

## Geologia e cambiamento climatico: vent'anni di studi

Giuseppe Orombelli

Da anni, ormai, il cambiamento climatico è argomento di un acceso dibattito che coinvolge gli ambienti scientifici, economici, politici e l'intera società. Su questo tema si confrontano posizioni contrastanti, messe in particolare risalto dai mezzi di comunicazione, così che l'opinione pubblica ne rimane perplessa e disorientata. Sulla realtà ed entità del cambiamento climatico in corso i dati raccolti appaiono ormai ragionevolmente certi, ma su alcuni aspetti cruciali le conoscenze sono ancora inadeguate e ciò è fonte d'incertezza, soprattutto per l'interpretazione dei fenomeni, la valutazione delle cause, la previsione degli sviluppi futuri, ed ancor più, sugli interventi che possono essere intrapresi per attenuarne gli effetti negativi.

Il clima terrestre è un sistema altamente complesso azionato dall'energia solare, nel quale interagiscono diversi sottosistemi, principalmente l'atmosfera, gli oceani, i ghiacci, la superficie terrestre e la vita. Ogni variazione nella sorgente di energia o in ogni singolo sottosistema può produrre una variazione climatica.

Le prime misure meteorologiche strumentali risalgono al XVII secolo, ma soltanto dalla metà dell'Ottocento esiste una rete di stazioni meteorologiche diffuse sull'intera Terra, dalle quali si può ricavare una registrazione delle variazioni climatiche alla scala globale. In un campione di tempo di soli 150 anni si possono riconoscere variazioni climatiche di modesta ampiezza e di breve durata. Per conoscere la variabilità climatica su scale di tempi e ampiezze maggiori occorre estendere le ricerche indietro nel passato. Diverse discipline vi sono impegnate ma i risultati, al contempo più ampi e dettagliati, sono quelli prodotti in ambito geologico. Sin dalle sue origini la Geologia ha identificato nella successione delle rocce e dei fossili le evidenze di grandiosi cambiamenti climatici nel remoto passato, ma soltanto dalla seconda metà del secolo scorso la "Paleoclimatologia" è divenuta una disciplina capace di descrivere il clima nel passato ed i suoi cambiamenti in termini numerici, confrontabili con quelli strumentali. Le condizioni climatiche attuali e il cambiamento climatico in corso possono quindi essere confrontati con quelli del passato, per accertare se sono del tutto naturali o invece inusuali, per comprendere le modalità ed i tempi delle variazioni climatiche, distinguendole in funzione della loro durata ed ampiezza e individuandone le cause.

La storia del clima e degli ambienti passati viene decifrata principalmente nelle successioni continue e indisturbate di sedimenti marini e nei ghiacci delle calotte polari. Nei sedimenti dei fondi oceanici gli studi biostratigrafici e geochimici hanno da tempo individuato, negli ultimi milioni di anni, una successione di "stadi isotopici", espressione di oscillazioni climatiche quasi periodiche (della durata di decine di migliaia di anni), attribuite a variazioni dei parametri orbitali della Terra.

Lo stesso schema di oscillazioni climatiche è stato riconosciuto anche nelle “carote” di ghiaccio estratte dalle calotte polari della Groenlandia e dell’Antartide. In queste il tempo esplorato è molto più breve (fino ad ora gli ultimi ottocento mila anni), ma la varietà di informazioni ottenute, direttamente connesse alla storia del clima e dell’atmosfera, è assai maggiore e la risoluzione temporale più elevata. I ghiacci polari, infatti, altro non sono che la sequenza delle neviccate, nelle quali sono rimasti registrati i caratteri chimici e fisici dell’atmosfera nella quale si sono prodotte. In tal modo è possibile conoscere la composizione chimica dell’aria nel passato (inclusa la concentrazione dei gas serra), la quantità, la natura e la provenienza delle polveri sospese, la temperatura, le precipitazioni, la circolazione atmosferica e i caratteri delle masse d’aria, l’estensione dei ghiacci marini e molti altri aspetti di significato climatico. Si è così appreso come il sistema climatico nelle sue diverse componenti si comporta nel corso delle sue variazioni, quali relazioni legano tra loro le diverse variabili (ad esempio temperatura e gas serra), quali possibili fenomeni di feedback operano nel sistema. Nei ghiacci della Groenlandia si è scoperto che nel passato si sono prodotte variazioni climatiche repentine: nell’arco di una vita umana (alcuni decenni) si sono prodotte variazioni della temperatura media annua di 10-15°C, di poco inferiori a quelle dei cicli glaciali/interglaciali. Queste variazioni sono state molto frequenti nei periodi glaciali, ma si sono manifestate, con altre modalità, anche nei periodi interglaciali, come in quello attuale. A scala di tempi più breve la variabilità climatica ha avuto globalmente ampiezza più contenuta, ma con espressioni locali anche acute, nelle regioni al limite delle disponibilità idriche (regioni semiaride) o al limite delle temperature utili per le piante (alte latitudini e altitudini), con conseguenze sociali in epoca storica e preistorica. Nei ghiacci polari, infine, sono evidenti e misurabili le alterazioni prodotte dall’uomo nell’atmosfera.

Tre sono i principali fatti nuovi documentati dalle “carote” di ghiaccio: i) le variazioni climatiche maggiori, innescate dalle variazioni dei parametri orbitali terrestri, sono state amplificate e deformate da feedback interni al sistema climatico (gas serra, polveri atmosferiche, estensione dei ghiacci, ecc.); ii) i gas serra non hanno mai raggiunto, negli ultimi ottocentomila anni, i valori di concentrazione attuali, causati dalle attività umane negli ultimi due secoli; CO<sub>2</sub>, metano e N<sub>2</sub>O hanno superato del 38%, del 140% e del 20%, rispettivamente, i valori preindustriali; iii) il sistema climatico terrestre è instabile ed esposto a importanti variazioni, del tutto improvvise, che possono realizzarsi in pochi decenni.

Molti altri importanti contributi le conoscenze geologiche hanno apportato al dibattito sul cambiamento climatico e i suoi effetti, in particolare per quanto riguarda le variazioni di dimensioni dei ghiacciai e la risalita del livello degli oceani.