente. La vecchia nave, risalente al 1916 e acquistata al prezzo di un solo dollaro, viene danneggiata nel 1931 dal ghiaccio al largo di Spitsbergen.*
- 1958** *Sotto la spinta della Guerra Fredda, un tentativo ben più avanzato dal punto di vista organizzativo e tecnologico viene messo in atto dalla Marina statunitense, mediante il sottomarino nucleare Nautilus, che raggiunge il Polo Nord, mentre nel 1958 un altro battello a propulsione nucleare, lo USN Skate, emerge con successo al Polo Nord. Queste crociere rischiose e pionieristiche aprono la strada a centinaia di pattugliamenti armati sotto i ghiacci artici, condotti sia da sottomarini della NATO sia da unità sovietiche; a partire dal 1993, ricercatori e oceanografi civili hanno ricevuto il permesso di prender parte a crociere polari a bordo dei sottomarini nucleari della NATO, quali le Scientific Ice Expeditions (1995-1998).*
- 1968** *L'esploratore statunitense Ealph Plaisted raggiunge il Polo Nord a bordo di motoslitte, partendo dalla Ward Hunt Island. La sua posizione finale viene confermata da un velivolo dell'aviazione statunitense.*
- 1977** *Il 17 agosto, il rompighiaccio sovietico Arktika diventa la prima nave di superficie a raggiungere il Polo Nord.*
- 1995** *L'esploratore polacco Marek Kamiński diventa il primo uomo ad aver raggiunto il Polo Nord, a piedi e in solitaria.*
- 2000** *L'esploratore britannico David Hempleman-Adams raggiunge il Polo Nord a bordo della mongolfiera Britannic Challenge, decollando e rientrando alle Svalbard.*
- 2007** *Per la prima volta, nel corso della missione Arktika 2007, un minisottomarino MIR russo varato dall'Akademik Fedorov si posa sul fondale del Polo Nord, lasciandovi uno speciale contenitore*

di titanio che custodisce la bandiera russa. Il fondo è raggiunto alla profondità di 4.261 metri.

VOLUMI PUBBLICATI DALLA FONDAZIONE ENI ENRICO MATTEI

NELLE COLLANE FEEM PRESS

The Global Revolution of Unconventional Oil: New Markets, New Governances, New Policies, di John M. Deutch, Milano, FEEM Press, Collana Economia e Società, 1/2014

Islam and Modernity: an Unconventional Perspective, di Tarek Heggy, Milano, FEEM Press, Collana Economia e Società, 2/2014

The Ukraine Debacle, di Anatol Lieven, Milano, FEEM Press, Collana Economia e Società, 3/2014

Growth Inequality and Poverty Reduction in Africa, di Francisco H. G. Ferreira, Milano, FEEM Press, Collana Economia e Società, 1/2015

Coalitions and Networks, di Carlo Carraro (ed.), Milan, FEEM Press, Climate Change and Sustainable Development Series, 2/2015

Insights from China: Leadership, Policies, New World Order, di Jean Christophe Iseux von Pfetten, Milan, FEEM Press, Collana Economia e Società, 3/2015

Un patto globale per lo sviluppo sostenibile. Processi e attori nell'Agenda 2030, di Ilaria Lenzi, Ilaria Pais, Andrea Zucca, Milan, FEEM Press, Collana Sustainable Business and Social Change Initiative, 4/2015

Water and Development, di Michel Camdessus e Giulio Sapelli, Milan, FEEM Press, Collana Economia e Società, 5/2015

Arctic Amplification, Climate Change, Global Warming. New Challenges from the Top of the World, di Peter Wadhams, FEEM Press, Collana Climate Change and Sustainable Development, 6/2015

