

GIULIO ANTONIO VENZO

DIVAGAZIONI SU CLIMA, RISCALDAMENTO GLOBALE E INQUINAMENTO

ABSTRACT - VENZO G.A., 2009 - Considerations on climate, global warming and pollution.

Atti Acc. Rov. Agiati, a. 259, 2009, ser. VIII, vol. IX, B: 5-18.

Reference is made to the factors governing climate and its changes – solar energy, eccentricity of the Earth's orbit, tilt and precession of its axis, the greenhouse effects of the atmosphere and gases that cause it – taking account of climatic cycles in remote geological times, prehistoric and historic ages, and the problem of the global pollution, with considerations to contrasting opinions on the causes of current global warming and its consequences for the environment.

KEY WORDS - Climatology, Global warming, Environmental pollution.

RIASSUNTO - VENZO G.A., 2009 - Divagazioni su clima, riscaldamento globale e inquinamento.

Con riferimento ai fattori che regolano il clima e i suoi cambiamenti – energia solare, forma dell'orbita della Terra, inclinazione e orientamento (precessione) del suo asse di rotazione, effetto serra dell'atmosfera e gas che ne sono le cause – sono ricordati cicli climatici succedutisi in periodi geologici remoti, in epoche preistoriche, storiche e nel più recente passato e il problema dell'inquinamento, con considerazioni sulle divergenti opinioni sulle cause del riscaldamento globale in atto e delle sue conseguenze sull'ambiente.

PAROLE CHIAVE - Climatologia, Riscaldamento globale, Inquinamento ambientale.

Fino a non molti anni fa cambiamenti climatici e inquinamento atmosferico erano argomenti piuttosto trascurati dai mezzi di informazione e per conseguenza non interessavano più di tanto l'opinione pubblica. Furono le conclusioni della «Conferenza delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici», tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992 a portare alla ribalta le molteplici problematiche del riscaldamento globale e dell'in-

quinamento, con il conseguente e sotto certi aspetti inevitabile corollario di previsioni più o meno catastrofiche.

Da allora fu un susseguirsi di convegni, conferenze, iniziative di associazioni nazionali e internazionali, pubbliche e private, che portarono al «Protocollo Internazionale di Kyoto» del 1997, concordato nell'intento di ridurre globalmente l'emissione di gas-serra prodotti dalla utilizzazione dei combustibili fossili non rinnovabili (petrolio, carbone, metano) e, più in generale, provenienti dalle molteplici attività essenziali dell'uomo moderno. Poi, nel 2007, alla «Conferenza di Bali», 200 esperti di tutto il mondo sottoscrissero un documento di pressante esortazione ai governi ad emanare provvedimenti legislativi intesi a contenere le sempre maggiori emissioni di gas-serra, ritenute «l'agente principale responsabile del progressivo riscaldamento climatico in atto».

Va premesso che il «riscaldamento globale» (*global warming*) dal punto di vista scientifico è l'aumento climatico dipendente dalla variabilità di certe cause naturali astronomiche (cicli solari, moti della Terra) e della composizione gassosa dell'atmosfera.

Il principale regolatore del clima è l'energia proveniente dal Sole, stella di medie dimensioni, costituita quasi totalmente da idrogeno (92%) e da elio (7%), con in più altri elementi, presenti però solo in tracce.

Il Sole irraggia nello spazio un flusso di particelle (protoni ed elettroni) del cosiddetto «vento solare» e una quantità enorme di radiazioni elettromagnetiche che arrivano alla superficie terrestre come luce visibile e raggi infrarossi invisibili.

La quantità di energia solare irradiata (insolazione) non è costante, ma varia secondo periodi più o meno lunghi detti «cicli solari». Nell'arco dell'ultimo millennio l'attività energetica del Sole, accompagnata da aumento in quantità ed estensione delle macchie solari, mai è stata tanto elevata come negli ultimi 60 anni.

La Terra è il più grande degli otto principali pianeti del sistema solare. È formata da tre involucri concentrici: 1) il nucleo, solido, costituito in prevalenza da ferro con nichel; 2) il mantello di rocce ultrabasiche, prevalentemente solido tranne uno strato intermedio altamente viscoso (astenosfera); 3) la crosta (o litosfera) solida, di rocce acide e basiche. La crosta è ricoperta, ma solo parzialmente, dal quarto involucro che è liquido e discontinuo, costituito dagli oceani e dai mari. Il tutto è avvolto da un quinto involucro gassoso, l'atmosfera che solidale con la Terra, ruota anch'essa attorno al Sole.

La densità della materia dell'interno della Terra è molto alta, ma

non omogenea; aumenta in profondità dai $2,8\text{g}/\text{cm}^3$ della litosfera fino ad arrivare ai $13\text{g}/\text{cm}^3$ del nucleo.

L'orbita di 940 Ml di km della sua rivoluzione attorno al Sole che la Terra percorre in 365 giorni alla velocità di 30 km/secondo è la ellittica, detta anche eccentrica. Infatti la sua forma muta da quasi circolare a ellissoidale, secondo cicli che si compiono nell'arco di 96.000 anni. Il fenomeno è regolato dalle forze di attrazione gravitazionale esercitate sulla Terra dagli altri pianeti del sistema solare.

Con il variare della forma dell'orbita, varia ovviamente la distanza della Terra dal Sole e di conseguenza anche l'intensità delle radiazioni solari che arrivano a noi.

Secondo cicli della durata di 41.000 anni, cambia anche l'angolo di inclinazione dell'asse terrestre. Quando questo angolo è al massimo ($24^{\circ}20'$) è massimo anche il divario fra temperature estive e invernali; quando è al minimo ($21^{\circ}55'$) le differenze climatiche stagionali sono anch'esse al minimo.

Il valore attuale dell'angolo di inclinazione dell'asse terrestre è $23^{\circ}50'$, vicinissimo al massimo; per questo attualmente l'escursione termica fra estate e inverno è alta e più accentuata nelle regioni polari.

Se l'asse terrestre fosse sempre verticale non ci sarebbe l'alternanza delle stagioni, ma ce ne sarebbe una sola e invariabile per ciascuna latitudine, così come ora avviene solo all'equatore.

Muta nel tempo anche l'orientamento dell'asse di rotazione della Terra verso le stelle fisse. Il fenomeno, noto come «precessione degli equinozi», avviene perché la Terra ruota attorno al proprio asse oscillando con movimenti paragonabili a quelli di una trottola in movimento. In tal modo l'asse descrive verso la volta celeste un moto conico che si chiude nell'arco di circa 26.000 anni. Ciò è dovuto al fatto che il nostro pianeta non è una sfera perfetta, bensì uno «sferoide oblato» perché è leggermente rigonfio all'equatore e appiattito ai poli per le deformazioni provocate dalle forze di attrazione esercitate dal Sole e dalla Luna (maree terrestri).

La precessione degli equinozi comporta il cambiamento delle date del perielio (massima vicinanza della Terra al Sole) e dell'afelio (massima distanza). Attualmente l'emisfero più vicino al perielio è il nostro; ed è per questo che da noi gli inverni sono meno freddi di quelli dell'emisfero sud.

L'effetto serra è il fenomeno che regola il clima sui pianeti o loro satelliti del sistema solare per effetto di alcuni gas, aventi la proprietà di

assorbire e rimettere la parte infrarossa della insolazione, presenti nelle loro atmosfere.

Il clima del nostro pianeta sarebbe ben diverso da quello che è se non ci fosse l'atmosfera con i suoi gas serra a regolare, attenuandoli, gli effetti sul clima determinati in primis da fattori astronomici. L'atmosfera fa anche da scudo alla Terra dalle miriadi di piccole meteore che si autodistruggono per il fortissimo calore da attrito che esse sviluppano attraversandola. E ci protegge anche dalle particelle del vento solare.

Le più antiche emissioni di gas-serra nella primitiva atmosfera sono arrivate da grandi eruzioni vulcaniche. Ed è proprio grazie a quel primordiale effetto serra che sul nostro pianeta si instaurò un clima che ha consentito la nascita e poi favorito lo sviluppo degli esseri viventi.

L'atmosfera, sempre più rarefatta dal basso all'alto, non ha un limite superiore ben definito. Fino a 500 km di altezza la si considera suddivisa in cinque strati sovrapposti: la troposfera, la stratosfera, la mesosfera, la termosfera e la esosfera che è zona di transizione graduale al vuoto cosmico.

Considerata nella sua totalità, l'atmosfera è costituita quasi esclusivamente da azoto (78,08%) e ossigeno (20,95%), ambedue nella loro forma chimica biatomica e per il restante 1% da anidride carbonica, vapore acqueo e altri gas (argo, neon, elio, idrogeno, xenon). All'incirca il 75% dell'atmosfera totale è concentrato nella troposfera, il cui spessore medio di 12 km, è massimo all'equatore e minimo ai poli.

È soltanto nella troposfera, dove la temperatura diminuisce verso l'alto in media di 6° ogni 1000 m. fino a un minimo di -70°, che avvengono tutti i fenomeni meteorologici.

Di norma l'effetto serra è minore in estate che in inverno, benché l'intensità delle radiazioni solari sia maggiore. Ciò avviene perché in estate i due principali gas serra, il vapor d'acqua e l'anidride carbonica, sono nell'aria in quantità minori. In estate c'è meno vapor acqueo per il prevalente stato di secchezza del clima; e c'è anche meno anidride carbonica perché è massima la sua utilizzazione da parte degli organismi vegetali, ai quali è indispensabile al loro ciclo vitale della fotosintesi clorofilliana.

Sui pianeti del nostro sistema solare privi di atmosfera l'escursione termica fra il giorno e la notte è altissima: su Marte la temperatura diurna è + 37°, la notturna -123. Per contro su Venere l'effetto serra della sua densissima atmosfera è talmente forte che alla sua superficie la temperatura diurna arriva a + 460°.

I principali gas serra sono i seguenti:

- a) il vapore acqueo, ossia acqua (H_2O) allo stato di gas, responsabile

dell'effetto-serra per il 75% del totale (ma secondo alcuni per percentuali anche maggiori). La sua presenza nell'aria come umidità è però variabile. Non è inquinante.

- b) l'anidride carbonica (CO_2), in ordine di importanza è il secondo dei gas responsabili dell'effetto serra perché vi contribuisce per il 20%. Non è inquinante e la sua presenza nell'aria è anch'essa variabile, dipendendo da molteplici cause, sia naturali che antropiche.

L'anidride carbonica in combinazione chimica con il calcio è il principale componente dei sedimenti e delle rocce per ciò dette carbonatiti, le più diffuse delle quali sono i calcari, le dolomie, e le marne. Però il principale deposito di CO_2 «mobile» sono gli oceani e i mari nelle cui acque l'anidride carbonica è contenuta come ioni carbonatici o bicarbonatici in quantità 50 volte maggiori che nell'atmosfera e 19 volte più che nella biosfera terrestre. La CO_2 libera che è negli oceani e nei mari è emessa nella troposfera in quantità tanto maggiori quanto più alta è la temperatura delle acque.

Nella troposfera arriva anidride carbonica anche dalla combustione dei combustibili fossili non rinnovabili (carbone, petrolio, gas), in uso per produrre la maggior parte dell'energia necessaria alle molteplici e sempre maggiori esigenze del nostro attuale stile di vita. Vi arriva anche dai processi di fermentazione, decomposizione di sostanze organiche, dagli incendi di grandi appezzamento di foreste provocati ad arte per estendere le aree da utilizzare per agricoltura, dai rifiuti enterici umani e dei sempre più grandi allevamenti di bestiame; e come prodotto finale della respirazione della moltitudine di tutti gli esseri del regno animale.

- c) il metano (CH_4) è gas prodotto anch'esso da materiali organici in decomposizione o per fermentazione in ambienti umidi, dal permafrost, per incendi spontanei, nonché dalla combustione di idrocarburi, dalle attività agricole in genere, in particolare dalle estese coltivazioni del riso, dai rifiuti organici enterici, in primis quelli dai sempre più grandi allevamenti di bestiame.

Benché nella troposfera il metano sia presente in percentuali che non superano l'8% circa del totale dei gas serra, la sua capacità di assorbire e trattenere il calore è 30 volte superiore a quella dell'anidride carbonica. Ed è inquinante.

Ai principali gas serra se ne aggiungono altri, quali gli alogenati (o alocarburi), attualmente presenti nell'atmosfera in quantità molto basse, ma con effetto serra di gran lunga superiore a quello dell'anidride carbonica e del vapore acqueo; e per giunta sono altamente inquinanti.

Una menzione particolare merita il cosiddetto *smog*; perché, oltre a concorrere all'effetto serra, è fattore inquinante per autonosia.

Il termine viene dalla combinazione di *smoke* e di *fog* (fumo e nebbia), coniato in occasione di un Congresso sulla Salute pubblica tenuto a Londra nel 1905 per definire con una parola la caratteristica nebbia-aerosol che si forma negli strati più bassi dell'atmosfera vicini al suolo, per combinazione del particolato derivante dalla combustione del carbone con le goccioline della nebbia.

Ci sono due tipi di *smog*: il tradizionale e quello fotochimico. Lo *smog* tradizionale, noto anche come «invernale» o di Londra, è peculiare dei climi invernali particolarmente umidi come è quello londinese; negli ultimi tempi questo tipo di *smog* è molto diminuito ovunque ci sia stata una drastica sostituzione del carbone come combustibile, soprattutto per il riscaldamento domestico.

Quello più preoccupante è lo *smog* fotochimico o «di Los Angeles», cosiddetto perché come tale fu individuato la prima volta in quella città nel 1940. È una foschia di colore giallo-marrone, chimicamente ossidante, che si può formare ovunque per reazioni chimiche dell'ozono con ossidi di azoto e composti organici gassosi in giorni di intensa radiazione solare e di calma meteorologica.

Gli *smog* sono irritanti per gli occhi e per le vie respiratorie, sono cancerogeni e altamente nocivi anche alle piante e agli ecosistemi umidi. Essendo acidi, concorrono al degrado di edifici e monumenti per corrosione chimica.

Sul nostro clima hanno grande influenza le correnti marine, soprattutto quelle oceaniche. Le due più importanti sono quella calda detta del Golfo e quella fredda del Labrador.

La Corrente del Golfo è paragonabile a un immenso fiume largo 90 km e profondo alcune centinaia di metri, che nell'Oceano Atlantico si muove in superficie dal Golfo del Messico verso il Nord Atlantico, alimentata anche dalle acque anch'esse calde del Mar dei Sargassi e del Mediterraneo. Uno dei suoi due rami scorre lungo le coste dell'Europa Nord-occidentale e lambisce la Gran Bretagna, determinando in quelle regioni un clima che per quelle latitudini, è anormalmente mite. Arrivate ancora più a Nord, quelle acque partite calde dal Golfo del Messico, subiscono un deciso raffreddamento, così diventando più dense perché la loro concentrazione di sali aumenta per il fatto che una parte di H₂O solidifica come ghiaccio. Per questo scendono in profondità, innescando la corrente di ritorno verso Sud, profonda e fredda del Labrador che si muove lungo le coste del Canada e del Nord America fino a raggiun-

gere il Golfo del Messico. Dove le fredde acque profonde risalgono in superficie e, riscaldate, riprendono il movimento verso Nord come Corrente del Golfo.

L'effetto di questa grandiosa «circolazione termoalina» il cui motore dipende dalla diversa temperatura e salinità delle rispettive acque, è che a parità di latitudine le regioni americane lambite dalla Corrente del Labrador soffrono di un clima molto più freddo di quelle europee lambite dalla Corrente del Golfo.

È ovvio che a lungo andare gli effetti del riscaldamento globale tendono a modificare il meccanismo attuale della grande circolazione delle correnti oceaniche, con conseguenti mutamenti, non solo del clima, ma anche della capacità degli oceani e dei mari di regolare l'emissione nell'atmosfera dell'anidride carbonica concentrata nelle loro acque.

L'albedo (dal latino *album*, bianco), è anch'esso un fenomeno naturale influente sul clima, ma è poco conosciuto e sottovalutato. In sintesi, l'albedo è definibile come la percentuale di luce solare incidente che viene riflessa.

Il valore, o entità, dell'albedo è variabile perché dipende dal tipo di materiale, ma soprattutto dal colore della superficie ricevente e riflettente i raggi luminosi. L'albedo massimo è quello delle superfici bianche, come sono la neve e il ghiaccio che hanno un potere riflettente del 90%; mentre l'albedo degli oceani e dei mari è molto basso perché le grandi masse d'acqua sono scure.

Se, per ipotesi, anche i continenti fossero sommersi e la superficie del pianeta fosse un unico immenso oceano, essa assorbirebbe il 90% delle radiazioni che arrivano dal sole e il clima sarebbe molto più caldo. Se invece la superficie terrestre fosse totalmente ricoperta da neve e ghiaccio, ne assorbirebbe solo il 25% e il clima sarebbe molto più freddo.

È errato ritenere che sedimenti di diverse epoche geologiche, formati in ambienti caldi tropicali o subtropicali come risulta dalle ricche flore e faune fossili in essi contenute e che oggi ritroviamo sotto i ghiacci dell'Antartide e dell'Artide, siano prove che nel lontano passato il clima alle estreme latitudini settentrionale e meridionali del nostro pianeta fosse di molto più caldo dell'attuale.

In realtà il fatto è conseguenza della «deriva dei continenti», la teoria formulata da A. L. Wegener nei primi anni del secolo scorso e oggi universalmente accettata e confermata da molteplici riscontri scientifici inequivocabili. Alla fine del Triassico (200 Ml. di anni fa) l'antico supercontinente unico, la *Pangea*, allora circondata da un unico immenso

oceano, la *Panthalassia*, iniziò a suddividersi in blocchi; i quali, indipendentemente uno dall'altro, si spostarono «scivolando» sulla sottostante astenosfera con moti lentissimi, ma tutt'ora attivi, che durante il Giurassico, il Cretaceo e il Terziario portarono alla geografia attuale dei continenti e degli oceani del nostro pianeta.

Quanto sopraddetto nulla toglie al fatto scientificamente e ripetutamente accertato, che periodi caldi e freddi si sono succeduti sul nostro pianeta fin dalle più lontane epoche geologiche.

Per esempio, nel Cretaceo superiore (70 milioni di anni fa) i grandi dinosauri, che nei precedenti millenni si erano straordinariamente diffusi, favoriti da un clima caldo umido con ricca vegetazione, si estinsero in un tempo relativamente molto breve.

La ipotesi più verosimile è che causa della catastrofe sia stata l'impatto di un grande asteroide con il nostro pianeta, che provocò un vero e proprio marasma ambientale a livello globale per il fumo che, assieme ad anidride carbonica ed altri gas nocivi, si sprigionò in quantità da grandi incendi che oscurarono l'atmosfera al punto da ridurre drasticamente l'insolazione, con conseguente forte raffreddamento climatico, insopportabile per quegli antichi grandi sauri.

Il maggiore cataclisma vulcanico degli ultimi 28 milioni di anni avvenne circa 73.000 anni fa per la eruzione esplosiva del vulcano Toba a Sumatra, che proiettò nell'atmosfera una quantità enorme di materiali solidi sotto forma di lapilli e polveri e gas incandescenti. Si ritiene che questo fenomeno abbia ridotto di molto l'insolazione sulla superficie terrestre e con ciò l'avvento di un clima freddo durato a lungo, con drammatiche conseguenze riduttive sulla biomassa terrestre.

Nel 1971 sondaggi meccanici eseguiti in mare dalla nave oceanografica *Glomar Challenger* confermarono che sui fondali profondi del Mare Mediterraneo vi sono grandi spessori, fino a 3000 m e più, di «evaporiti», sedimenti che si depositano in bacini cosiddetti «chiusi» con forte evaporazione. Il fenomeno evaporitico avviene per precipitazione dei sali minerali contenuti in concentrazione soprasatura nell'acqua in mancanza o riduzione del ricambio idrico. Una situazione analoga è quella attuale del Mar Morto in Palestina.

Il fenomeno evaporitico del Mediterraneo, ma che interessò anche le regioni ad esso finitime con la deposizione della formazione gessoso solfifera dell'Appennino, è avvenuto nel Messiniano (da 7.200 a 5.300 milioni di anni fa), un periodo freddo ma anche molto arido del Miocene superiore. Nel Messiniano lo scambio delle acque tra Oceano Atlantico e Mare Mediterraneo era precluso perché la soglia dello stretto di

Gibilterra, anche attualmente poco profonda, era allora emersa per sollevamento tettonico in concomitanza con l'abbassamento di almeno 60 m del livello marino.

Nel 1930 il matematico serbo Milan Milankovitch, ispirato dalla intuizione del naturalista scozzese James Croll, il quale già nel 1875 aveva enunciato la interdipendenza delle variazioni climatiche con il mutare della forma dell'ellissoide di rivoluzione della Terra attorno al Sole, formulò la sua teoria matematica secondo la quale i cambiamenti climatici nel tempo, alternativamente caldi e freddi, dipendono dalle variazioni di fattori astronomici e sono ciclici.

Applicando la sua teoria, che in realtà è un modello matematico, Milancovich poté dimostrare che durante i 600.000 anni del Pleistocene ci furono in successione quattro periodi «freddi», le ben note glaciazioni di Gunz, di Mindel, di Riss, di Würm, alternati da periodi interglaciali «caldi».

I cicli alternativamente glaciali e interglaciali del Quaternario enunciati da Milankovitch sono stati confermati dai risultati di molteplici ricerche nell'ambito di tutte le discipline delle Scienze della Terra.

Recentemente, a Vostok, un sondaggio ha attraversato i 3100 m della potente coltre del ghiaccio antartico. Dalle analisi dell'aria contenuta nei campioni estratti sono state acquisite conoscenze di importanza fondamentale sulla composizione dell'atmosfera e sulle variazioni del clima negli ultimi 420.000 anni.

Da un altro sondaggio quasi altrettanto lungo (3000 m) in regione artica, sono venuti campioni di ghiaccio antico che hanno consentito di ricostruire le vicende del clima che coincidono con le risultanze del sondaggio di Vostok.

In sintesi, i due sondaggi hanno confermato le variazioni climatiche e le quattro successioni cicliche dei periodi glaciali e interglaciali del Pleistocene, enunciati per primo da Milankovitch. E hanno inoltre rivelato che nell'atmosfera del Pleistocene le percentuali di anidride carbonica e di metano, due dei principali gas-serra, furono minime nei quattro periodi glaciali, massime negli interglaciali.

Le oscillazioni del livello marino nel Pleistocene (abbassamento nei periodi glaciali, innalzamento negli interglaciali), così come le analoghe oscillazioni climatiche finora avvenute nell'attuale interglaciale, sono provati dai risultati di molteplici e molto sofisticate ricerche.

L'innalzamento marino nel postglaciale attuale è confermato dalla litologia delle grandi scogliere coralline, come sono quelle dei mari tropicali; scogliere che a partire dalla loro parte basale profonda risultano

costruite dalla sovrapposizione di colonie di coralli fossili, che erano gli stessi ora viventi alla sommità in un habitat limitato a qualche metro appena al sotto la superficie del mare.

E ancora: i «solchi di battente» sono caratteristiche incisioni orizzontali più o meno profonde (morfologicamente sono simili alla «cengie» alpine), che si formano per erosione meccanica delle onde dove si frangono alla base delle coste rocciose calcaree (falesie). I numerosi solchi di battente che ora ritroviamo sommersi o emersi, indicano livelli del mare in diversi periodi del passato.

Il fenomeno è provato anche dai fori scavati in rocce calcaree dai litodomi («datteri di mare»), perché anche l'habitat di queste bivalvi è appena sotto la superficie del mare; e i ritrovamenti dei loro fori, ora emersi a varie altezze, ora sommersi a diverse profondità, corrispondono a quote diverse del livello del mare.

In Europa al culmine della glaciazione più recente, quella würmiana che ebbe inizio 80.000 anni fa, il 30% circa delle terre emerse era sotto un coltre di ghiaccio e neve, che in alcune regioni aveva lo spessore di 3000 m con il livello delle nevi perenni un migliaio di metri al di sotto delle quote attuali.

Per la conseguente migrazione delle fasce climatiche, nel tardo würmiano il Sahara non era un deserto come lo è oggi. Lo provano anche i numerosi graffiti, disegni e dipinti rupestri preistorici di molti animali, tra i quali si riconoscono bufali, antilopi, altri bovidi ed equini, che essendo erbivori, sono la inequivocabile testimonianza della esistenza all'epoca di ricca vegetazione, sia erbacea che arborea, alimentata da frequenti precipitazioni. Il che è provato dai ritrovamenti nel deserto sahariano di falde acquifere fossili profonde, che alle analisi risultano essersi formate molte migliaia di anni fa, alcune oltre 40.000 anni fa.

Nello stesso periodo climatico, essendosi modificato il ciclo dell'acqua per l'accumularsi sulle terre emerse di una grande quantità di H₂O sotto forma di neve e ghiaccio, il livello degli oceani e dei mari si abbassò progressivamente fino a un massimo di 120 m circa al di sotto di quello attuale. Conseguenza di quella grande «regressione» marina fu che al culmine della glaciazione würmiana le terre emerse avevano una estensione molto maggiore di quella attuale. A questo riguardo, basterà ricordare che dove ora c'è il mare Adriatico centro settentrionale si estendeva una pianura fittamente forestata solcata da un paleo-reticolo idrografico, le cui tracce ben riconoscibili sono state accertate sugli attuali fondali da sistematici sondaggi in mare.

Nel periodo geologico attuale, l'Olocene, dopo una prima fase climatica intermedia post glaciale, 11-12.000 anni fa inizia il periodo interglaciale che è quello nel quale noi viviamo. Per il progressivo aumentare della temperatura i grandi ed estesi ghiacciai del Würm sono andati mano mano sciogliendosi, alimentando corsi d'acqua impetuosi, che restituirono al dominio marino l'acqua che nel precedente periodo glaciale si era accumulata come neve e ghiaccio sulle terre emerse. Di pari passo il livello dei mari e degli oceani progressivamente si innalza, cosicché in tutto il mondo territori sempre più vasti sono sommersi dalla invasione del mare, la cosiddetta «trasgressione flandriana».

Il progressivo aumento della temperatura nell'interglaciale attuale è stato interrotto da almeno tre episodi di temporaneo raffreddamento.

Più o meno 8000 anni fa ebbero inizio due millenni caratterizzati da un incremento del riscaldamento globale, accompagnato da conseguente innalzamento del mare, stabilizzatosi attorno al livello attuale circa 6000 anni fa. In quei 2000 anni, grandi estensioni di territori costieri furono sommersi dalla inesorabile avanzare della trasgressione marina, alla quale si aggiungeva l'apporto dei corsi d'acqua gonfiati dal rapido scioglimento dei ghiacciai e dalle piogge che dovevano essere torrenziali, per il clima caldo umido, analogo a quello monsonico attuale.

Le drammatiche conseguenze ambientali del fenomeno, scientificamente provate, le ritroviamo tramandate dal mito ancestrale del diluvio universale e come leggenda trasmessa oralmente presso molti popoli primitivi in tutti i Continenti..

Il mito del diluvio è originario della bassa Mesopotamia, il mondo civile di allora tra i fiumi Tigri ed Eufrate e il Golfo Persico, dove avvennero grandi alluvioni e la sommersione di vastissime aree abitate. Il mito è stato diffuso nel bacino del Mediterraneo dalla cultura sumero-caldea nel IV millennio a.C.

Il diluvio ebraico della Bibbia è il castigo di Dio per la cattiveria e la corruzione degli uomini. Dalla catastrofe si salvarono Noè, i suoi figli Sem, Cam, e Jafet e le loro mogli, capostipiti di una umanità rinnovata, imbarcati nell'Arca per ordine divino con le coppie di tutti gli animali allora viventi.

Nella versione babilonese del diluvio, analoga a quella ebraica, il leggendario monarca Gilgamesh e la sua famiglia si salvarono in un'Arca «con tutto ciò che aveva seme di vita», perché il dio Ea lo aveva avvertito in tempo del cataclisma deciso dagli Dei.

Nella mitologia greca il mito del diluvio rivive nella leggenda di Deucalione e Pirra. Unica coppia umana salvatasi dal diluvio, eseguiro-

no l'ordine della dea Temi di ripopolare il mondo gettando alle loro spalle pietre che immediatamente si trasformavano in uomini e donne, primi esseri di una rinnovata stirpe ellenica della quale Deucalione è considerato il capostipite.

Anche durante il Medio Evo si susseguirono fasi alterne di caldo e freddo. A una fase iniziale fredda, seguì dal 1000 al 1300 il cosiddetto «periodo caldo medioevale», durante il quale nel nostro emisfero avvenne una significativa migrazione verso Nord delle fasce climatiche. Fu allora che i Vichinghi colonizzarono la Groenlandia, che essendo libera dai ghiacci, era veramente «Terra verde» (*Greenland*). Nello stesso periodo la coltivazione della vite si estese a Nord fino all'Inghilterra e alla Norvegia meridionale. E nel *De vegetalibus* di Sant Alberto Magno si legge che ulivi e altre essenze tipicamente mediterranee prosperavano non solo in tutta l'Italia settentrionale, ma anche ben più a nord, nelle valli del Reno e del Rodano.

Dagli atti di quella straordinaria istituzione allora unica al mondo quale fu il Magistrato alle Acque della Serenissima Repubblica, si evince che a Venezia dal 1416 al 1534, gli inverni furono eccezionalmente freddi con il ghiaccio che copriva la laguna su tutta la sua estensione; è il periodo noto come il «minimo di Spörer», lo scienziato tedesco che ne notò la coincidenza con un minimo dell'attività del sole

Anche gli anni dal 1645 al 1715 sono stati caratterizzati da inverni eccezionalmente lunghi e rigidi e da estati brevi e fresche; questo è il «minimo di Maunder», dal nome dello scienziato che collegò il fenomeno alla diminuzione della irradiazione coincidente con quella, sia di numero, che di dimensione delle macchie solari.

In tempi molto più recenti il riscaldamento climatico ha avuto una sensibile progressione a partire dalla metà del 1700, cioè in coincidenza con l'inizio della «rivoluzione industriale». In particolare, nell'arco temporale dell'ultimo secolo, vale a dire dal 1900 al 2000, pur con una inversione di tendenza dal 1945 al 1965, è stato registrato un aumento della temperatura media di un grado centigrado circa.

La concomitanza di questo fenomeno con lo straordinario incremento della industrializzazione e delle molteplici attività cosiddette antropiche, accompagnate da altrettanto straordinario aumento delle emissioni nell'atmosfera, è inequivocabile. Così come sono evidenti i segnali di una tendenza allo spostamento verso nord delle fasce climatiche, analogamente a quanto era successo nel cosiddetto «periodo caldo medioevale».

Constatata la progressione del riscaldamento globale negli ultimi 150 anni, ci sono scienziati convinti che il clima stia cambiando a un

ritmo più rapido di quanto avvenuto nei cicli precedenti, causa le sempre maggiori quantità di gas serra, in primis l'anidride carbonica, immessi nell'atmosfera dalle attività antropiche.

Secondo questa corrente di pensiero, se non si riducono drasticamente le emissioni, in particolare quelle derivanti dall'utilizzo generalizzato delle fonti energetiche non rinnovabili (carbone, petrolio, gas naturale e loro derivati), il clima si riscalderà sempre più, con conseguenze per l'ambiente peggiorative fino a diventare irreversibili.

Ci sono però altri scienziati, soprattutto geologi e astrofisici, secondo i quali l'effetto sul riscaldamento globale dei gas-serra immessi nell'atmosfera dalle attività antropiche non sarebbe poi tanto rilevante. E alcuni addirittura sostengono che l'attuale trend climatico sarebbe lo stesso anche in assenza totale delle emissioni antropiche, così come è avvenuto ciclicamente fin dal passato più remoto.

È molto probabile che anche nel futuro il clima sarà caratterizzato da alternanze di periodi caldi e freddi, come è avvenuto nel Pleistocene e nello stesso interglaciale attuale. E con riferimento alla durata dei periodi glaciali e interglaciali pleistocenici, è prevedibile che ci si stia avviando verso il culmine dell'interglaciale attuale, al quale seguirà un nuovo periodo glaciale, analogo a quelli precedenti.

La conseguenza più catastrofica che qualcuno ritiene possibile, ossia che il fenomeno dei cicli climatici futuri possa essere modificato dalle nostre emissioni al punto da rendere inarrestabile e senza ritorno il riscaldamento climatico, non ha alcun fondamento scientifico.

Le emissioni prodotte dalle attività antropiche sono per contro sicuramente responsabili del sempre maggiore inquinamento atmosferico (*global pollution*). La comunità scientifica internazionale è infatti concorde nella previsione che se non si interviene subito e drasticamente, l'aumento dei consumi legato all'attuale modello di sviluppo con il conseguente aumento delle emissioni dei gas-serra anche inquinanti e dei rifiuti tossici, condurrà a un degrado ambientale tale da danneggiare gravemente e forse irreparabilmente l'habitat terrestre in un futuro che si ritiene ormai prossimo. E questo indipendentemente dalle variazioni climatiche.

C'è però un altro fattore responsabile, benché indirettamente, dell'aumento nell'atmosfera dei «gas serra» e del conseguente inquinamento, al quale non si attribuisce l'importanza che in realtà ha: è l'aumento della popolazione con le sempre maggiori esigenze esistenziali derivanti dall'attuale modello di sviluppo che gli ambientalisti radicali non esitano a definire dissennato. Fatto sta che 2000 anni fa il nostro pianeta era

popolato da circa 200 milioni di umani; all'inizio del secolo scorso la popolazione globale era 1 miliardo e 600 milioni; nel 2000 eravamo 6 miliardi e le proiezioni nel futuro ci avvertono che nel 2025 si arriverà a 8 miliardi.

In fundo, ma non tanto *dulcis*: i sensori termici dei più moderni telescopi spaziali rilevano un aumento del riscaldamento anche su Giove, Urano, Nettuno, Plutone, anch'essi pianeti del nostro sistema solare. Il riscaldamento globale pertanto non sarebbe peculiare del pianeta Terra, bensì interplanetario.

Indirizzo dell'autore:

Giulio Antonio Venzo - Museo Tridentino di Scienze Naturali - Via Calepina, 14
(Palazzo Sardegna) - I-38122 Trento, Italia
