

ANTARTIDE: UN LABORATORIO NATURALE PER LO STUDIO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI GLOBALI PASSATI E FUTURI*

EMILIANO CASTELLANO

FEDERICA MARINO

Dipartimento di Chimica, Università di Firenze

L'Antartide può essere considerato il continente più estremo del pianeta Terra. Con una superficie simile a quella dell'intera Europa, l'Antartide è caratterizzato dalla più bassa densità di popolazione umana: tale densità sarebbe addirittura nulla, se non fosse per le poche migliaia di ricercatori e tecnici che abitano le varie basi sparse nel continente, durante tutto l'arco dell'anno. La ragione di tale bassa densità di popolazione è legata alle proibitive condizioni climatiche che rendono la vita dell'uomo quasi impossibile.

L'Antartide è, infatti, per la quasi totalità, coperto da neve e ghiaccio perenne. La temperatura, a parte brevi periodi concentrati durante l'estate australe, nelle aree più costiere, è costantemente inferiore a 0 °C per tutto l'arco dell'anno. Durante i mesi invernali, invece, la temperatura può raggiungere i -80 °C nelle zone più interne. I venti possono raggiungere i 300 km/ora soprattutto nelle aree costiere: tali venti si chiamano catabatici, si formano nelle zone interne dell'Antartide e aumentano di velocità spostandosi dall'interno del continente verso la costa. La vegetazione è poi praticamente inesistente, limitata a qualche esemplare di lichene che riesce a sopravvivere nelle zone costiere. Inoltre, si tratta di un continente molto isolato rispetto alle altre terre emerse e completamente circondato da oceani. L'Antartide è, infine, caratterizzato da un ciclo giorno/notte veramente estremo, con mesi di luce completa, 24 ore su 24, durante l'estate australe (corrispondente al nostro inverno), e un'oscurità totale nei mesi centrali dell'inverno australe.

Nonostante queste proibitive condizioni, ogni anno centinaia di scienziati e tecnici, provenienti da tutto il mondo, sbarcano sul continente bianco per lavorare a progetti di ricerca di estrema rilevanza scientifica, in svariati campi di studio: dalla biologia alla medicina, dalla geologia all'astronomia, fino alla climatologia, cui è dedicato questo contributo.

Per poter svolgere il loro lavoro, questi ricercatori compiono viaggi a volte estremamente avventurosi e vivono per mesi e mesi in condizioni estremamente difficili, quasi completamente isolati dal resto del mondo. Ma la rilevanza globale dei risultati

* Lezione tenuta l'11 novembre 2009 a Pistoia, presso l'Istituto IPSIA – Pacinotti, nell'ambito dell'edizione 2009 di *Pianeta Galileo*.

scientifici, che possono essere ottenuti dalle ricerche effettuate in Antartide, è tale che ogni difficoltà risulti superabile.

Il presente contributo fornisce alcune preliminari informazioni per scoprire perché questo continente può essere considerato un vero e proprio laboratorio privilegiato per lo studio dei cambiamenti climatici globali passati e futuri e quali sono i metodi che gli scienziati utilizzano in Antartide per lo studio del clima. Inoltre, nell'ultima parte di questo contributo, sono riportati alcuni indirizzi web nei quali si possono trovare numerosi approfondimenti sull'Antartide, le attività scientifiche che si svolgono nelle basi antartiche, il sistema clima e la paleo-climatologia, ovvero lo studio delle variazioni climatiche che hanno interessato il nostro pianeta nel passato.



Figura 1. La base scientifica di Dome C, all'interno del continente Antartico. In questo sito, nell'ambito del progetto europeo EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica) è stata perforata una carota di ghiaccio che ha permesso di studiare le variazioni climatiche avvenute negli ultimi 800.000 anni.

1. Perché è importante studiare il clima

Le problematiche riguardanti il clima del nostro Pianeta sono di estrema attualità e, fortunatamente, la coscienza, dell'importanza degli studi sul clima passato, presente e futuro e i meccanismi che lo regolano e lo possono influenzare, è in continuo aumento. È ormai universalmente accettato che la possibilità di ottenere affidabili indicazioni sulle possibili future evoluzioni del clima della Terra nel caso di differenti scenari politico/economico/industriali – e quindi la possibilità di ideare e applicare efficaci metodi per mitigare l'effetto che massive emissioni di gas serra hanno sul clima – passa dalla conoscenza dei meccanismi alla base dei mutamenti climatici naturali passati. Per questo motivo la ricerca climatica e paleo-climatica è considerata una priorità a livello globale e prevede lo sforzo congiunto, e altamente multi-disciplinare, di numerosi scienziati in tutto il mondo.

Poiché il numero di informazioni, dati e modelli che ogni anno vengono prodotti dai ricercatori operanti nei vari Laboratori, Università e Istituti di Ricerca presenti in tutto il mondo è elevatissimo e in continua crescita, ogni cinque-sei anni un pool di scienziati, esperti delle varie discipline coinvolte nella ricerca climatica, produce una serie di documenti di sintesi che costituisce il principale legame fra il mondo scientifico e il mondo reale, politico ed economico, il cui ruolo è mettere in pratica le raccoman-

dazioni degli scienziati al fine di limitare l'effetto negativo delle attività umane sul clima della Terra. Tale gruppo internazionale di scienziati è noto sotto la sigla IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) e ha prodotto il suo ultimo documento di sintesi nel 2007: per la rilevanza non solo scientifica del lavoro svolto, nel 2007 l'IPCC ha ricevuto il premio Nobel per la Pace.

I risultati presentati nel report IPCC 2007, infatti, sono di fondamentale importanza globale e, purtroppo, per niente rassicuranti. Il riscaldamento del sistema climatico terrestre è definito "inequivocabile", come evidenziato in particolar modo da osservazioni dell'aumento delle temperature medie globali dell'atmosfera e degli oceani, del scioglimento dei ghiacciai e, conseguentemente, dell'aumento del livello medio degli oceani. Per quanto riguarda il più classico segnale di riscaldamento globale, cioè l'aumento della temperatura atmosferica, è stato messo in evidenza come ben 11 degli ultimi 12 anni (1995-2006) sono risultati fra gli anni più caldi dal 1850, quando sono cominciate sistematiche campagne di misurazione della temperatura atmosferica in vari punti del pianeta.

Parallelamente, i dati a nostra disposizione mostrano inequivocabilmente come i principali colpevoli del riscaldamento globale siano composti chimici noti come gas serra, di cui l'anidride carbonica e il metano sono i principali rappresentanti. I gas serra sono i principali responsabili del cosiddetto Effetto Serra antropogenico – che determina un aumento della temperatura atmosferica media globale – a causa dell'importante ruolo che giocano nel bilancio energetico del Pianeta, ovvero l'interazione fra il sistema pianeta Terra e il vero motore del cambiamento climatico naturale, l'energia solare.

A causa delle attività umane, principalmente l'attività industriale, il traffico veicolare, ma anche l'agricoltura estensiva, le emissioni di gas serra in atmosfera sono cresciute dal periodo pre-industriale, con un aumento di circa il 70% fra il 1970 e il 2004. Le concentrazioni di gas serra attualmente presenti in atmosfera sono le più alte mai registrate direttamente, o memorizzate in archivi climatici relativi anche a centinaia di migliaia di anni fa, come le carote di ghiaccio che saranno dettagliatamente descritte più avanti.

Il dato più preoccupante riguarda, però, i possibili scenari futuri: i documenti dell'IPCC indicano che i modelli climatici prevedono che, perseverando con le attuali politiche economiche globali, le emissioni di gas serra continueranno ad aumentare nelle prossime decadi. Anche nel caso dei più ottimistici scenari economico-politici futuri, la temperatura è destinata ad aumentare, anche se le stime possono variare fra +2°C e +4°C, in dipendenza delle differenti ipotesi riguardanti lo sviluppo tecnologico applicato alla mitigazione degli effetti negativi sul clima e la possibile cooperazione fra i governi e le economie mondiali. I possibili effetti di tali variazioni climatiche non riguardano solo la temperatura atmosferica; a causa delle interazioni fra i vari compartimenti climatici, infatti, sono previsti a livello globale anche effetti sull'estensione delle aree glaciali, sul livello dei mari, l'aumento della desertificazione di aree prossime agli attuali grandi deserti (ad esempio l'area Mediterranea), l'intensificarsi di eventi estre-

mi, quali piogge torrenziali, tornado e ondate di calore, e anche effetti sugli ecosistemi terrestri che sono ormai all'ordine del giorno.

L'IPCC è composto da ricercatori provenienti da un elevato numero di discipline scientifiche: fisici, chimici, biologi, geologi, climatologi, matematici, statistici. Il clima è infatti uno dei sistemi più complessi da studiare e descrivere mediante modelli fisico-matematici, in quanto ogni componente del sistema terra contribuisce all'instaurarsi di un determinato scenario climatico. Per semplicità il sistema climatico della terra può essere diviso in cinque componenti principali: l'Idrosfera (composto da oceani, laghi, fiumi, etc), la Criosfera (ghiacciai, ghiaccio marino, calotte polari), l'Atmosfera, la Biosfera (fauna e flora) e la Litosfera. Tali componenti interagiscono incessantemente fra di loro scambiandosi flussi di calore, flussi di energia e flussi di materia: le interazioni fra le componenti sono favorite da alcuni cicli fondamentali che esistono in natura, quali quello dell'acqua e quello del carbonio. Questi flussi di calore, massa ed energia sono alla base della regolazione e dell'evoluzione del clima terrestre e devono essere quindi tutti studiati e compresi contemporaneamente, al fine di ottenere modelli climatici sempre più prossimi alla realtà.

A causa dell'estrema complessità del sistema climatico e del possibile effetto sulle condizioni climatiche globali di variazioni esterne al nostro pianeta (ad esempio variazioni dell'irraggiamento solare e/o della distanza e posizione relativa di Sole e Terra), non è sufficiente osservare la variazione delle attuali condizioni climatiche, ma è molto importante anche ottenere informazioni sulle variazioni climatiche naturali passate, avvenute in periodi in cui l'effetto dell'attività umana era nullo. Infatti, il clima terrestre passato (ad esempio 20.000 o 120.000 anni fa) era molto diverso da quello attuale, e molto più di quanto sia cambiato durante le ultime centinaia di anni, per effetto dell'attività umana.

Basti pensare, come esempio, che 20.000 anni fa tutto il Nord Europa e gran parte degli USA erano coperti da una spessa coltre di ghiaccio (dell'ordine delle migliaia di metri) e che 120.000 anni fa la Florida era in gran parte ricoperta dal mare. Questi dati non devono però indurre a concludere che la preoccupazione per l'effetto delle attività antropiche sul clima sia eccessiva, considerato che variazioni climatiche anche più estreme di quelle ipotizzate dai modelli dell'IPCC sono già avvenute in passato per cause naturali! Le variazioni passate, infatti, derivano da meccanismi naturali che ciclicamente determinano il passaggio da condizioni climatiche più miti a veri e propri regimi glaciali: si tratta però, di cicli *naturali* di cui si conoscono i ritmi e gli effetti, mentre le attuali variazioni climatiche di natura antropogenica possono portare a scenari non noti e ai quali il sistema Terra, probabilmente, non riuscirà a reagire se non mediante mutazioni che influenzeranno radicalmente la vita dell'uomo sul pianeta.

È per questa ragione che uno dei maggiori sforzi degli studiosi che si occupano di clima è indirizzato all'individuazione e allo studio di archivi climatici naturali, ovvero sistemi naturali che sono in grado di registrare le variazioni climatiche passate. Tali archivi sono veri e propri libri naturali sulle cui pagine è scritta la storia climatica del

nostro Pianeta: purtroppo a volte queste pagine sono scritte con un alfabeto che facciamo fatica a comprendere, e tutto da decifrare... Interpretare il contenuto di queste pagine è il principale lavoro dei paleo-climatologi.

2. Archivi e *proxies* climatici

Con il termine “archivio climatico” s’intende un sistema naturale che presenta alcune caratteristiche che variano in maniera misurabile al variare di uno o più aspetti delle condizioni climatiche del Pianeta. Ogni grandezza, chimica o fisica, la cui concentrazione o intensità varia per effetto delle condizioni climatiche, si indica con il termine *proxy* climatico.

Fortunatamente esistono numerose tipologie di archivio climatico, anche molto diverse fra loro, differenti per il tipo di informazione climatica che sono in grado di fornire, per estensione del periodo temporale coperto, per risoluzione temporale (ovvero il minimo periodo di tempo – mesi, anni, secoli, millenni – per il quale possono essere ottenuti dati climatici), per rilevanza geografica (locale, regionale, emisferica o globale). Tra le diverse tipologie di archivio climatico possono essere elencate:

- Record storici di varia natura: tra questi, ad esempio, i diari redatti da monaci, capitani di vascello o altre figure che in epoche passate appuntavano con dovizia di particolari le variazioni delle condizioni climatiche. Questa categoria di archivi climatici è caratterizzata da una distribuzione molto sporadica sia nello spazio che nel tempo, una rilevanza molto locale, e un elevato grado di soggettività dei dati;
- Anelli legnosi: le variazioni dello spessore e della densità degli anelli legnosi annuali sono legate alle variazioni di temperatura atmosferica. Per effetto della forte ciclicità annuale degli anelli legnosi, la risoluzione temporale è molto elevata, anche se l’estensione temporale non supera, nei casi più favorevoli, le migliaia di anni. Questi archivi registrano, inoltre, l’effetto sulla temperatura atmosferica degli intensi eventi vulcanici di rilevanza globale;
- Coralli: questi organismi costruiscono il loro scheletro utilizzando il carbonato di calcio estratto dall’acqua di mare. La composizione chimica dello scheletro dei coralli può essere utilizzata per determinare la temperatura dell’acqua in cui i coralli sono cresciuti. Lo studio di coralli fossili, come nel caso degli anelli legnosi, permette di ottenere ricostruzioni paleo-climatiche relative a periodi dell’ordine delle decine di migliaia di anni, con una risoluzione, in alcuni casi, annuale;
- Pollini: lo studio e il riconoscimento dei pollini fossili intrappolati in alcuni archivi climatici, quali ad esempio sedimenti oceanici o continentali, permettono di studiare lo spostamento geografico della vegetazione in risposta allo spostamento delle fasce climatiche;

- Sedimenti oceanici: il fondale oceanico è in continua evoluzione, a causa del continuo deposito di materiale proveniente dagli strati più superficiali dell'oceano. La composizione chimica di tale materiale dipende fortemente dalle condizioni climatiche, quali, ad esempio, la temperatura oceanica. Anche la tipologia degli organismi che vengono depositati sul fondale oceanico permette di ottenere importanti informazioni sulla temperatura oceanica e la direzione e l'intensità delle principali correnti oceaniche profonde. Poiché gli oceani, e in particolare le principali correnti, rivestono un ruolo fondamentale nella regolazione delle condizioni climatiche e nel trasferimento di energia in varie zone del pianeta (basti pensare, ad esempio, all'effetto della famosa Corrente del Golfo sul clima del Nord Europa), le carote di sedimento oceanico sono fra gli archivi climatici più esplorati. Inoltre, a causa della bassa velocità di sedimentazione oceanica, tali archivi permettono di ricostruire le variazioni climatiche relative a un periodo temporale che può raggiungere le decine di milioni di anni;
- Carote di ghiaccio (*Ice Cores*): cilindri di neve e ghiaccio prelevati nelle calotte polari o in ghiacciai temperati. La rilevanza scientifica dei numerosi dati che possono essere ottenuti dallo studio di una carota di ghiaccio, giustifica una descrizione più dettagliata di tali archivi climatici.

3. Le carote di ghiaccio

Con questo termine si indica un lungo cilindro di ghiaccio ottenuto dalla perforazione verticale di un ghiacciaio o una calotta glaciale dalla superficie nevosa fino alla roccia sottostante, il cosiddetto *bedrock*. Le carote di ghiaccio più lunghe sono state ottenute dalla perforazione delle calotte polari, in Groenlandia e Antartide, mentre carote più brevi possono essere perforate anche in ghiacciai temperati, ad esempio sulle Ande o sulle Alpi.

Per quanto riguarda le carote polari, la massima lunghezza può superare i tremila metri e il periodo temporale coperto può arrivare a quasi un milione di anni. Questa ottima estensione temporale è spesso accompagnata da un'elevata risoluzione temporale che, in alcuni casi, può essere addirittura annuale, rispetto ad altri archivi quali le carote oceaniche.

La principale caratteristica delle carote di ghiaccio consiste nell'elevato numero di *proxy* climatici, che possono essere studiati dall'analisi chimica e fisica dei campioni di ghiaccio, e quindi nell'elevato numero di informazioni paleo-climatiche che possono essere ottenute; tali informazioni spaziano dai livelli dei gas serra in atmosfera, alla temperatura atmosferica e degli oceani, dall'estensione del ghiaccio marino attorno alle calotte polari, all'estensione delle regioni desertiche continentali ecc.

Il meccanismo per cui le carote di ghiaccio costituiscono archivi naturali paleo-climatici è il seguente: le varie sostanze, solide e gassose, che sono presenti nell'atmosfera, si depositano sulla superficie nevosa sia per deposizione secca, nel caso di

bassi livelli di accumulo nevoso annuale (come ad esempio all'interno del continente antartico, dove, a causa delle bassissime temperature medie annuali, l'accumulo di neve annuale non supera la decina di centimetri), sia per dilavamento da parte della neve stessa. In entrambi i casi, una volta deposte sulla superficie nevosa, tali sostanze vengono intrappolate dalla neve stessa e archiviate indisturbate nel tempo; l'analisi di tali sostanze in campioni di ghiaccio prelevati lungo le carote permettono, quindi, di ricostruire la variazione della composizione dell'atmosfera nel tempo. Poiché la composizione dell'atmosfera è determinata dalle condizioni climatiche, l'analisi chimica e fisica delle carote di ghiaccio permette, in ultima analisi, di studiare le variazioni passate del clima terrestre.

Tra i vari parametri che possono essere analizzati in una carota di ghiaccio è importante citare:

- Gas serra, principalmente anidride carbonica (CO_2), metano (CH_4), ossidi di azoto (NO_x): le carote di ghiaccio sono l'unico archivio paleo-climatico in grado di registrare le variazioni nel tempo della concentrazione di tali gas. A causa del ruolo fondamentale giocato dai gas serra nei meccanismi alla base del sistema clima, le stratigrafie di tali composti costituiscono uno dei punti di forza delle carote di ghiaccio. Microscopiche bollicine di gas serra rimangono intrappolate nel ghiaccio, durante il processo di passaggio da neve a ghiaccio, che avviene a una profondità di circa 80-100 m dalla superficie nevosa. Negli strati più superficiali delle calotte di ghiaccio, infatti, la neve ha una densità molto bassa ed è caratterizzata dalla presenza di numerosi pori che permettono un contatto diretto fra la neve e l'atmosfera sovrastante. In questa zona della carota di ghiaccio, i gas non sono intrappolati e la loro concentrazione è quindi in equilibrio con quella degli stessi in atmosfera. All'aumentare della profondità, però, il peso della neve sovrastante determina l'aumento della densità della neve, fino a raggiungere la densità massima del ghiaccio, e la chiusura dei pori: in questa zona della carota di ghiaccio i gas non sono più in contatto con l'atmosfera, e vengono quindi preservati indisturbati nel tempo. Lo studio della variazione delle concentrazioni di gas serra in atmosfera ha permesso di evidenziare il legame diretto fra questi componenti e la temperatura atmosferica e, quindi, il ruolo fondamentale che giocano nel cosiddetto effetto serra. I profili di gas serra ottenuti dall'analisi delle carote di ghiaccio hanno anche permesso di evidenziare come i valori attualmente presenti in atmosfera di CO_2 , CH_4 e NO_x , sono di gran lunga i più elevati dell'ultimo milione di anni, confermando il massivo apporto dovuto alle attività umane;



Figura 2. Bollicine di gas serra intrappolate all'interno di un campione di ghiaccio estratto dalla carota di ghiaccio EPICA-Dome C.

- **Isotopi dell'Ossigeno e dell'Idrogeno:** la composizione isotopica di Idrogeno e Ossigeno – gli elementi che compongono la molecola di acqua, ovvero i principali componenti del ghiaccio – dipende dalla temperatura dell'atmosfera e degli oceani al momento della deposizione della neve. È per questo motivo che, una volta nota la relazione fra temperatura e composizione isotopica, è possibile ricostruire profili di temperatura atmosferica dai campioni di ghiaccio, e utilizzare le carote di ghiaccio come dei veri e propri paleo-termometri. È proprio grazie alla contemporanea analisi della composizione isotopica e delle concentrazioni dei gas serra che è stato possibile indagare la stretta connessione fra temperatura e composizione dell'atmosfera in termini di concentrazione di gas serra;
- **Composti chimici solubili:** fanno parte di questa classe di proxy un numero elevato di composti chimici, fra cui sodio, magnesio, calcio, cloruri, nitrati, solfati, etc. Ognuno di questi composti ha una differente origine e può quindi dare informazioni relative a differenti aspetti paleo-climatici e paleo-ambientali. Il sodio e i cloruri, ad esempio, provengono principalmente dall'acqua di mare: le variazioni di concentrazione di questi due componenti nel ghiaccio, quindi, dipendono dal numero di micro-gocce di spray marino che dall'oceano raggiungono l'interno delle calotte fino ai punti di perforazione delle carote di ghiaccio. A causa dell'elevata distanza che spesso separa i siti di perforazione dalla costa e dal margine del ghiaccio marino, la circolazione atmosferica, e quindi il sistema dei venti, gioca un ruolo fondamentale nella modulazione delle concentrazioni di queste due sostanze. È per questo motivo che lo studio delle stratigrafie di sodio e cloruri permette di ottenere informazioni circa i passati regimi di venti e di circolazione atmosferica e circa l'estensione del ghiaccio marino intorno al continente antartico;

- **Polveri minerali:** l'aerosol minerale, comunemente indicato con il termine *dust*, è uno dei più studiati proxy paleo-climatici fra i molti archiviati nelle carote di ghiaccio. Infatti molte informazioni possono essere ottenute dallo studio delle stratigrafie dei flussi di *dust* depositi, dalle variazioni della dimensione delle polveri, nonché da variazioni della loro composizione isotopica, geochimica e mineralogica. In particolare, le variazioni di massa deposta nei differenti regimi climatici mostrano una forte anticorrelazione con la temperatura atmosferica e possono essere messe in relazione con variazioni dell'intensità del trasporto atmosferico e dell'aridità alle fonti continentali. La dimensione media delle particelle di *dust* è un importante parametro per lo studio di variazioni dell'intensità e dei meccanismi di trasporto atmosferico. Infine lo studio della composizione isotopica, geochimica e mineralogica delle polveri permette di ottenere informazioni riguardo alle aree sorgenti di polveri e, conseguentemente, alle condizioni paleo-ambientali nelle aree continentali;
- **Composti di origine vulcanica:** anche alcuni composti, sia solubili che insolubili, che vengono emessi in atmosfera durante eruzioni vulcaniche esplosive, vengono intrappolati nel ghiaccio. Tra i composti solubili i principali sono i solfati, che si formano per ossidazione in atmosfera della SO_2 emessa durante le eruzioni vulcaniche. Poiché, in caso di eruzioni particolarmente esplosive, la SO_2 può essere immessa anche direttamente nella stratosfera, i solfati possono essere trasportati anche a lunga distanza: la calotta polare antartica, infatti, può registrare la deposizione di solfati emessi durante eventi vulcanici avvenuti anche alle basse latitudini equatoriali. L'analisi delle deposizioni di solfati che si sono susseguite nel tempo permette lo studio della variazione dell'attività vulcanica passata. In caso di eventi vulcanici locali o regionali, anche particelle insolubili di dimensioni maggiori rispetto al *dust* continentale possono essere depositate sulla superficie nevosa e rimanere poi intrappolate nel ghiaccio. L'analisi geo-chimica di queste particelle permette di capire da quale vulcano sono state emesse, così da dare informazioni circa i meccanismi di circolazione atmosferica. I livelli vulcanici possono anche essere utilizzati come livelli temporali e giocano un importante ruolo per la datazione delle carote di ghiaccio.



Figura 3. Strato di cenere vulcanica intrappolata nel ghiaccio della carota EPICA-EDML.

4. Alcuni link per approfondire

Infine, per chi fosse interessato ad approfondire alcuni degli aspetti che in queste pagine, per ragioni di brevità e semplicità, sono stati soltanto accennati, qui di seguito sono riportati alcuni indirizzi internet dove è possibile ottenere notizie, immagini, dati e figure:

<http://www.pnra.it/>; <http://www.italiantartide.it>

Questi sono i due siti ufficiali del Progetto di Ricerche in Antartide Italiano, dove potrete trovare numerose informazioni circa le attività svolte dai ricercatori italiani in Antartide (non solo per quanto riguarda lo studio del clima), le basi scientifiche, i mezzi che vengono utilizzati per raggiungere l'Antartide e muoversi in questo sconfinato continente, e molto altro.

<http://www.concordiabase.eu/>

Sito ufficiale della base italo-francese di Dome C, all'interno del continente antartico, dove ogni anno sedici ricercatori vivono e lavorano per mesi completamente isolati dal resto del mondo e in condizioni climatiche proibitive.

<http://www.esf.org/index.php?id=855>

Sito ufficiale del progetto europeo EPICA, il più importante progetto di perforazione profonda della calotta antartica, a cui hanno partecipato anche numerosi ricercatori italiani.

<http://www.taldice.org/>

Sito ufficiale del progetto TALDICE, un altro progetto europeo di perforazione in Antartide in cui l'Italia gioca un ruolo leader, sia in campo logistico che scientifico.

<http://www.ipcc.ch/>

Sito ufficiale dell'IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, dove possono essere scaricati tutti i documenti di sintesi ufficiali prodotti dai vari ricercatori coin-

volti, le linee guida per i governi, immagini e presentazioni che illustrano, anche per i meno esperti, le importanti conclusioni a cui è giunto l'IPCC. Un interessante link in italiano su questi argomenti è: <http://clima.casaccia.enea.it/ipcc/focalpoint/>

<http://www.pages-igbp.org/>

Sito molto completo del progetto PAGES (Past Global Changes) che si occupa di coordinare e promuovere la ricerca sui cambiamenti climatici globali passati. Questo sito, solo in inglese, è una fonte molto preziosa di informazioni riguardanti la paleoclimatologia.