

ADUNANZA SOLENNE
PER L'INAUGURAZIONE
DEL 207° ANNO ACCADEMICO

Salone napoleonico del Palazzo di Brera
25 febbraio 2010



Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere

—
MILANO
2011

SOMMARIO

Inaugurazione del 207° Anno Accademico. Relazione del Presidente Antonio Padoa Schioppa sull'attività del- l'Accademia svolta nel 2009 e programma di inizia- tive per il 2010	<i>pag.</i> 7
Geologia e cambiamenti climatici. Prolusione del m. e. Giuseppe Orombelli »	25



Tavolo della Presidenza durante la seduta solenne del 25 febbraio 2010, da sinistra a destra: prof. Fiorenza De Bernardi - Segretario della Classe di Scienze matematiche e naturali; prof. Giuseppe Orombelli - Oratore ufficiale; Prof. Antonio Padoa Schioppa - Presidente; prof. Giannantonio Sacchi Landriani - Vicepresidente; Prof. Isabella Gualandri - Segretario della Classe di Scienze Morali.



Veduta della sala con alcune autorità

INAUGURAZIONE DEL 207° ANNO ACCADEMICO

Relazione del Presidente Antonio Padoa Schioppa
sull'attività dell'Accademia svolta nel 2009
e programma di iniziative per il 2010

(Adunanza solenne del 25 febbraio 2010)

Autorità, Cari Colleghi, Signore e Signori,

nel ringraziare tutti i presenti per la partecipazione a questo momento importante della vita della nostra Accademia, sono lieto di comunicare alcune delle adesioni pervenute da parte delle massime autorità del nostro Paese: Donato Marra - Segretario Generale della Presidenza della Repubblica, On.le Silvio Berlusconi - Presidente del Consiglio dei Ministri, On.le Gianfranco Fini - Presidente della Camera dei Deputati, Em. Dionigi Tettamanzi - Arcivescovo di Milano, Dott.sa Marina Lazzati - Assessore Istruzione Provincia di Milano, Prof. Lorenzo Ornaghi - Rettore Università Cattolica di Milano, Prof. Guido Tabellini - Rettore Università Commerciale Bocconi Milano, Prof. Guglielmo Cavallo - Presidente Unione Accademica Nazionale UAN Roma, Prof. Francesco Tommasello - Rettore Università degli Studi di Messina, Gen. C.A. Daniele Caprino - Comandante Interregionale dell'Italia Nord Occidentale Guardia di Finanza, Dott. Giuseppe Guzzetti - Presidente Fondazione Cariplo Milano, Prof.sa Nicoletta Maraschio - Presidente Accademia della Crusca di Firenze, Dott. Carol Z. Perez - Console Generale d'America, Dott. Juergen Bubendey - Console Generale di Germania, Dott. Antonio Gerli - Presidente Associazione Culturale Famiglia Meneghina di Milano, Dott.sa Anna Crespi - Amici della Scala di Milano.

Riguardo alle vicende dell'anno che si è da poco concluso è doveroso menzionare anzitutto i nomi dei membri dell'Istituto che ci hanno lasciato: Peter Edward Hodgson, Head Nuclear Physics Theoretical Group University Oxford; Raffaele De Cesare, già Prof. Lingua e letterature francese Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano; Oleg Zienkiewicz, Emerito Metodi numerici in Ingegneria University of Wales Swansea; Orsolina Montevicchi, Emerito Papirologia Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano; Emilio Bigi, già Prof. Lett. italiana Università degli Studi di Milano; Fernando Montanari, Emerito Chimica industriale Università degli Studi Milano; Marta Sordi, Emerito Storia antica Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano; Aldo De Maddalena, Emerito Storia Economica Università Bocconi di Milano; Giuseppe Mosconi, Emerito Psicologia generale Università degli Studi di Milano; Renato Funicello, Prof. Geologia Strutturale Università di Roma Tre; André Gouron, Emerito Storia del diritto Università di Montpellier; Carlo Cercignani, Prof. Meccanica razionale Politecnico di Milano; Dario Del Corno, f.r. Lett. teatrale della Grecia antica Università degli Studi di Milano; Giovanni Pugliese Carratelli, Emerito Storia della Storiografia greca Scuola Normale Superiore di Pisa.

E un elenco purtroppo non breve di personalità eminenti che hanno lasciato traccia permanente nei rispettivi campi della ricerca scientifica. Alcuni di loro sono stati sottratti ai vivi ancora nel pieno delle forze e nel fervore delle ricerche e delle opere che stavano preparando. La loro memoria resterà ben viva nel tempo e negli annali dell'Istituto Lombardo.

Nel corso di quest'anno sono stati commemorati

- Raffaello Fusco da Stefano Maiorana
- Emilio Gagliardo da Enrico Magenes
- Giovanni Orlandi da Alfonso D'Agostino
- Ugo Facchini da Giovanni Prospero

Diamo ora notizia dei Nuovi Eletti, cooptati nell'Adunanza dell'8 ottobre 2009:

Membri Effettivi

Sez. di Scienze Matematiche: MAGRI Franco

Sez. di Chimica e Fisica: CENINI Sergio, BORSA Ferdinando
Sez. di Scienze Naturali: GAETANI Maurizio
Sez. di Filologia e Linguistica: SPINAZZOLA Vittorio
Sez. di Scienze Storiche e Filosofiche: MANTOVANI Dario
Sez. di Scienze Giuridiche, Politiche ed Economiche: ARTONI Roberto

Soci Corrispondenti Residenti

Sez. di Scienze Matematica: SAVARE' Giuseppe, TERRACINI Susanna
Sez. di Chimica e Fisica: BELLINI Giampaolo, RONCADELLI Mario
Sez. di Ingegneria e Architettura: PETRINI Vincenzo
Sez. di Scienze Naturali : CAVALLIN Angelo
Sez. di Filologia e Linguistica: AGAZZI Elena, IAMARTINO Giovanni
Sez. di Scienze Storiche e Filosofiche: LUSUARDI SIENA Silvia, GUDERZO Giulio
Sez. di Scienze Giuridiche, Politiche ed Economiche: FROSINI Vittorio Benito, TARGETTI LENTI Renata

Soci corrispondenti non residenti

Sez. di Chimica e Fisica: VARLAMOV Andrei, AMALDI Ugo
Sez. di Medicina: ANDREOLI Vittorino
Sez. di Filologia e Linguistica: SERIANNI Luca, PASQUINI Emilio
Sez. di Scienze Storiche e Filosofiche: GREGORY Tullio
Sez. di Scienze Giuridiche, Politiche ed Economiche: DOSI Giovanni

Membri Stranieri

Sez. di Ingegneria e Architettura: OLHOFF Niels
Sez. di Scienze Storiche e Filosofiche: TOUBERT Pierre

Attività scientifiche e culturali

Nelle 13 adunanze ordinarie sono state presentate, discusse e approvate per la stampa 41 note originali. Si segnala in modo particolare la presentazione della nota "L'amico come specchio. Carteggio inedito tra Jérôme Carcopino e Plinio Fraccaro" a cura del prof. Dario Mantovani che svela il profondo legame amicale che travalica le convinzioni personali dei due protagonisti; e del carteggio inedito fra Gae-

tano De Santis e Plinio Fraccaro a cura del prof. Emilio Gabba che fa conoscere gli intensi rapporti pluridecennali di studio e di amicizia fra i due.

Sono state inoltre presentate all'Assemblea dei membri e dei soci parecchie opere appena edite interessanti dal punto di vista storico, scientifico letterario e culturale.

Adunanza solenne con prolusione del s.c. Carlo Sini (ordinario di Filosofia teoretica Università degli Studi di Milano) sul tema: L'avvenire degli studi umanistici.

Incontri con l'Accademia

Ogni anno l'Istituto Lombardo organizza per i cittadini cicli di conferenze dedicati vicendevolmente a temi di carattere scientifico o letterario.

Per il 2009 è stato prescelto il tema "*Questioni di cuore, dalle prime ricerche alle nuove frontiere*".

Lezioni dei proff. PAOLO MAZZARELLO (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Università degli Studi di Pavia) *Cuore nella storia*; ERMINIO GIAVINI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Università degli Studi di Milano) *Lo sviluppo del cuore*; ALFIO QUARTERONI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Politecnico di Milano) *Modelli matematici per il sistema cardiovascolare*; ELISABETTA DEJANA (Università degli Studi di Milano) *Angiogenesi tumorale. Nuove prospettive e terapie mirate per tagliare i viveri al tumore*; LUCIANO MARTINI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Università degli Studi di Milano) *I meccanismi fisiologici che controllano la pressione arteriosa*; DARIO DI FRANCESCO (Università degli Studi di Milano) *Come batte il cuore: canali "funny" e controllo del ritmo cardiaco*; ALBERTO ZANCHETTI (Università degli Studi di Milano) *Cinquanta anni di terapia dell'ipertensione: successi e sfide*; GUIDO POZZA (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Università Vita-Salute S. Raffaele di Milano) *Sindrome metabolica*; GABRIELE DUBINI (Politecnico di Milano) *Simulazione numerica in cardiochirurgia pediatrica*; PIER MANNUCCIO MANNUCCI (Università degli Studi di Milano) *Il controllo della coagulazione*; MARIO VIGANÒ (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Università degli Studi di Pavia) *Stato attuale del trapianto di cuore*; ERMANNO GHERARDI (Istituto Lombardo Accademia di

Scienze e Lettere - Università degli Studi di Pavia - MCR Cambridge)
Riparazione del cuore.

Il ciclo ha visto avvicinarsi i migliori specialisti nei settori dei vari argomenti trattati che hanno coinvolto il pubblico (laureandi, dottorandi, docenti di scuole medie superiori e cittadini desiderosi di apprendere) nelle problematiche poco conosciute dell'“organo della vita” e delle situazioni ad esso correlate.

Interessante anche il dialogo al termine di ogni lezione fra pubblico e relatori che ha vivacizzato e rese concrete le problematiche trattate in ogni incontro.

Convegni

- **Giornata di Studio “Edmondo De Amicis”** (26 marzo 2009). Convegno di Studi dedicato all'opera del narratore, del giornalista, del maestro di lingua, a chiusura della ricorrenza centenaria.

Comitato scientifico proff. Maurizio Vitale, Angelo Stella, Silvia Morgana, Giuseppe Frasso, Vittorio Spinazzola, Francesco Spera.

VITTORIO SPINAZZOLA (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università degli Studi di Milano) *Introduzione ai lavori* FRANCO DELLA PERUTA (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università degli Studi di Milano) *De Amicis politico*; LUCA CLERICI (Università degli Studi di Milano) *De Amicis viaggiatore*; ALBERTO BRAMBILLA (Università degli Studi di Verona) *De Amicis “sportivo”: appunti e confronti*; GIORGETTO GIORGI E VITTORIO FORTUNATI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università degli Studi di Pavia) *De Amicis in Francia*; LORENZO TOMASIN (Università Ca' Foscari di Venezia) *De Amicis e la lingua italiana*; FRANCESCO SPERA (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università degli Studi di Milano) *L'altra narrativa*; MARTINO MARAZZI (Università degli Studi di Milano) *“Sull'Oceano” e oltre. De Amicis e la civiltà dell'emigrazione*; MINO MILANI (Scrittore) *Non solo la campagna dei poeti. Edmondo De Amicis giornalista e scrittore.*

- *Dalla Luna a Marte all'Infinito*, tenutosi il 13 e 14 ottobre 2009 che ha visto una vasta affluenza di pubblico fra cui specialisti provenienti da tutt'Italia e giovani ricercatori.

Comitato Scientifico proff. Giannantonio Sacchi Landriani, Giovanni Pareschi, Bruno Bertotti, Dionigi Galletto, Antonio Giorgilli, Alessandro Manara.

GIULIO GIORELLO (Università degli Studi di Milano) *Il newtonianesimo alle origini dell'Illuminismo*; FRANCESCO ALGAROTTI, *Il newtonianesimo per le dame*; DIONIGI GALLETTO (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Milano - Università degli Studi di Torino) *Da Galileo a Newton alla nascita dell'Astronomia moderna*; ELIO ANTONELLO (INAF - OABrera) *I primi 100 anni dell'Osservatorio Astronomico di Brera*; ANDREA SILVESTRI (Politecnico di Milano) *Intersezioni tra Istituto Lombardo, Osservatorio di Brera e Politecnico*; BRUNO BERTOTTI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Milano - Università degli Studi di Pavia) *Il Sistema Solare e la sua comprensione razionale*; ANTONIO GIORGILLI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Milano - Università degli Studi di Milano) *Il Sistema Solare tra ordine e caos*; ALESSANDRO MORBIDELLI (Observatoire de la Côte d'Azur) *Evoluzione violenta del Sistema Solare*; ENNIO PORETTI (INAF - OABrera) *I Pianeti Extrasolari: una prima risposta al paradosso di Fermi*.

In occasione del Convegno “*Dalla Luna a Marte all'Infinito*” l'Istituto Lombardo, per rendere omaggio alla memoria di alcuni membri illustri, ha organizzato una mostra nella quale sono stati esposti documenti inediti, manoscritti, pubblicazioni di Barnaba Oriani, Giovanni Virgilio Schiaparelli, Giovanni Celoria, Francesco Carlini, Luigi Gabba, Luigi Volta, Francesco Zagar.

Accanto al materiale relativo agli “astronomi” dell'Istituto sono stati esposti preziosi volumi di argomento astronomico, pezzi significativi relativi ai concorsi banditi dall'Istituto e ai lasciti acquisiti nel tempo.

- *Le Origini*, tenutosi il 19 novembre 2009. Convegno interdisciplinare organizzato per le celebrazioni del bicentenario di Darwin. Anche l'Istituto Lombardo ha ritenuto doveroso dedicare un Incontro di studio alla presentazione, per un più vasto pubblico, di alcuni profili della storia della vita sulla Terra, che la teoria sull'evoluzione di Darwin ha rinnovato dalle fondamenta e che da un secolo e mezzo non ha cessato di dimostrare la sua straordinaria fecondità.

Comitato Scientifico proff. Bruno Bertotti, Franco Buzzi, Fiorenza De Bernardi, Enrica Galli, Stefano Maiorana, Luciano Martini, Paolo Mazzarello, Giuseppe Orombelli, Giannantonio Sacchi Landriani, Faustino Savoldi.

GIORGIO PASQUARÈ (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università degli Studi di Milano) *Il viaggio di Darwin* PIER LUIGI LUISI (Università di Roma 3) *L'origine della vita sulla terra. Cosa dice la scienza* GIORGIO MANZI (Università di Roma "La Sapienza") *Le origini dell'uomo*; FAUSTINO SAVOLDI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università degli Studi di Pavia) e MAURO CERONI (Università degli Studi di Pavia) *Le origini della coscienza*; VITTORINO ANDREOLI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università degli Studi di Verona) *Evoluzione e regressione della mente umana*; GIULIO MELONE (Università degli Studi di Milano) *L'origine di una cooperazione: la coevoluzione di piante a fiore e impollinatori*; TELMO PIEVANI (Università degli Studi di Milano - Bicocca) *Il metodo di Darwin e la teoria dell'evoluzione oggi*. Conclusione musicale, *La Creazione e l'evoluzione* con un commento di Luciano Martini.

Tavole Rotonde

- Presentazione degli "*Scritti linguistici di Carlo Salvioni*" (28 maggio 2009). L'imponente opera, edita a cura di Michele Loporcaro, Lorenzo Pescia, Romano Broggin, Paolo Vecchio e voluta dallo Stato del Canton Ticino, è stata presentata dai proff. Romano Broggin, Francesco Bruni, Franco Buzzi, Michele Loporcaro, Angelo Stella, Alfredo Stussi, che hanno messo in luce il lavoro intenso e profondo sulle parlate dell'"Alta Italia" del glottologo svizzero Salvioni. Professore nell'Accademia scientifico letteraria di Milano, era legato profondamente alla terra lombarda e a Milano in particolare, tanto da donare alla Biblioteca Ambrosiana la Sua biblioteca e di istituire una Fondazione a nome Suo e dei Suoi figli, caduti nella 1° guerra mondiale nelle file dell'esercito italiano, presso l'Istituto Lombardo, Fondazione ancora attiva che conferisce borse di studio per studenti ticinesi che desiderano iscriversi in Università italiane.

- Presentazione dei volumi *Annali del CISUI*, (12 novembre 2009), relativi all'Università degli Studi di Pavia, all'Università degli Studi di Milano e del Politecnico di Milano.
Comitato Scientifico i proff. Gigliola di Renzo Villata, Paolo Mazzarello, Andrea Silvestri.
Interventi: Università degli Studi di Pavia i proff. Dario Mantovani, Paolo Mazzarello; Università degli Studi di Milano i proff. Gigliola Di Renzo Villata, Enrico Rambaldi; Politecnico di Milano i proff. Gianantonio Sacchi Landriani, Andrea Silvestri.

Incontro di Studio

- *Ricordo di Pietro Pedeferrì* (3 dicembre 2009), è stata illustrata la figura di Pietro Pedeferrì, ordinario di corrosione dei materiali al Politecnico di Milano, nella duplice sfaccettatura di scienziato ed artista.
Comitato organizzatore i proff. Carlo Enrico Bottani, Leone Corradi Dell'Acqua, Andrea Silvestri, Angelo Stella.

Proiezione del video *Titaniocromia. Il pennello elettrochimico di Pietro Pedeferrì*, regia di Tatiana Tchoubileva; Angelo Stella *La chimica delle lettere*; Luciano Lazzari *I principali contributi scientifici presenti nell'attività di Pietro Pedeferrì*; Alberto Cigada *L'arte di Pietro Pedeferrì e le sue ricadute applicative*; Alberto Casiraghi *Titanio e poesia*; Testimonianze di amici e colleghi.

Mostre

- Mostra organizzata per la presentazione dell'Istituto ed in particolare del Fondo fotografico servito alla illustrazione della "Storia di Milano" di Treccani degli Alfieri agli allievi del Seminario di Storia dell'Arte dell'Università degli Studi di Milano.
- Mostra organizzata per la presentazione dell'Istituto ed in particolare del Fondo Belloni per le foto relative a Costantinopoli e Corfù agli allievi del corso di Storia della Fotografia - Scuola di specializzazione in Beni storici artistici dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano.

- Mostra “The Legacy of Volta: From the Battery to Photovoltaic Electricity Planetarium Science Center - Biblioteca Alexandrina - Alessandria (Egitto)” organizzata dall’Università degli Studi di Pavia e dallo IUSS di Pavia per celebrare l’eredità di Alessandro Volta ha offerto all’Istituto la possibilità di esporre materiale manoscritto di Alessandro Volta e di far conoscere l’accademia.

Publicazioni

- Rendiconti - *Classe di Scienze* Vol. 140 (2006 - pubblicato con data 2008) e Vol. 141 (2007).
- Rendiconti - *Classe di Lettere* Vol. 141 (2007) e Vol. 142 (2008).
- Incontro di Studio - *Graziadio Isaia Ascoli “milanese”. Convegno nel centenario della morte 1907-2007.*
- Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Vol. III - *Storia della Classe di Lettere.*

Con la pubblicazione di questo terzo volume, dedicato alla storia della Classe di Scienze morali, termina l’impresa iniziata dieci anni orsono, di scrivere e pubblicare una compiuta storia della nostra Accademia nel quadro più ampio della storia intellettuale della Lombardia e dell’Italia dell’Ottocento e del Novecento. Nei tre corposi volumi usciti tra il 2007 e il 2009, per un complesso di oltre duemila pagine, questa storia ha ricevuto un’illustrazione compiuta e approfondita, quale nessuna altra Accademia italiana oggi possiede. Ed è ragione di profonda soddisfazione rilevare che la storia è stata scritta quasi integralmente da decine di nostri Accademici, ciascuno per la specialità della propria disciplina. Ne emerge un panorama denso di suggestioni, che permette di scorgere con molta maggiore chiarezza lo sviluppo delle ricerche scientifiche e l’apporto delle accademie (in particolare della nostra Accademia) al progresso non solo delle discipline di base ma anche delle tecnologie e delle scoperte di utilità pratica per l’agricoltura, i trasporti, le comunicazioni, il lavoro. L’importanza dell’opera richiede una congrua presentazione pubblica, che avrà luogo in una giornata di studio il 14 ottobre prossimo.

Desidero, in questa sede, rinnovare il più caldo e sentito ringraziamento dell'Istituto Lombardo alla Fondazione Fratelli Confalonieri di Milano che ha generosamente coperto con un adeguato finanziamento le spese di pubblicazione dell'opera che oggi è giunta felicemente in porto. Senza questo intervento la Storia della nostra Accademia non avrebbe potuto vedere la luce.

Progetti

Grazie alla collaborazione e all'impegno del prof. Agosti è stato sviluppato un progetto di ricognizione e schedatura dell'ingente patrimonio fotografico servito all'edizione della Storia di Milano edito dalla Fondazione Treccani degli Alfieri. Il progetto ha coinvolto un gruppo di 50 studenti della Facoltà di Lettere dell'Università Statale che hanno catalogato le 11.500 fotografie, gran parte delle quali inedite. Ora è disponibile l'inventario. Si pensa che il lavoro possa essere continuato prevedendo anche alcune digitalizzazioni e la messa in rete del catalogo.

Biblioteca

- Prosegue l'inventariazione dei periodici in ingresso dovuti allo scambio con nostre pubblicazioni.
- Prosegue la schedatura e l'inserimento in internet del Fondo antico.

Riconoscimenti

- Alberto Quadrio Curzio è stato nominato Vice Presidente Accademia Nazionale dei Lincei.
- Luciano Martini, è stato nominato Amministratore Accademia Nazionale dei Lincei.
- Antonio Padoa Schioppa è stato cooptato "Membre Correspondant Etranger" dell'Académie des Inscriptions et Belles Lettres dell'Institut de France.

- Cesare Segre è stato insignito della laurea h.c. Università di Santiago.
- Giorgio Benedek è stato nominato socio benemerito della Società Italiana di Fisica (per i servizi resi alla fisica italiana ed europea).

Attività istituzionale

Si è provveduto alla revisione e all'approvazione del "Regolamento" resa necessaria per adeguarlo alle riforme introdotte dalla Statuto approvato nel 2007.

Attività varia

- Visita guidata all'Istituto Lombardo per l'Associazione "La Ginestra".
- Partecipazione all'iniziativa "Cortili aperti" (10 maggio 2009) - (manifestazione organizzata dalla Associazione Dimore Storiche Italiane - Sez. Lombardia).

Attività in collaborazione

Con l'Osservatorio Astronomico di Brera è stato offerto al pubblico un Ciclo di conferenze "I cieli di Brera", dedicato a vari argomenti di astronomia.

Patrocini

L'Istituto ha concesso il proprio patrocinio a:

- Celebrazioni per *IV centenario dell'apertura della Biblioteca Ambrosiana*;
- Mostra *Il contagio vivo, Agostino Bassi* (socio dell'Istituto) *nella storia della bachicoltura*, organizzata dall'Università degli Studi di Pavia anche con il materiale dell'Istituto Lombardo;

- Celebrazioni per il centenario di Carlo Dossi Pisani;
- Centro Internazionale di Cultura Cives Universi convegno su *Virginia Woolf*;
- Centro Internazionale di Cultura Cives Universi convegno su *Grazia Deledda tra isola e mondo*.

Attività futura

Sono in programma per il 2010:

- n. 14 adunanze accademiche ordinarie.
- n. 1 adunanza solenne, in cui si dà conto pubblicamente dell'attività svolta nel 2009 e si delinea brevemente l'attività programmata per il 2010, con prolusione del m.e. Giuseppe Orombelli "*Geologia e cambiamento climatico: vent'anni di studi*".

- L'attività di alta divulgazione scientifica con l'intento di "*informare per far conoscere*" si concretizza nel Ciclo di conferenze "*La molteplicità verso l'unità. La formazione dello Stato italiano*". Scopo del ciclo è quello di presentare alcune direttrici fondamentali del processo storico che ha condotto, nell'arco di non molti anni, alla costituzione del nuovo Stato italiano. L'iniziativa, che è stata avviata accogliendo una proposta di Maurizio Vitale, intende far luce su aspetti non ancor sufficientemente noti di un processo di straordinaria intensità ed efficacia, che ha condotto in pochissimi anni alla formazione di uno stato là dove per oltre un millennio gli ordinamenti politici della Penisola erano stati molteplici. Si vuole capire e far capire come una comune cultura da una parte, e una molteplicità di tradizioni dall'altra, abbiano potuto confluire nei primi anni dell'unità sino a creare una realtà che in non pochi suoi esiti - positivi ed anche talora negativi - ritroviamo ancor oggi, a un secolo e mezzo di distanza da quel momento irripetibile della nostra storia. Le prime tre conferenze hanno pienamente confermato la fecondità di questo approccio.

Finora sono state tenute 3 conferenze:

FRANCO DELLA PERUTA (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università degli Studi di Milano) *La molteplicità verso l'unità*:

le correnti politiche; GIUSEPPE GALASSO (Università degli Studi di Napoli) *La formazione dell'identità italiana*; ANGELO MOIOLI (Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere, Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano) *L'unificazione economica italiana*.

Convegni

- Maggio 2010 - “*Microambiente tumorale*”.
Comitato scientifico i proff. Fiorenza De Bernardi, Carlo Pellicciari, Isabel Freitas.
- 14 ottobre 2010 - “*200 anni di attività dell'Istituto Lombardo e presente e futuro dell'Accademia*”.
Comitato scientifico i proff. Emilio Gatti, Antonio Padoa Schioppa, Giannantonio Sacchi Landriani, Alberto Quadrio Curzio, Maurizio Vitale. Ho già accennato a questo progetto, che vedrà la presenza di tre illustri relatori per la presentazione dei tre volumi della storia dell'Istituto Lombardo e che si concluderà con una Tavola rotonda alla quale sono invitati i presidenti dell'Accademia dei Lincei, dell'Accademia delle Scienze di Torino, dell'Istituto Veneto e dell'Accademia Ligure delle scienze
- ottobre-novembre 2010 - “*Giovanni Virgilio Schiaparelli nel centenario della morte*”, in collaborazione con l'Osservatorio Astronomico di Brera.
- novembre 2010 - “*L'anima secondo Aristotele e secondo il Cristianesimo*”.
Comitato scientifico i proff. Vittorino Andreoli, Ugo Amaldi, Franco Buzzi, Alessandro Ghisalberti, Luciano Martini, Paolo Mazzarello, Enrico I. Rambaldi, Faustino Savoldi, Maurizio Vitale.
- novembre 2010 - Seminario: “*Cento anni di superconduttività*”.
Relatore prof. Andrei Varlamov

Attività in collaborazione

- I Lincei per la Scuola (22 gennaio 2010) dedicata ai temi economici

- Giornate di studio “Gruppo italiano di Scienze Neuroendocrine” (7-8 maggio 2010)
- Ciclo di conferenza “I cieli di Brera”. Celebrazioni per il centenario della morte di Giovanni Schiaparelli.
- Edizione critica dell’opera di Giuseppe Ripamonti “De Peste” in collaborazione con il Centro Nazionale di Studi Manzoni e Biblioteca Ambrosiana di Milano, introduzione di Angelo Stella, traduzione e studio del latino del Ripamonti.

Mostre

- Storia di Milano. Mostra fotografica del Fondo Treccani degli Alfieri
- Costantinopoli e Corfù ai primi del Novecento. Mostra virtuale del materiale fotografico conservato nel Fondo Belloni

Progetti

- Le illustrazioni nella Storia di Milano della Fondazione Treccani degli Alfieri prof. Giovanni Agosti e i suoi studenti. Ricostruzione dei filoni tematici e schedatura e catalogazione del materiale che è già stato oggetto di ricognizione, per la preparazione della banca dati fotografica secondo le norme ministeriali.

Biblioteca

- Riordino, catalogazione, inventariazione e messa in rete del Lascito Amerio, con il contributo della Regione Lombardia.
- Continuazione della catalogazione, inventariazione delle nuove acquisizioni.

Publicazioni

- Rendiconti - Classe di Scienze Vol. 142 e Vol. 143
- Rendiconti - Classe di Lettere Vol. 143
- Atti di Convegni:
 - Incontro di Studio: *Bruno de Finetti*
 - Maksim Gor'kij
 - Il Duomo di Milano
 - Le lingue dell'Italia antica oltre il latino: lasciamo parlare i testi
 - L'economia quantitativa diventerà una tecnologia del futuro?
 - Giorgio Levi Della Vida: una coscienza critica del '900 europeo interpreta la formazione ed evoluzione della cultura semitica mediterranea
 - I Navigli dal Ticino a Milano e Pavia
 - Una nuova geologia per la Lombardia in onore di Maria Bianca Cita

Desidero in questa sede rinnovare il più vivo e profondo ringraziamento agli Enti che con il loro contributo hanno reso possibile portare avanti le iniziative che ho qui ricordato e avviare quelle per l'anno in corso. Essi sono: Il Ministero dei Beni Culturali e il Ministero della Università e della Ricerca scientifica; le Università lombarde, anzitutto l'Università degli Studi di Milano; e insieme con essa il Politecnico di Milano, l'Università di Pavia, l'Università Cattolica, l'Università Bocconi, l'Università dell'Insubria, lo Iulm. Senza il loro supporto, dichiaro che l'Istituto Lombardo non potrebbe vivere, non potrebbe pubblicare, non potrebbe organizzare i convegni. Il nostro grazie va dunque ai Rettori di queste Università, Enrico Decleva, Giulio Ballio, Angiolino Stella, Lorenzo Ornaghi, Guido Tabellini, Giovanni Puglisi, Renzo Dionigi.

Il ringraziamento si estende al comune di Milano, che ospita l'Accademia nel Palazzo Landriani ma che (va pur detto) quest'anno inspiegabilmente e per la prima volta non ha concesso all'Istituto il consueto, modesto contributo finanziario, nonostante i cospicui servizi culturali che l'Accademia continua da tanti anni a fornire alla città. Non posso purtroppo estendere il ringraziamento alla Regione Lombardia,

che sinora si è mostrata sorda e cieca verso un Istituto dalla vita bisecolare, che pur si denomina “Lombardo”, a differenza delle Regioni Piemonte e Veneto che invece sovvenzionano le rispettive Accademie; ma la speranza è l’ultima a morire; e forse uno spiraglio si sta finalmente dischiudendo.

Un grazie sentito alla Fondazione Cariplo, che non ha dimenticato e non dimentica un’istituzione solo di pochi anni più antica di lei, nella persona del presidente avv. Giuseppe Guzzetti e del direttore generale dott. Pier Mario Vello.

E, last not least, un ringraziamento rinnovato ma non certo rituale, insieme con un pensiero memore e costantemente riconoscente, ai nostri compianti membri accademici che hanno con i loro lasciti dato all’Istituto Lombardo alcune risorse essenziali per proseguire l’attività anche in anni nei quali tutti i contributi pubblici per le accademie si sono inspiegabilmente ridotti: e voglio ricordare in particolare i nomi di Luigi Villa e di Luigi Amerio, ai quali l’Istituto Lombardo deve una gratitudine profonda.

Infine, alcune brevi considerazioni di carattere generale.

Le Accademie oggi stanno recuperando, nell’opinione di chi si occupa e si preoccupa delle sorti della cultura di domani, una funzione che poteva sembrare superata sino a tempi noi vicini. Sempre più chiaramente emerge la fecondità del metodo che accosta e fa interagire saperi apparentemente lontani tra loro, esperienze di ricerca dotate ciascuna di metodologie complesse e sofisticate, non dominabili da un solo ricercatore. E questo non soltanto nel campo delle scienze naturali e delle scienze fisiche, chimiche, biologiche e naturali, dove temi come l’ambiente, la salute, ma anche quasi ogni altro settore disciplinare richiedono competenze interdisciplinari; ma anche nelle scienze umane e sociali, nei rapporti tra esse - diritto e letteratura, economia e scienze sociali, storia e politica e così via - come pure nell’interrelazione tra le “due culture”. Proprio le Accademie sono in grado, meglio dei centri di ricerca specializzati e dei dipartimenti universitari, di dare spazio a questa dimensione della ricerca, che è destinata a crescere. E ancora, le Accademie possono rispondere a quell’esigenza di alta divulgazione che a sua volta diverrà sempre più vitale per far conoscere a chi non è specialista le grandi scoperte della scienza contemporanea.

Queste motivazioni ci incoraggiano a proseguire con convinzione e con ancora maggiore efficacia lungo il cammino apertosi per noi oltre due secoli orsono.

Premi e Borse di studio

Premio Luigi e Wanda Amerio: da attribuirsi a un matematico italiano che abbia dato contributi di particolare rilievo nel dominio dell'Analisi matematica. Prof. Alberto BRESSAN

Il prof. Bressan ha ottenuto risultati di indiscutibile livello in topologia, equazioni differenziali ordinarie discontinue, inclusioni differenziali, teoria dei controlli non lineare, scoppiamenti di equazioni differenziali parziali non lineari, e sistemi iperbolici non lineari, campo questo in cui ha ottenuto risultati di assoluto prestigio.

Premio Bruno Finzi: per uno studioso che abbia ottenuto rilevanti risultati nel campo delle Meccanica razionale o di altre discipline teoriche strettamente affini. Prof. Attilio FRANGI

Il prof. Frangi si è distinto per le applicazioni di metodi matematici e di tecniche numeriche a sistemi complessi di indubbia importanza per l'Ingegneria. In particolare la Commissione ha apprezzato i suoi contributi sia teorici che applicativi all'analisi dei fenomeni di frattura, di problemi di dinamica lineare e non lineare, e dei successivi sviluppi in applicazioni a sistemi concreti. In questa occasione la Commissione sottolinea anche i suoi lavori sull'interazione fluido-struttura in sistemi elettromeccanici microscopici, svolti in collaborazione con il compianto Prof. Carlo Cercignani.

Premio Gian Giacomo Drago e Fausta Rivera Drago: per l'anno 2009 da attribuirsi ad uno studioso di non oltre 40 anni per rilevanti ricerche riguardanti: inquinamento ambientale e tutela della salute. Dott. Andrea BACCARELLI, *per le rilevanti, originali e innovative ricerche relative agli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana, argomento pienamente attinente al tema del concorso.*

Premio Arnaldo Rancati - per uno studio inedito a vantaggio del progresso sia dell'aeronautica sia dell'industria tecnica in genere. Ex aequo gli Ingegneri Matteo BRUGGI e Domenico SAMMARTANO

Premi Fondazione don Bartolomeo Grazioli: premi di laurea

- a) *Scienze naturali e dell'ambiente* - Dott.ssa Laura GARZOLI
- b) *Scienze e Tecnologie dell'Informazione* - Dott. Algo CARÉ, Dott. Giovanni GERACI
- c) *Scienze fisiche* - Dott. Simone ZANOTTO, Dott. Luca BIGNARDI, Dott.ssa Fulvia BARATELLI
- d) *Scienze economiche e statistiche* - Dott. Mattia RAUDASCHL, Dott. Giacomo LAFFRANCHINI

Premio Leo Finzi: per tesi nel settore dell'Ingegneria strutturale.
Ing. Carlo GUERINI

Borsa di studio Nilo Cova: proposti n. 3 premi di incoraggiamento di 1.000 euro ciascuno alle sigg.ne Elisa ALIVERTI PIURI, Giulia NUTINI, Adelina PALMIERE. Proposti n. 2 premi di 500 euro ciascuno alle sorelle Erika e Martina POLETTI

Borse di studio Carlo ed Enrichetta Salvioni: riservata a studenti ticinesi iscritti in Università italiane. Sig. Niccolò FIGUNDIO, Sig.na Giulia Maria ROSSATTI, Sig.na Eszter Judit NAGY.

Borsa di studio Luigi e Wanda Amerio: per studenti iscritti alle Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Milano. Sig. Diego MARTINOIA

Esaurita con questi adempimenti la prima parte di questa Adunanza solenne, sono lieto di dare la parola al Membro effettivo Giuseppe Orombelli per la prolusione dal titolo: *Geologia e cambiamento climatico: vent'anni di studi.*

GEOLOGIA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

Proloquio del m. e. GIUSEPPE OROMBELLI

(Adunanza solenne del 25 febbraio 2010)

Il cambiamento climatico globale

Da almeno vent'anni il "cambiamento climatico" è argomento di discussione, dapprima unicamente in ambito scientifico, poi anche in quello politico-economico, fino a coinvolgere l'intera opinione pubblica mondiale. Come in altri problemi scientifici attuali, il tema del riscaldamento globale investe infatti ogni singola persona, perché può mettere in discussione il futuro modo di vita. Si è così sviluppato un dibattito, spesso acceso e ricco di colpi di scena, in cui sembra che quasi si fronteggino, con alterne vicende, due opposte fazioni. Da un lato vi è la grande maggioranza dei ricercatori (fisici dell'atmosfera, oceanografi, climatologi, paleoclimatologi) i cui risultati sono vagliati e compendati nei rapporti dell'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), dall'altro singoli ricercatori o gruppi di ricercatori, di varia formazione e competenza, che si dichiarano scettici sui risultati dei primi, quando non ne neghino totalmente la validità.

L'opinione pubblica è disorientata dalle informazioni contrastanti che le giungono dalla stampa e che spesso mettono sullo stesso piano dati ragionevolmente accertati, dati mal conosciuti e incerti, interpretazioni ancora da dimostrare e proiezioni future aleatorie.

Così basta un inverno freddo con qualche nevicata o notizie compromettenti sull'operato di alcuni ricercatori o su affermazioni incautamente pubblicate, per fare mutare opinione.

Il tema del cambiamento climatico è molto complesso e richiede l'intervento di molte discipline: in questa sede desidero illustrare quale è l'apporto della Geologia, in particolare attraverso le sue conoscenze del passato. Mi limiterò alla illustrazione dei dati ottenuti, distinguendoli dalle interpretazioni e dalle estrapolazioni.

L'immagine con cui inizio, quella di un ghiacciaio alpino fotografato a distanza di un ventennio, mostra uno degli effetti più evidenti del cambiamento climatico in corso, quello del ritiro glaciale. Come vedremo, è un fenomeno comune in tutte le catene montuose e qui serve solamente per indicare che il cambiamento climatico in atto è una realtà.

Qual è lo stato delle conoscenze attuali, sintetizzabile in pochi dati, in poche immagini? Ogni giorno in un gran numero di stazioni in terra ferma, dalle navi sugli oceani, nell'atmosfera con i palloni e da satellite, vengono misurate la temperatura e le altre grandezze meteorologiche, e ogni anno (per restare alla sola temperatura) viene valutata la temperatura media annua globale (Tmag), cioè la temperatura media dell'intera superficie terrestre. Tre enti diversi (due americani, uno inglese) indipendentemente elaborano e aggiornano una curva delle variazioni della temperatura media annua globale rispetto a un valore arbitrario di riferimento. Le tre curve sono sostanzialmente concordanti. Ogni anno l'Organizzazione Meteorologica Mondiale aggiorna i dati e mostra gli scostamenti della Tmag rispetto alla media del trentennio 1961-1990. Dal 1850 all'anno appena conclusosi (2009) si sono succedute fasi alterne: in particolare dal 1910 al 1940 la Tmag è cresciuta di circa 0,5 °C, poi è un poco ridiscesa e ha oscillato negli anni '40 - '60, mentre dalla seconda metà degli anni '70 è di nuovo aumentata di oltre 0,5 °C. Complessivamente dall'inizio del 20° secolo è aumentata di poco più di 0,7 °C. Nove degli ultimi 10 anni (2000-2009) sono stati i più caldi dal 1850, il 2009 è stato il 5° anno più caldo e, dopo tre anni in lieve calo, la Tmag è tornata a crescere (WMO, 2010).

È stato notato che negli ultimi anni la corsa a salire si è temporaneamente rallentata, come del resto previsto, ma ondulazioni di questo tipo, legate alla variabilità pluriannuale, sono comuni anche nei decenni precedenti. Di fatto l'ultimo decennio è stato più caldo di quello precedente, a sua volta più caldo del precedente ancora.

La seconda serie di dati che mostro è quella della concentrazione atmosferica di CO₂. Ricordo che il biossido di Carbonio è un gas pre-

sente in tracce nell'atmosfera ed è un gas con effetto serra. La concentrazione di questo gas è stata misurata sistematicamente a partire dall'Anno Geofisico Internazionale, il 1958. All'Osservatorio sul Monte Mauna Loa nelle Hawaii, il biossido di Carbonio dal 1958 al 2009 è cresciuto da 316 a 387 ppm con un aumento pari al 22% e pure il tasso annuo medio di incremento per decennio è aumentato da 0,88 ppm a 1,95 ppm (NOAA, 2010). Seppure con variazioni da un anno all'altro, il cammino in salita di CO₂ continua inarrestabile, come mostrato dai valori medi globali negli ultimi 3 decenni.

E ora un cenno ad alcuni degli effetti del cambiamento climatico in atto. Come ho già detto i ghiacciai montani, in tutto il mondo, sono in ritiro, salvo poche eccezioni. Secondo il *World Glacier Monitoring System* (2010) il bilancio di massa medio annuo per un campione di una trentina di ghiacciai dalle Svalbard alle Ande, dal 1980 è stato sempre (salvo in tre anni) negativo. La perdita in massa si è particolarmente accentuata nell'ultimo decennio, con punte di oltre 1 m di acqua equivalente, cioè con la perdita in un anno di uno strato di ghiaccio, esteso su tutti i ghiacciai considerati, spesso oltre un metro.

Anche i ghiacciai polari e subpolari sono in crisi, come mostrato dal collasso (negli ultimi vent'anni) di sette piattaforme di ghiaccio galleggianti nella Penisola Antartica (e di altre sei nell'Artico Canadese) e dal rapido ritiro dei ghiacciai groenlandesi. Infine pure le grandi calotte glaciali polari (sino a pochi anni fa ritenute sostanzialmente stabili) risentono del cambiamento climatico: l'area di fusione superficiale estiva in Groenlandia è in progressivo aumento. Sia la calotta groenlandese, sia quella antartica, 10 volte più grande, hanno bilancio negativo (Velicogna, 2009), come mostrato dalle misure satellitari (altimetria e gravimetria).

L'acqua persa dai ghiacciai (sia montani che polari) si riversa negli oceani e contribuisce per il 60 % alla loro risalita, la restante parte essendo attribuita alla dilatazione termica delle acque oceaniche e ad altre cause minori. Dalle misure mareometriche e, dal 1993, da quelle satellitari, è stata ricostruita la risalita del livello medio globale dagli oceani dal 1870 al 2003, in tutto circa 20 cm (IPCC, 2007). Il tasso medio annuo di risalita sarebbe stato di poco meno di 2 mm all'anno dal 1961 al 2003, mentre dal 1993 al 2009 sarebbe stato di $3,2 \pm 0,4$ mm/anno ma negli ultimi anni, dal 2003 al 2008 sarebbe sceso a $2,5 \pm 0,4$ mm/anno (Cazenave et al., 2009). Sebbene questi dati abbia-

no un'ampia incertezza, essi si collocano al limite superiore della forbice delle proiezioni prodotte 10 anni fa. Le variazioni del livello del mare osservate con le misure da satellite variano ampiamente nello spazio, anche nel segno: nel Pacifico orientale raggiungono valori superiori a 1 cm/anno mentre nel Pacifico orientale il livello del mare si abbassa di qualche mm/anno. Anche nel Mediterraneo in alcune aree il livello del mare è in risalita, in altre si abbassa.

Mentre i ghiacci marini antartici sono in lieve aumento, i ghiacci marini artici hanno mostrato una riduzione superiore alle previsioni, sia nel loro spessore, sia nell'estensione invernale, sia, soprattutto, nella loro estensione minima al termine dell'estate, nel mese di settembre. Il minimo assoluto è stato raggiunto nel 2007; nel 2008 per la prima volta si sono aperti simultaneamente i passaggi a NW e a NE e questo fatto si è ripetuto anche nel 2009 (National Snow and Ice Data Center, 2010).

Questi sono solamente alcuni dati aggiornati nel grande tema del cambiamento climatico che, come è noto, solleva molti interrogativi. Per restare solo alla lettura dei fatti (senza per ora addentrarci nei problemi delle cause) il cambiamento climatico in corso è qualcosa di insolito, di nuovo, o rientra nella variabilità climatica naturale? L'attuale tendenza al riscaldamento è parte di un ciclo climatico più lungo? Vi sono stati periodi caldi o più caldi dell'attuale nei secoli o nei millenni passati? La concentrazione di CO₂ e di altri gas serra è variata anche nel passato? e di quanto? I ghiacciai montani sono stati nel passato ridotti quanto o più di ora? E molte altre domande ci si possono porre sui meccanismi dei cambiamenti climatici e sulle loro cause. Proverò qui a dare delle risposte unicamente con le conoscenze raggiunte con lo studio della documentazione geologica del passato.

È anzitutto chiaro che la variabilità climatica non può essere apprezzata disponendo unicamente di una serie temporale di misure strumentali estesa agli ultimi due secoli. E d'altra parte, per i tempi storici precedenti, le informazioni climatiche ricavabili dai documenti, seppure molto interessanti, sono sostanzialmente descrittive, spesso discontinue e di valore locale o regionale, o comunque ristrette a una parte minore del globo.

Per disporre di un campione di tempo significativo occorre affondare lo sguardo indietro nei tempi geologici, analizzando quelli che sono detti gli *archivi geologici del clima*. Tra questi i più importanti sono i sedimenti marini e lacustri, le concrezioni di grotta e i ghiacci

polari, cioè successioni continue nel tempo di materiali nei quali sono contenute informazioni relative alle condizioni ambientali e climatiche vigenti al tempo della loro deposizione.

La Paleoclimatologia

Fin dalle sue origini la Geologia aveva intuito che nel remoto passato si erano prodotte grandiose variazioni climatiche, riconoscendo nella successione di strati sovrapposti l'evidenza di condizioni ambientali così diverse da richiedere climi altrettanto diversi. Già Lyell (1797—1875), il padre della geologia, alla metà del secolo XIX, aveva ipotizzato (*teoria geografica dei cambiamenti climatici*) che una diversa distribuzione delle terre emerse, ora allineate lungo l'equatore ora raccolte intorno ai poli, potesse portare a condizioni climatiche sulla Terra di estremo caldo e di estremo freddo, ipotesi oggi pienamente accettata, ma valida alla scala dei tempi geologici (milioni di anni). Si deve invece ad Agassiz (1807-1873), paleontologo svizzero, l'idea di un'*era glaciale*, cioè della presenza, in tempi geologici molto recenti, di estesi ghiacciai continentali sopra gran parte del Nord America e dell'Europa settentrionale. A quest'ipotesi Agassiz era giunto interpretando correttamente il significato dei *massi erratici*, sino ad allora attribuiti al diluvio noaico o, quanto meno, al trasporto e deposito da grandi iceberg flottanti, ipotesi questa sostenuta anche da Lyell e da Darwin. Nella seconda metà del XIX secolo diviene evidente che durante l'era glaciale si sono succedute diverse *glaciazioni* separate da *periodi interglaciali* (classico per le Alpi è il lavoro di Penck e Brückner, 1909) mentre James Croll (1821-1890) formula una prima ipotesi sulla causa astronomica delle variazioni climatiche, che sarà poi ripresa nel secolo successivo da Milankovitch (1879-1958).

Ma bisogna giungere alla metà del secolo XX perché nasca la moderna Paleoclimatologia, un settore della Geologia attualmente in grande sviluppo. Cesare Emiliani (1922-1995) è un geologo di Bologna (micropaleontologo) che emigra in America alla scuola del premio Nobel Harold C. Urey (1893-1981). Questi è il padre della geochimica isotopica e ha trovato che nei cambiamenti di fase si opera un frazionamento isotopico in funzione della temperatura. Pertanto dall'analisi della composizione isotopica si può risalire alle paleotemperature. Emi-

liani ha l'idea di analizzare sistematicamente il rapporto tra gli isotopi stabili dell'ossigeno nei gusci carbonatici dei foraminiferi, minuscoli organismi unicellulari che vivono nelle acque marine e che sono contenuti in abbondanza nei sedimenti prelevati dai fondali. Scopre così che questo rapporto varia nei tempi geologici. Attribuisce queste variazioni in prevalenza a oscillazioni della temperatura delle acque nelle quali è avvenuta la deposizione del guscio, riconoscendovi la successione di fasi calde e fredde, che chiama *stadi isotopici*, attribuendo numeri dispari alle fasi calde (interglaciali) e numeri pari a quelle fredde (glaciali). Ma qualche anno dopo l'inglese Shackleton (1937-2006) scopre che anche i foraminiferi bentonici - vissuti nelle fredde acque profonde degli oceani, in cui le variazioni di temperatura devono essere state minime - mostrano una paragonabile variabilità nel tempo dei rapporti isotopici. Attribuisce questo fatto più che a variazioni della temperatura, a variazioni della composizione isotopica delle acque oceaniche, a sua volta causata dalla variazione del volume globale di ghiaccio sui continenti. (Nell'evaporazione dagli oceani evapora più facilmente l'isotopo più leggero, mentre le acque oceaniche si arricchiscono relativamente di quello più pesante. Le precipitazioni ristabiliscono l'equilibrio, salvo quando cadono in forma di neve sui continenti e vi si accumulano formando estesi ghiacciai. Soltanto alla loro fusione, al termine di una glaciazione, si tornerà alle condizioni di origine).

Gli stadi isotopici sarebbero quindi diretta espressione delle variazioni glaciali e, contestualmente, delle variazioni del livello medio degli oceani. In realtà oggi si ritiene che la composizione isotopica dell'ossigeno nei gusci dei foraminiferi dipenda principalmente dalla composizione isotopica delle acque oceaniche ma pure dalla temperatura e da altre variabili ancora, per cui l'estrazione del segnale paleoclimatico è materia complessa che richiede controlli indipendenti.

Pochi anni dopo Hays, Imbrie e Shackleton (1976) scoprono che le periodicità osservabili nelle curve isotopiche sono proprio quelle delle variazioni di tre parametri dell'orbita terrestre (eccentricità dell'orbita, inclinazione dell'asse di rotazione terrestre, precessione degli equinozi) considerate dall'astronomo serbo Milankovitch come causa delle glaciazioni. Le ciclicità astronomiche scandiscono come un *pace-maker* le fasi climatiche e contestualmente forniscono un orologio astronomico per datarle con precisione, ove manchino altri metodi di datazione.

Le perforazioni eseguite nei fondali marini hanno raccolto successioni di sedimenti dai quali sono state ricavate delle curve paleoclimatiche, tra loro consistenti. La curva composita per gli ultimi 5 milioni di anni (Lisiecki e Raymo, 2005) mostra, sinteticamente, come la temperatura sulla Terra sia stata elevata, con variazioni a elevata frequenza e modesta ampiezza, fino a circa 3 milioni e mezzo di anni fa. Poi la temperatura ha iniziato a declinare e contestualmente a oscillare con maggiore ampiezza. Il periodo di queste oscillazioni climatiche è stato di circa 40 000 anni (il periodo della variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre). A partire da circa 900 mila anni fa l'ampiezza si è ulteriormente accresciuta (cioè gli interglaciali sono stati più caldi – poco ghiaccio sui continenti – e le glaciazioni molto più accentuate – ghiacciai molto estesi) mentre il periodo si è allungato a 100 mila anni. Sono queste le glaciazioni che anche sulle nostre Alpi hanno portato i ghiacciai a discendere fino all'orlo della pianura.

Le analisi nei ghiacci polari

Mentre tutto ciò avveniva con gli studi in mare, a partire dagli anni '60 altri ricercatori hanno aperto una nuova strada, rivelatasi molto importante per investigare il clima del passato. Durante la guerra fredda esistevano nel Nord della Groenlandia delle strutture militari (NATO) entro grandi trincee scavate nella neve e nel ghiaccio. Sulle pareti erano osservabili gli strati delle successive neviccate sovrapposti. Un geofisico Danese, Willi Dansgaard (1922-2011), essendo allora noto che la composizione isotopica nelle precipitazioni è funzione della temperatura di condensazione, pensò, insieme al fisico svizzero Hans Oeschger (1927-1998), di investigare le variazioni di temperatura nel passato, analizzando una serie di neviccate via via più profonde e più antiche. Iniziarono così le perforazioni profonde nei ghiacci polari che portarono a risultati nuovi e inattesi. Negli stessi anni e in quelli successivi furono fatte le prime perforazioni in Antartide, a opera degli americani e in particolare del francese Claude Lorius (1932-) con i Russi a Vostok. (Per curiosità posso ricordare che anche gli italiani negli anni '60 effettuarono una perforazione in ghiaccio in Antartide presso la base belga "Roi Baudouin", allora esistente, ma questa iniziativa non ebbe seguito).

Le calotte glaciali polari altro non sono che l'accumulo delle successive nevicate, che via via vengono trasformate in profondità in nevato e in ghiaccio di ghiacciaio, con aumento della densità e riduzione dei pori. Poiché questa trasformazione avviene a temperature sempre nettamente inferiori a quelle di fusione, i segnali intrappolati nella neve all'atto della sua cristallizzazione nell'atmosfera non vengono cancellati né la successione stratigrafica viene obliterata dai processi di fusione e rigelo, come invece avviene nei ghiacciai montani delle regioni temperate. Inoltre il meccanismo di trasformazione della neve in nevato e ghiaccio ingloba e isola delle bolle d'aria che divengono veri e propri campioni di aria fossile. In profondità anche le bolle d'aria scompaiono e si formano clatrati. Forando nei luoghi opportuni è possibile estrarre "carote" di ghiaccio indisturbate, dalle quali si ottengono informazioni sulla storia dell'atmosfera e del clima nel passato (Orombelli, 1996).

Negli anni 1996-2005 sul plateau antartico a oltre 3200 m (in una culminazione della calotta nota come Dome C) è stata fatta una perforazione in ghiaccio profonda 3270 m, con la quale si è ottenuta la più lunga, fino a ora, ricostruzione della storia del clima e dell'atmosfera (circa 800000 anni). Si tratta della perforazione del progetto EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica), condotta da un consorzio di 10 nazioni con fondi nazionali e della UE e guidata da Francesi e Italiani.

Cicli glaciali/interglaciali

I principali risultati ottenuti con la perforazione EPICA riguardano le variazioni della temperatura media annua in Antartide e le variazioni della concentrazione atmosferica di alcuni gas serra negli ultimi 800000 anni (EPICA Community Members, 2004). La temperatura media annua è oscillata descrivendo otto *cicli glaciali/interglaciali*, con una durata media di 100 000 anni. Nei quattro cicli più antichi l'ampiezza è stata contenuta, nel senso che i picchi interglaciali sono stati poco caldi, mentre negli ultimi quattro cicli l'escursione è aumentata, con valori di temperatura media annua negli interglaciali fino a 5 °C superiori ai valori attuali e nei periodi glaciali con valori fino a -10 °C inferiori. Gli ultimi quattro cicli sono spiccatamente asimmetrici, a

“dente di sega”: dal picco caldo interglaciale la temperatura declina lentamente e irregolarmente, quasi la Terra opponesse resistenza al raffreddamento, mentre la transizione dalla fase più fredda al picco caldo è assai rapida. Ne deriva che la durata dei periodi interglaciali è breve (da poche migliaia a circa 15.000 anni, mentre quella dei periodi freddi glaciali è molto più lunga. In quest’intervallo di tempo le condizioni più fredde, glaciali, sono state, quindi, la norma sulla Terra, mentre quelle simili alle attuali (interglaciali) sono state l’eccezione (circa il 10% del tempo totale).

Le variazioni della concentrazione di CO₂ sostanzialmente replicano quelle della T_{ma}, nel senso che picco corrisponde a picco, diminuzione a diminuzione, anche nei dettagli. Questo significa che le due variabili sono accoppiate: la concentrazione di CO₂ varia circa proporzionalmente alle variazioni della temperatura. Così i valori minimi di CO₂ (intorno a 180 ppm) vengono raggiunti nelle fasi di minima temperatura (glaciali) e i valori massimi (intorno a 280-300 ppm) in quelle di massima temperatura (interglaciali). Prima di affrontare le relazioni temporali e causali tra i due fenomeni, si può mettere in evidenza come la relazione tra queste due variabili metta in movimento un meccanismo di feedback positivo, di amplificazione degli effetti, poiché se, come vedremo, un aumento di temperatura produce un aumento della concentrazione di CO₂, un aumento della concentrazione atmosferica di CO₂ porta a un ulteriore aumento della temperatura. Anche altre variabili misurate nelle carote di EPICA (a esempio la concentrazione del metano, del protossido di azoto o quella delle polveri atmosferiche) mostrano andamenti simili e anch’esse implicano fenomeni di amplificazione degli effetti (Lüthi et al., 2008; Loulergue et al., 2008).

Negli ultimi 800000 anni la concentrazione atmosferica di CO₂ è variata in una banda di valori compresi tra 170 e 300 ppm (280 ppm nell’ultimo interglaciale), mentre il valore attuale (2009) è, come detto all’inizio, di 387 ppm ed è stato raggiunto pressoché istantaneamente, in meno di 200 anni. Analoghi incrementi (circa 100 ppm) nel passato preindustriale si sono prodotti in numerose migliaia di anni. Per completare il quadro, le analisi dei campioni d’aria estratti dai ghiacci antartici e il loro confronto con le concentrazioni atmosferiche attuali hanno mostrato che anche il metano e il protossido di azoto sono usciti dalla banda di oscillazione naturale negli ultimi 800 000 anni. In due secoli, dalla rivoluzione industriale (ma sostanzialmente dalla metà del

secolo scorso), il Metano è aumentato del 130%, CO₂ del 38% e N₂O del 29%.

Se si considerano nel dettaglio (alla scala dei secoli) i rapporti temporali tra le variazioni della temperatura e quelle dei gas serra si vede che la prima precede gli altri di circa un millennio (Monnin et al. 2001). Pertanto si ritiene che un aumento della temperatura forzi uno spostamento di tali gas in atmosfera da altri serbatoi. Il parallelismo della curva di CO₂ con quella della temperatura in Antartide e altri dati e considerazioni fanno ritenere che CO₂ derivi in gran parte dall'Oceano meridionale, mentre il metano, che nel dettaglio varia in accordo con le variazioni di temperatura nell'emisfero settentrionale (desunte dalle perforazioni nei ghiacci della Groenlandia e, come vedremo, non in fase, a questa scala temporale, con quelle dell'emisfero meridionale), sia emesso dalle aree umide dell'emisfero settentrionale, anche sulla base di evidenze isotopiche.

L'ultima glaciazione

In Groenlandia, agli inizi degli anni '90, sono state fatte due perforazioni profonde 3 km nel punto più elevato della calotta groenlandese a 3200 m, una dagli americani l'altra da un consorzio europeo, cui anche l'Italia aderiva (GRIP Members, 1993). Benché lo spessore di ghiaccio sia analogo a quello in Antartide, il maggiore accumulo annuo di neve in Groenlandia fa sì che l'intervallo di tempo contenuto sia molto minore, circa 80-100 000 anni, ma sia analizzabile con elevato dettaglio, così che nel ghiaccio si possono riconoscere e conteggiare gli incrementi annui, per la presenza di segnali stagionali.

Negli ultimi 80 000 anni si sono succedute numerose fasi climatiche. L'intervallo di tempo da 80 000 a 12 000 anni fa circa abbraccia gran parte dell'ultima glaciazione. La novità apportata dalle perforazioni in Groenlandia è che l'ultima glaciazione è stata in realtà una successione di continui cambiamenti climatici di breve durata (da alcuni secoli a pochi millenni), a elevata frequenza e di ampiezza rilevante, di poco inferiore a quella dei cicli glaciali/interglaciali (escursione della Tma sopra la Groenlandia di 8-16 °C). Le transizioni, in particolare dal picco freddo a quello caldo, sono state repentine, realizzandosi anche in pochi decenni, talora in pochi anni (cioè nell'ambito della durata di

una vita umana). In altre parole durante l'ultima glaciazione il clima è stato in Groenlandia estremamente instabile, con una ventina di oscillazioni iniziate e concluse da transizioni veloci. Questa *variabilità climatica alla scala del millennio* era del tutto sconosciuta e quando fu per la prima volta ritrovata negli anni '60 da Dansgaard e Oeschger fu imputata a errori, finché non fu più volte replicata dalle successive perforazioni.

La variabilità alla scala del millennio è stata ritrovata anche nei ghiacci antartici, ma con sorpresa si è visto che essa è presente in modo più attenuato (ampiezza nelle escursioni di temperatura di soli 2-4 °C) e soprattutto non in fase, nel senso che i picchi caldi in Groenlandia coincidono temporalmente con quelli freddi in Antartide e viceversa (EPICA Community Members, 2006). Le variazioni a questa scala di tempo nei due emisferi sono accoppiate (nel senso che vi è corrispondenza biunivoca) ma in opposizione di fase. Si tratta quindi non di variazioni climatiche globali, ma di variazioni dovute a diversa ripartizione del calore, alternativamente, nei due emisferi. È stato quindi proposto un modello, detto dell'*altalena termica polare*, che immagina un trasporto di calore a opera della circolazione oceanica, in particolare la cosiddetta circolazione atlantica meridiana termoalina, che quando trasferisce calore all'Atlantico settentrionale lo sottrae all'emisfero meridionale e viceversa (Broecker, 1991; Stocker e Johnsen, 2003). Queste variazioni alla scala del millennio sono presenti, ma meno frequenti e molto meno ampie, anche nei periodi interglaciali.

L'Olocene

Undicimila e settecento anni fa si è conclusa l'ultima glaciazione ed è iniziato bruscamente il presente interglaciale, che, nella terminologia stratigrafia, è chiamato *Olocene*: la transizione è marcata nei ghiacci della Groenlandia da numerosi segnali indicativi di un repentino cambiamento nella circolazione atmosferica, un aumento della temperatura e delle precipitazioni medie annue.

Dal punto di vista termico l'Olocene è stato relativamente stabile. La T_{mag} si ritiene abbia avuto oscillazioni modeste, che si sono mantenute entro una fascia ampia circa 2 °C. I due emisferi hanno avuto storie un poco differenti. Limitandoci a quello Nord, la prima parte

dell'Olocene fino a circa 5000 anni fa è stata un poco più calda (salvo un picco freddo, ma molto breve, 8200 anni fa), poi la temperatura è declinata sia pure con numerose oscillazioni. Vi sono stati, invece, grandiosi mutamenti climatico-ambientali a scala regionale, connessi a variazioni nella distribuzione delle precipitazioni. Così il Sahara - che a partire da circa 14 000 anni fa era divenuto un territorio raggiunto dalle piogge monsoniche ed era coperto da savana o da steppa alberata, ospitava laghi, una ricca fauna e numerosi insediamenti umani - tra 7000 a 5000 anni fa si è progressivamente desertificato, per l'attenuarsi del regime monsonico. Da condizioni subumide o semiaride è divenuto l'attuale deserto iperarido. Se si osserva la distribuzione degli insediamenti umani si assiste in quei pochi millenni a una loro riduzione e scomparsa, con sopravvivenza unicamente nelle oasi o con lo spostamento verso il Sahel o la valle del Nilo (Kuper e Kröpelin, 2006).

I ghiacciai alpini, con le loro fasi di avanzata e di ritiro, offrono una storia delle variazioni climatiche minori, di validità almeno regionale. Le oscillazioni della fronte del Grande Ghiacciaio dell'Aletsch nelle Alpi Bernesi (Holzhauser, Magny e Zumbühl, 2005) mostrano tre fasi di avanzata, negli ultimi 3500 anni, culminate nel VI secolo a.C., nel VI-VII d.C., e nei secoli XIV-XIX d.C., via via più spinte e ravvicinate, in accordo con la generale tendenza al raffreddamento alle medie-alte latitudine dell'emisfero Nord a seguito del calare progressivo della insolazione, per cause orbitali. Le fasi di ritiro, per altro meno ben definite (culminate nel XIII-XIV sec. a.C., nel I a.C, nel IX-X d.C.), sono state progressivamente meno accentuate e più brevi. Dopo la *Piccola Età Glaciale*, che ha avuto tre fasi di massima avanzata intorno al 1360-90, 1600-1650, 1820-1860, è in atto un drastico ritiro dei ghiacciai, iniziatosi nella seconda metà del secolo XIX. Mentre i piccoli ghiacciai rispondono quasi immediatamente alle sollecitazioni climatiche, l'Aletsch, il più grande delle Alpi, ha un tempo di reazione più lungo e risponde con un notevole ritardo; pertanto le sue attuali dimensioni non sono ancora in equilibrio con le condizioni climatiche attuali.

Negli ultimi tre decenni, come ho detto all'inizio, è in atto una fase generalizzata e acuta di ritiro nei ghiacciai montani in tutto il mondo: se si considera il diseguale comportamento dei ghiacciai nel passato (per altro dovuto anche a lacune di conoscenza), colpisce la simultaneità del comportamento attuale (UNEP, 2007).

Vi sono indizi di una situazione nuova nei ghiacciai alpini, almeno a far tempo da oltre 5000 anni fa, quali l'emersione della mummia dell'Uomo di Similaun da una placca residua di un ghiacciaio smembrato. Antico di 5300 anni, questo reperto, per le condizioni di conservazione, non deve mai essere emerso dal suo seppellimento nella neve (Baroni & Orombelli, 1996). Anche numerosi altri reperti botanici (torbiere e tronchi liberati dal ritiro dei ghiacciai) indicano una situazione attuale sostanzialmente nuova negli ultimi 5000 anni.

Utilizzando gli anelli delle piante, i ghiacci e altre evidenze geologiche sono state ricostruite le variazioni della T_{ma} nell'emisfero settentrionale negli ultimi 1000-2000 anni. Da queste ricostruzioni (Mann et al., 2009) si evince che il *Periodo Caldo Medievale* (X-XIII secolo) non è stato una variazione climatica globale ma ha avuto una espressione regionale, localmente superando anche le temperature attuali, come nell'Atlantico settentrionale e nella Groenlandia meridionale; viceversa in vaste regioni (Siberia, Pacifico equatoriale, Atlantico meridionale) la temperatura era inferiore a quella attuale. Anche la Piccola Età Glaciale ha avuto espressioni regionali diverse, anche se meno diversificate.

Complessivamente le temperature dell'ultimo trentennio superano quelle ricostruite per il Periodo Caldo Medioevale dai diversi autori. Inoltre il confronto con le variazioni termiche nel periodo 1979-2005 rivela come in quest'ultimo l'aumento di temperatura sia stato molto più generalizzato: recenti dati mostrano che perfino l'Antartide ha subito un riscaldamento, particolarmente nella sua porzione occidentale.

Conclusioni

Le variazioni climatiche riconosciute nel passato geologico mostrano diverse scale di ampiezza, durata, velocità di cambiamento, estensione areale. Trascurando le variazioni estreme (ere glaciali, lacune glaciali), realizzatesi in tempi geologici lunghi (milioni di anni) e considerando solo quelle avvenute nel passato geologico più recente (ultimo milione d'anni) si distinguono:

1 *Cicli climatici glaciali/interglaciali* (detti anche milankoviani):

- durata: decine di migliaia di anni; periodo: circa 100 000 anni (negli ultimi 900 000 anni); ampiezza: ΔT_{ma} 15°C (Antartide), 20°C (Groenlandia); > 20°C sui continenti alle medie-alte latitudini, 4-6°C alle basse latitudini;
- asimmetrici (lento raffreddamento, lunga fase fredda, riscaldamento molto rapido, breve interglaciale);
- in fase nei due emisferi;
- innescati e scanditi da forzante astronomica, deformati e amplificati da cause interne al sistema climatico (feedback positivi: gas serra, albedo, ecc.).

2 *Variazioni climatiche alla scala del millennio* (dette anche Dansgaard-Oeschger events):

- durata: da numerosi secoli ad alcuni millenni; transizioni rapide (decenni); particolarmente avvertite nell'emisfero settentrionale; ampiezza: ΔT_{ma} 8-16 °C in Groenlandia, 2-4 °C in Antartide;
- accoppiate ma in opposizione di fase nei due emisferi;
- frequenti e accentuate nei periodi glaciali, presenti ma attenuate negli interglaciali;
- non sono variazioni climatiche globali ma risultano da una diversa ripartizione del calore nei due emisferi, probabilmente operata dalla circolazione oceanica;
- instabilità del sistema climatico.

3 *Variazioni climatiche secolari e decennali*:

- durata: da alcuni secoli a numerosi decenni; ampiezza contenuta (ΔT_{ma} fino a 2°C nell'emisfero Nord), assai più ampie variazioni nelle precipitazioni e nel bilancio idrologico, crisi di siccità;
- da regionali a globali;
- attribuite a varie cause: attività solare, attività vulcanica esplosiva, variabilità interna al sistema climatico (ENSO, NAO, ecc.).

Possiamo ora tentare di rispondere alle domande poste inizialmente, ricordando che il cambiamento attuale è globale e relativamente rapido (T_{mag} +0,7 °C/secolo).

Il cambiamento climatico in atto è qualcosa di insolito o rientra nella variabilità climatica naturale? Cambiamenti climatici anche molto più ampi di quello in corso si sono certamente verificati nel passato geologico, in condizioni interamente naturali. Tuttavia un confronto sensato può essere fatto solamente con cambiamenti prodottisi in condizioni generali simili a quelle attuali, o meglio simili a quelle preindustriali. Come a esempio nei precedenti 1000, 2000 o 5000 anni. In questo caso gli esempi portati delle ricostruzioni del clima globale negli ultimi 1000-2000 anni indicano nel cambiamento presente, per la sua globalità e rapidità qualcosa di inusuale. La temperatura media annua globale raggiunta nell'ultimo trentennio risulterebbe superiore a quelle ricostruite negli ultimi due millenni. Per le incertezze insite nelle ricostruzioni paleoclimatiche queste osservazioni non sono conclusive ma possono avere il valore di forti indizi.

L'attuale tendenza al riscaldamento è parte di un ciclo climatico più lungo? La Piccola Età Glaciale è stata una fase plurisecolare di generalizzata avanzata glaciale (in realtà un seguito ravvicinato di avanzate e parziali ritiri non esattamente sincroni nelle diverse regioni montuose) e dal punto di vista termico, a scala emisferica, un intervallo dal XIV/XV al XIX secolo di temperature più fredde di quelle dei secoli precedenti (il Periodo Caldo Medioevale X-XIII secolo), stando alle varie ricostruzioni eseguite per i due passati millenni. Temperature pari a quelle del Periodo Caldo Medioevale sarebbero state raggiunte già alla metà del secolo XX. Il balzo dell'ultimo trentennio (1/2 grado) sembra estraneo alla storia passata.

Vi sono stati periodi caldi o più caldi dell'attuale nei secoli e nei millenni passati? Il Periodo Caldo Medioevale non risulta globalmente avere raggiunto la temperatura attuale anche se localmente (Groenlandia meridionale, Atlantico settentrionale, ecc.) è stato più caldo dell'attuale. Gran parte del continente asiatico risulta essere stata più fredda. Poiché i dati, in particolare nell'emisfero meridionale sono scarsi, occorre prudenza in questi confronti. Tuttavia le sole evidenze storiche sempre riportate (colonizzazione della Groenlandia, viti in Inghilterra, ecc.) appaiono anch'esse non generalizzabili e per altro in accordo con le ricostruzioni paleoclimatiche.

Vengono spesso menzionati altri periodi caldi più antichi (quello romano, quello nell'età del Bronzo) ma di questi si hanno informazioni locali o regionali e mancano conoscenze adeguate a scala globale.

La concentrazione di CO₂ e di altri gas serra è variata anche nel passato? Qui la risposta è sicura: la concentrazione di CO₂ (e di altri gas serra) è variata nel passato geologico, entro limiti assai più ampi. Ma negli ultimi 800 000 anni (e molto probabilmente negli ultimi milioni di anni) non è mai stata così elevata né è mai variata così rapidamente. Il tasso di aumento attuale (quasi 2 ppm/anno) risulta oltre 10 volte più rapido del più elevato tasso osservato nelle “carote” di ghiaccio.

Inoltre del tutto nuova è la causa del suo aumento. In passato le variazioni erano dovute a spostamenti da un serbatoio all’altro (atmosfera, idrosfera, biosfera), tra loro in equilibrio. Ora invece vi è stata un’iniezione forzata di CO₂, prelevata da un serbatoio fossile, in precedenza isolato dagli altri e con essi non comunicante.

I ghiacciai montani sono stati nel passato ridotti quanto o più di ora? Sicuramente sì. Nella prima metà dell’Olocene, nell’emisfero settentrionale i ghiacciai montani erano più ridotti. In Scandinavia erano quasi scomparsi e sulle Alpi vi sono numerose evidenze di ghiacciai più ridotti di quelli attuali. Ma si deve ricordare che la tendenza di lungo termine *nell’emisfero settentrionale* (l’opposto accade nell’emisfero meridionale) è quella di un ulteriore ampliamento dell’area coperta da ghiacciai. E quindi l’attuale fase di ritiro appare anomala anche perché *generalizzata su tutto il globo*. Inoltre se i piccoli ghiacciai sono già molto ridotti, perché rapidamente si mettono in equilibrio con le mutate condizioni climatiche, quelli di maggiore dimensione si riequilibrano con un notevole ritardo. E quindi le dimensioni dettate dalle condizioni climatiche attuali si produrranno tra numerosi anni o decenni. L’attuale fase di ritiro appare più rapida delle precedenti documentate.

Numerose altre domande ci si potrebbe porre, cui rispondere con i dati paleoclimatici. Qui basti sottolineare come lo studio del comportamento del clima nel passato geologico abbia portato a una maggiore comprensione della variabilità del sistema climatico e dei suoi meccanismi, alla individuazione di diversi tipi di variabilità climatica, globali, emisferici, regionali, al riconoscimento di variazioni climatiche improvvise e molto rapide, alla possibilità di un confronto tra il cambiamento attuale e quelli avvenuti nel passato.

BIBLIOGRAFIA CITATA

- AGASSIZ L. (1840), *Études sur les glaciers*, Jent et Gasmann, Neuchatel.
- BARONI C. & OROMBELLI G. (1996), *The Alpine "Iceman" and Holocene Climatic Change*, Quaternary Research, 46, 78-83.
- BROECKER W.S. (1991), *The Great Ocean Conveyor*, Oceanography, 4, 79-89.
- CAZENAIVE A., DOMINH K., GUINEHUT S., BERTHIER E., LLOVEL W., RAMILLIEN G., ABLAIN M. & LARNICOL G. (2009), *Sea level budget over 2003-2008: A reevaluation from GRACE space gravimetry, satellite altimetry and Argo*, Global and Planetary Change, 65, 83-88.
- CROLL J. (1864), *On the physical cause of the change of climate during geological epochs*, Philosophical Magazine, 28, 121-137.
- DANSGAARD W., JOHNSEN S.J., MØLLER J. & LANGWAY C.C. (1969), *One Thousand Centuries of Climatic Record from Camp Century on the Greenland Ice Sheet*, Science, 166, 377-380.
- DANSGAARD W., JOHNSEN S.J., CLAUSEN H.B., DAHL-JENSEN D., GUNDESTRUP N.S., HAMMER C.U., HVIDBERG C.S., STEFFENSEN J.P., SWEINBIØRNSDOTTIR A.E., JOUZEL J. & BOND G. (1993), *Evidence of general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record*, Nature, 364, 218-220.
- DARWIN C. (1839), *Note on a rock seen on an iceberg in 61° South Latitude*, Journal of the Royal Geographic Society, 9, 528-529.
- EMILIANI C. (1955), *Pleistocene temperatures*, Journal of Geology, 63, 538-578.
- EPICA COMMUNITY MEMBERS (2004), *Eight glacial cycles from an Antarctic ice core*, Nature, 429, 623-628.
- EPICA COMMUNITY MEMBERS (2006), *One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica*, Nature, 444, 195-198.
- GREENLAND ICE-CORE PROJECT (GRIP) MEMBERS (1993), *Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core*, Nature, 364, 203-207.
- HAYS J.D., IMBRIE J. & SCHACKLETON N.J. (1976), *Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages*, Science, 194, 1121-1132.
- HOLZHAUSER H., MAGNY M. & H.J. ZUMBÜHL (2005), *Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years*, The Holocene, 15, 789-801.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007), *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4): The Physical Science Basis*, http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf
- KUPER R. & KRÖPELIN S. (2006), *Climate-Controlled Holocene Occupation in the Sahara: Motor of Africa's Evolution*, Science, 313, 803-807.
- LISIECKI L.E. & RAYMO M. E. (2005), *A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records*, Paleoceanography, 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.
- LORIUS C., MERLIVAT L., JOUZEL J. & POURCHET M. (1979), *A 30.000-yr isotope climatic record from Antarctic ice*, Nature, 280, 644-648.

- LOULERGUE L., SCHILT A., SPAHNI R., MASSON-DELMOTTE V., BLUNIER T., LEMIEUX B., BARNOLA J.-M., RAYNAUD D., STOCKER T.F. & CHAPPELLAZ J. (2008), *Orbital and millennial-scale features of atmospheric CH₄ over the past 800,000 years*, *Nature*, 453, 383-386.
- LÜTHI D., LE FLOCH M., BEREITER B., BLUNIER T., BARNOLA J.M., SIEGENTHALER U., RAYNAUD D., JOUZEL J., FISCHER H., KAWAMURA K. & STOCKER T.F. (2008), *High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–800,000 years before present*, *Nature*, 453, 379-382.
- LYELL C. (1830-1833), *Principles of geology, being an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation*, 3 vol., John Murray, London.
- MANN M.E., ZHANG Z., RUTHERFORD S., BRADLEY R.S., HUGHES M.K., SHINDELL D., AMMANN C., FALUVEGI G. & NI F. (2009), *Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly*, *Science*, 326, 1256-1260.
- MILANKOVITCH M. (1941), *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem*, Royal Serb. Acad. Spec. Publ., 133, 633 pp, Belgrade.
- MONNIN E., INDERMÜHLE A., DÄLLENBACH A., FLÜCKIGER J., STAUFFER B., STOCKER T.F., RAYNAUD D. & BARNOLA J.M. (2001), *Atmospheric CO₂ concentrations over the last glacial termination*, *Science*, 291, 112-114.
- NATIONAL SNOW AND ICE DATA CENTER (2010), *Arctic Sea Ice News & Analysis*, <http://nsidc.org/arcticseaicenews/>
- NOAA (2010), NATIONAL OCEANIC & ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>
- OESCHGER H., STAUFFER B., NEFTEL A., SCHWANDER J. & ZUMBRUNN R. (1982), *Atmospheric CO₂ content in the past deduced from ice-core analyses*, *Annals of Glaciology*, 3, 227-232.
- OROMBELLI G. (1996), *Climatic records in ice cores*, *Terra Antarctica*, 3, 63-75.
- PENCK A. & BRÜCKNER E. (1909), *Die Alpen im Eiszeitalter*, 1199 pp, Leipzig.
- SCHACKLETON N. (1967), *Oxygen isotope analyses and Pleistocene temperatures re-assessed*, *Nature*, 215, 15-17.
- STOCKER T.F. & JOHNSEN S.J. (2003), *A minimum thermodynamic model for the bipolar seesaw*, *Paleoceanography*, 18, 1087, doi:10.1029/2003PA000920.
- UNEP (2007), *Global Outlook for Ice & Snow*, http://www.unep.org/geo/geo_ice/PDF/full_report_LowRes.pdf
- UREY H.C., LOWENSTAM H.A., EPSTEIN S. & MCKINNEY C.R. (1951), *Measurements of paleotemperatures and temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark, and the southeastern United States*, *Bulletin of the Geological Society of America*, 62, 399-416.
- VELICOGNA I., 2009, *Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE*, *Geophysical Research Letters*, 36, doi:10.1029/2009GL0.
- WMO (World Meteorological Organization) (2010), *WMO statement on the status of the global climate in 2010*, http://www.wmo.int/pages/publications/showcase/documents/1074_en.pdf
- WORLD GLACIER MONITORING SYSTEM (2010), *Glacier Mass Balance Bulletin No. 11*, <http://www.geo.uzh.ch/microsite/wgms/>