

GIULIANO BELLINI

CAMBIAMENTO CLIMATICO: I FENOMENI NATURALI E IL LORO IMPATTO SUL CLIMA *

Da tempo ormai si sta discutendo dell'effetto antropogenico sul clima del pianeta Terra: i più ritengono l'uomo come la principale causa del cambiamento climatico.

La storia del pianeta Terra, «scritta sulle rocce» che i geologi sanno interpretare, indica che importanti variazioni climatiche, con conseguenti scomparse di un gran numero di specie vegetali e animali (estinzioni di massa), sono avvenute quando l'uomo non aveva ancora fatto la sua comparsa.

Andiamo con ordine. Le modificazioni climatiche sono prodotte dall'effetto dei gas serra. I gas serra costituiscono una specie di guaina, attorno al pianeta Terra, trasparente alle radiazioni con lunghezza d'onda corta (raggi del sole) e opaca a quelle con lunghezza d'onda ampia (radiazioni infrarosse).

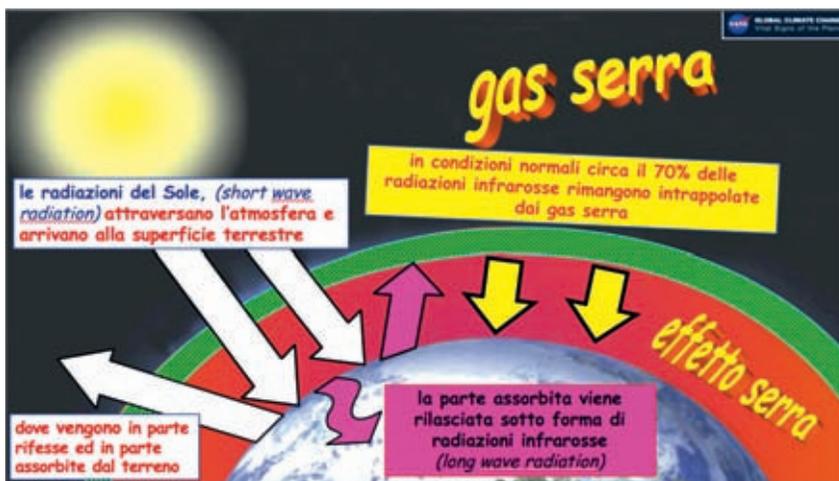


Figura 1. Comportamento delle radiazioni solari.

* Comunicazione letta il 18 marzo 2016 nell'Odeo Olimpico.

In altre parole le radiazioni solari attraversano l'atmosfera e arrivano alla superficie della Terra ove vengono in parte riflesse e in parte assorbite dal terreno. La parte assorbita dal terreno viene rilasciata sotto forma di radiazioni infrarosse. Queste, in condizioni normali, vengono intrappolate per il 70% dai gas serra.

Secondo il protocollo di Kyoto (dicembre 1997) i gas responsabili del riscaldamento globale sono il:

- **diossido di carbonio (CO₂)**
- **metano (CH₄)**
- **monossido di diazoto (N₂O)**
- **idrofluorocarburi (HFC)**
- **perfluorocarburi (PFC)**
- **esafluoro di zolfo (SF₆).**

Definiamo gas clima alteranti non solo quelli che producono il riscaldamento globale, come ad esempio l'anidride carbonica (CO₂ diossido di carbonio, IUPAC, 2005), ma anche quelli che producono un raffreddamento globale, come ad esempio l'anidride solforosa (SO₂ diossido di zolfo, IUPAC, 2005).

La CO₂ rimane in atmosfera, non aumenta l'albedo¹ delle radiazioni solari, ma determina innalzamenti globali della temperatura. L'SO₂ rimane anch'essa in atmosfera ove subisce una ossidazione e si trasforma in anidride solforica (SO₃ triossido di zolfo, IUPAC, 2005). Questa, con l'umidità atmosferica, si trasforma in un aerosol di acido solforico (H₂SO₄ diidrossido diossido zolfo, IUPAC, 2005) che aumenta l'albedo. Diminuiscono pertanto le radiazioni solari che raggiungono il suolo portando ad abbassamenti globali della temperatura.

Tuttavia il principale gas ad effetto serra è rappresentato dal vapore acqueo, sotto forma di nuvole e umidità dell'aria; esso rappresenta il 70 % dei gas ad effetto serra.

È da notare che senza gas serra la temperatura media della Terra sarebbe inferiore ai -18°C. Quindi i gas serra svolgono un ruolo importante nel mantenimento di una temperatura che permette la vita, ma, se la loro concentrazione aumenta, la quantità di calore intrappolato e riflesso cresce portando, come conseguenza, a un riscaldamento globale.

Secondo l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), l'attività antropica influisce sulla produzione di:

¹ L'albedo di una superficie è la frazione di luce o, più in generale, di radiazione incidente che viene riflessa indietro. Quando tutta la luce incidente viene riflessa l'albedo è massima e corrisponde a 1, quando nessuna frazione di luce viene riflessa l'albedo è minima e corrisponde a 0. La Terra ha un'albedo media di 0.37-0.39.

- CO_2 (uso di combustibili fossili per riscaldamento e per trazione, deforestazione, incendi etc.);
- NH_3 (fertilizzanti in agricoltura);
- SO_2 (combustione di carburanti contenenti zolfo);
- NO_x (combustione di carburanti e azoto in aria);
- CFC (gas usati in frigoriferi, condizionatori d'aria etc.).

Tutti questi gas producono effetto serra, deposizioni acide, buco dell'Ozono.

Secondo l'IPCC si sta assistendo a un significativo incremento nella concentrazione atmosferica di CO_2 di circa 2 ppm (parti per milione) all'anno. In due secoli si è passati da 280 a 380 ppm, con una crescita mai osservata da 650.000 anni ad oggi.

I principali gas serra emessi dagli ecosistemi agricoli derivano dalla conversione di ambienti naturali a seminativi, dalla gestione impropria della concimazione azotata, dalle tecniche di arature profonde, da coltivazioni particolari quali quella del riso.

Nelle coltivazioni del riso, in condizioni di sommersione, la decomposizione anaerobica della sostanza organica ad opera di microorganismi metanogeni favorisce la produzione di CH_4 (circa il 18% delle emissioni antropogeniche). Le condizioni aerobiche o l'alternanza tra condizioni di sommersione e asciutta possono favorire le emissioni di N_2O e CO_2 , prodotti durante i processi di nitrificazione e decomposizione aerobica della sostanza organica. È da notare che N_2O risulta avere un forte impatto sul bilancio complessivo delle emissioni a causa del suo elevato potenziale di riscaldamento (circa 300 volte superiore a quello della CO_2).

Per quanto riguarda l'uso di combustibili per trazione, è stato stimato che nel 2000 c'erano 530 milioni di auto nel mondo. Se un'auto di media cilindrata consuma un litro di benzina ogni 10,6 km e in un anno percorre 16.000 km, sapendo che 1 litro di benzina usato rilascia nell'ambiente circa 2,4 kg di CO_2 , significa che nel 2000 furono emesse nell'atmosfera circa 1.92 miliardi di tonnellate (Gton) di CO_2 . Tuttavia è ormai noto che il contributo degli impianti di riscaldamento all'inquinamento atmosferico è di gran lunga superiore alle attività industriali o al traffico automobilistico.

Ma i gas clima alteranti vengono prodotti anche dalla semplice presenza degli esseri viventi nel nostro pianeta. Ecco alcuni esempi:

Flatulenza bovina e gas serra

Ogni mucca, ruminando ed eruttando, produce al giorno 500 litri di gas metano (corrispondenti in peso a circa 981 grammi di CH_4).

In un anno una mucca produce 358 kg di CH_4 . Al mondo esisto-

no 1 miliardo e 300 milioni di bovini (responsabili per il 74% delle emissioni), 2 miliardi e 700 milioni di ovini e caprini (responsabili rispettivamente per il 9% e il 4%), 1 miliardo di suini (responsabili per il 5%), 12 miliardi di pollame.

Secondo Goodland e Anhang (2009), autori della ricerca «animali e cambiamenti climatici», il 51% delle emissioni annuali di gas serra a livello mondiale è attribuito alla sola presenza di animali. Questo dato è destinato ad aumentare in quanto per il 2050 è previsto il raddoppio della richiesta di prodotti di origine animale. È da notare che il metano (CH_4) è responsabile per circa l'8% dell'effetto serra e ha una capacità di trattenere il calore 30 volte maggiore di quella della CO_2 .

Uomo e gas serra

Nella respirazione un uomo produce in media 21 litri di CO_2 e consuma 24,5 litri di ossigeno all'ora. Ne consegue che in una giornata un uomo emette mediamente 504 litri, corrispondenti a circa 1 kg, di CO_2 . La popolazione mondiale si aggira sui 7.2 G (miliardi) di persone, quindi si può stimare una produzione di 2,6 Gton (miliardi di tonnellate) di CO_2 all'anno che corrispondono a circa il 7% di quella prodotta dalla combustione dei carburanti fossili.

Nella digestione, in condizioni fisiologiche normali, la quantità di gas nel lume intestinale oscilla attorno ai 0,2 litri, con una eliminazione variabile dai 0,4 ai 1,6 litri al giorno suddivisi in 11-25 flatulenze. Una flatulenza è composta principalmente da:

- **N (ingerito ed è il più abbondante)**
- **CH_4 (prodotto da batteri anaerobici)**
- **CO_2 (prodotta da batteri anaerobici e ingerita)**
- **O (ingerito)**
- **H**

Ricordando che la popolazione mondiale è di circa 7,2 G di persone, si può stimare una produzione di questi gas variabile da 4 a 8 Gton all'anno. Si può concludere quindi che la sola presenza degli esseri viventi nel nostro pianeta costituisce una fonte non trascurabile di gas clima alteranti.

Ma le modificazioni climatiche, le deposizioni acide, il buco nell'Ozono etc. sono solo dovute alla comparsa della specie «homo technologicus»?

Secondo il parere autorevole del prof. Antonio Zichichi (presidente della World Federation of Scientists), al contrario di quello che comunemente si pensa, l'uomo non è il principale responsabile delle variazioni climatiche. «[...] la sciocchezza che sento di più è che l'uomo sta distruggendo tutto. [...] il motore meteorologico per il 90%

non ha nulla a che fare con l'uomo [...]. chi parla e allarma non fa scienza, fa chiacchiere [...]» (11 febbraio del 2007).

Andiamo a vedere allora quanto gli eventi naturali influiscono sui cambiamenti climatici.

La storia della Terra insegna che severe modificazioni climatiche si sono verificate ancor prima della comparsa del genere umano. Queste modificazioni climatiche hanno portato a grandi estinzioni di specie vegetali e animali (estinzioni di massa), delle quali la più nota è quella che ha interessato i dinosauri.

Nella tabella 1 sono indicate le principali estinzioni di massa:

ERA	ETÀ Ma	SPECIE ESTINTE	% ESTIN- ZIONE
tardo Ordoviciano (End O)	440	trilobiti, graptoliti	85
tardo Devoniano (Late D)	365	specie marine e invertebrati, soprattutto coralli	79
fine Permiano (End P)	250	la più grande estinzione di massa della storia della Terra con la scomparsa di più del 90% delle specie marine	95
fine Triassico (End Tr)	200	spugne, cefalopodi, brachio- podi, vertebrati marini e terre- stri, insetti	80
fine Cretaceo (End K)	65	dinosauri, rettili volatori e ma- rini, ammoniti, belemniti etc. Crisi delle gimnosperme	70

Ma quali sono gli eventi naturali capaci di produrre drastiche variazioni climatiche?

Fino a pochi anni or sono, l'opinione comune era l'impatto di meteoriti. In questo ultimo decennio, con il raffinamento dei sistemi di datazione radiometrica delle rocce, si è constatata una forte coincidenza temporale fra le estinzioni di massa e le grandi eruzioni vulcaniche che hanno accompagnato l'evoluzione del pianeta Terra.

Queste grandi eruzioni con fuoriuscita di enormi volumi di magma (2-7 milioni di km³) su ampie superfici (fino a 4 milioni di km²) con spessori di centinaia-migliaia di metri in tempi relativamente brevi (1 milione di anni) sono conosciute con l'acronimo LIPs (Large Igneous Province).

Nella tabella 2 sono riportati i dati delle principali LIPs della Terra:

LIPs	REGION	AGE (Ma)	AREA (10 ⁶ km ²)	VOLUME (10 ⁶ km ³)
Columbia River Basalt (CR)	Northwestern US	17–6	0.16	0.175
Afro-Arabia (NAMP)	Yemen–Ethiopia	31–25	0.6	0.35
North Atlantic Igneous Province (CP)	N. Canada, Greenland, Faeroe Is., Norway, Ireland, Scotland	62–55	1.3	6.6
Deccan	India Southern Pakistan	66	0.5–0.8	0.5–1.0
Rajmahal	India	116		
Madagascar		88		
Ontong-Java Plateau (OJP)	Pacific Ocean	~122	1.86	8.4
Paraná and Etendeka	Brazil–Namibia	134–129	1.5	>1
Karoo-Ferrar Province	South Africa, Antarctica, Australia, and New Zealand	183–180	0.15–2	0.3
Central Atlantic magmatic province (CAMP)	Northern South America, Northwest Africa, Iberia, Eastern North America	200	11	2.5 (2.0–3.0)
Siberian	Russia	250	1.5–3.9	0.9–2.0
Emeishan	S.W. China	253–250	0.25	~0.3
Warakurna	Australia	1078–1073	1.5	

La fuoriuscita di magma, in modo più o meno esplosivo, è preceduta, accompagnata e seguita dalla emissione di enormi volumi di gas. L'attività di emissione di gas può perdurare anche per decenni/millenni; basta pensare alla solfatara di Pozzuoli (Napoli).

Questi gas sono composti per il 98% da vapore d'acqua e per il restante 2% da CO_2 , HCl , CO , HF , H_3BO_3 , COS , NH_3 , HCNS , H_2 , CH_4 , H_2S , S , SO_2 , SO_3 etc.

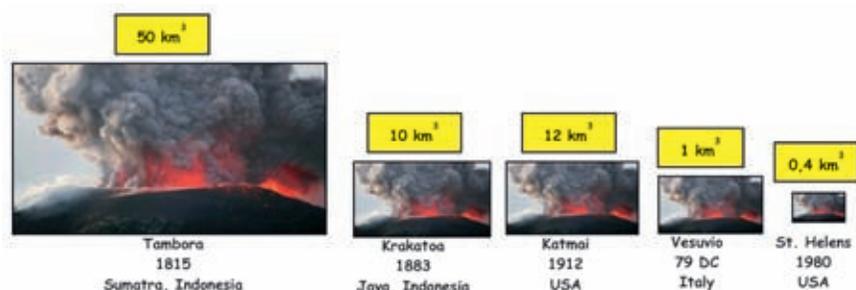


Figura 2. Volumi di ceneri e gas immessi in atmosfera nelle principali eruzioni esplosive storiche.

È da notare che i disastri provocati dalle più grosse eruzioni del secolo scorso (fig. 2) impallidiscono al confronto dei volumi eruttati durante le fasi parossistiche delle LIPs (tab. 2).

Le emissioni di grandi volumi di magma e gas, e in particolare CO_2 e SO_2 , portano ad innalzamenti di temperatura, incendi etc., con devastanti modificazioni climatiche (Black et al., 2013, Callegaro et al., 2014, Ganino & Arndt, 2009, Oppenheimer et al., 2011, Schmidt et al., 2012, Svensen et al., 2004, Thordarson & Sef, 2003, Ward, 2009).

In fig. 3 si può notare la forte coincidenza temporale tra le estinzioni di massa e le attività LIPs.

Questi dati hanno messo in discussione la teoria dell'impatto di meteoriti portando la comunità scientifica a considerare l'attività vulcanica come forte indiziato dei grandi sconvolgimenti climatici (Marzoli et al. 1999, 2004; Courtillot and Renne, 2003; Sobolev et al., 2011).

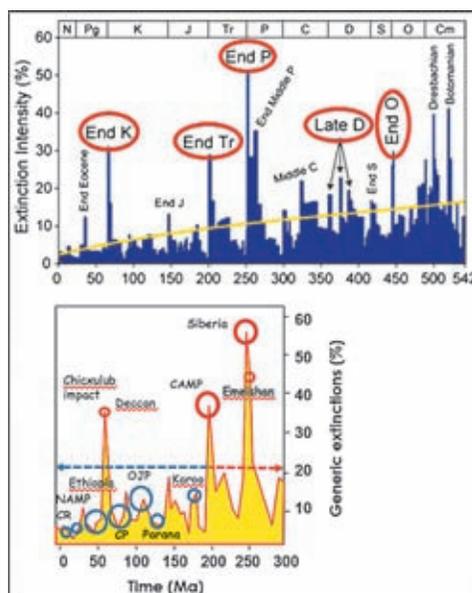


Figura 3. Estinzioni di massa e principali eruzioni che hanno prodotto le LIPs. Simboli come in tabelle 1 e 2.

È da notare inoltre che, ad eccezione del cratere di Chicxulub, nel nord dello Yucatan (Messico), non esistono evidenze certe di crateri di impatto ai quali attribuire le estinzioni di massa.

In particolare, per quanto riguarda l'estinzione di fine Cretaceo (65 Ma fa), recenti studi sui depositi fossili dell'isola di Seymour in Antartide (Tobin et al., 2012) e sulle vulcaniti dell'India (Parisio et. al., 2015) hanno messo in evidenza che la fine dei dinosauri fu preceduta di pochissimo da un'altra estinzione che colpì prevalentemente le specie marine e fiaccò gran parte dell'ecosistema. La prima delle due estinzioni fu innescata da una gigantesca e lunghissima eruzione vulcanica avvenuta in una regione corrispondente all'attuale India, che iniziò fra 300.000 e 200.000 anni prima dell'impatto dell'asteroide di Chicxulub e proseguì a fasi alterne per circa 100.000 anni. L'eruzione finì col riempire l'atmosfera sia di polveri e aerosol, in grado di schermare la luce solare e causare periodi di freddo intenso, sia di anidride carbonica e altri gas serra, responsabili di periodi con un innalzamento notevole della temperatura globale. L'impatto dell'asteroide avrebbe di fatto dato il colpo di grazia a un ecosistema già gravemente indebolito. I dinosauri sarebbero quindi sopravvissuti alla prima estinzione, ma non resistettero alle conseguenze dell'impatto dell'asteroide che diede origine al cratere di Chicxulub.

In tempi storici grandi eruzioni vulcaniche, con immissione in atmosfera di enormi volumi di gas, molti ad effetto serra, hanno comportato importanti variazioni climatiche (inverni rigidi, estati fredde) che hanno causato forti carestie ed epidemie, cambiando a volte gli eventi della storia. Riportiamo alcuni esempi:

- l'eruzione del vulcano Thera (1627-1600 a.C.), attuale Santorini nel Mare Egeo, e il conseguente sviluppo di una violenta onda di tsunami sarebbero la causa del declino della civiltà minoica nonché delle dieci piaghe d'Egitto di biblica memoria;

- l'eruzione del vulcano Samalas (Indonesia) nel 1257 d.C. lanciò nella stratosfera 40 km³ di cenere vulcanica dando luogo a un periodo freddo che causò carestie nei decenni successivi e scatenò una catena di eventi che portarono anche alla peste nera che nel '300 colpì l'Europa;

- l'eruzione del vulcano Laki (Islanda, 1783-1784) portò alla emissione di 15 miliardi di m³ di lava e 120 milioni di tonnellate di SO₂ e gas tossici (circa tre volte quelli emessi in Europa nel 2006 dalle industrie). Si pensa che morirono circa 9.000 islandesi e che l'SO₂ trasportata fino a 15 km di quota, trasformandosi in un aerosol di H₂SO₄, causò, in Europa, siccità, carestie e conseguente aumento dei prezzi del cibo. Le difficoltà e il malcontento dei francesi contribuirono ad accelerare lo scoppio della Rivoluzione Francese del 1789;

- una serie di eruzioni di un vulcano, ora scomparso (1809), seguite dall'eruzione del vulcano Soufriere (Guadalupa, 1812), generò, a seguito dell'immissione in atmosfera di enormi quantità di ceneri, il terribile inverno del 1812, anno della campagna napoleonica in Russia che si risolse in una disfatta;
- l'eruzione del vulcano Tambora (Indonesia, 1815) potrebbe aver influito sulla disfatta di Napoleone a Waterloo (18 giugno 1815). L'offuscamento del sole, durato mesi, prodotto dalla grande quantità di ceneri vulcaniche e l'abbondanza di precipitazioni sconvolsero i piani di battaglia;
- l'eruzione del vulcano Krakatoa (Indonesia, 1883) generò, a seguito della immensa quantità di cenere eruttata in atmosfera, tramonti spettacolari in tutto il mondo per diversi mesi. Secondo alcuni ricercatori il cielo, color rosso sangue, del famoso quadro di Edvard Munch «L'urlo», realizzato nel 1893, è in realtà una riproduzione del cielo norvegese dopo l'eruzione;
- l'eruzione del vulcano Pinatubo (Filippine, 1991) scagliò 10 miliardi di m³ di ceneri e gas (ca. 20 Mton di SO₂), fino a una altezza di 40 km, distruggendo 42.000 edifici e seppellendo 80.000 ettari di territorio. Gli effetti di questa eruzione furono un riscaldamento del-

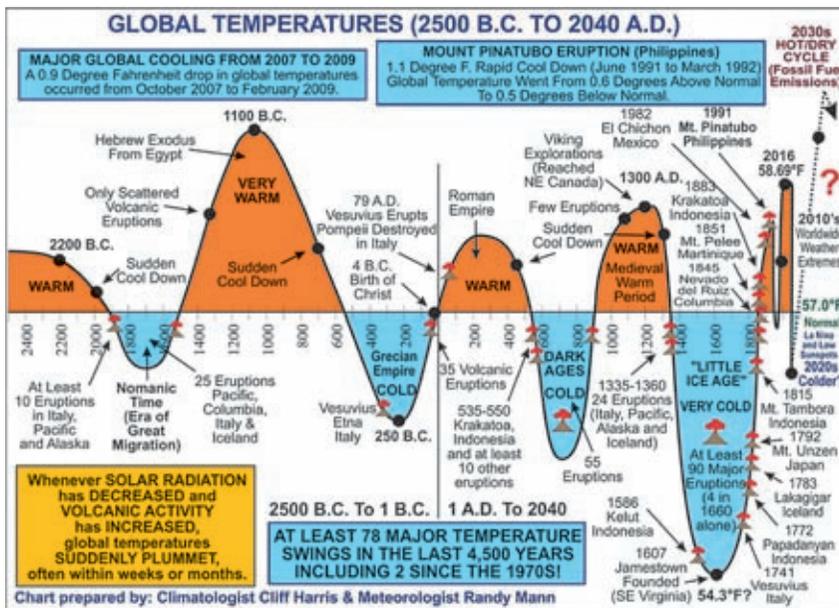


Figura 4. Variazione delle temperature globali in relazione agli eventi vulcanici dal 2500 a.C al 2040 d.C.

la stratosfera per assorbimento delle radiazioni solari da parte dell'aerosol di H_2SO_4 con conseguente diminuzione globale della temperatura di circa $0.5-0.7^\circ\text{C}$ e una catalizzazione delle reazioni ($\text{HCl}=\text{Cl}_2$) che indussero la riduzione dell'ozono (fino a 20% nelle zone tropicali e circa il 4% globalmente). La distribuzione dell'aerosol di H_2SO_4 nella stratosfera terrestre avvenne in tempi rapidi con invasione delle regioni polari circa dieci mesi dopo l'eruzione. Solo dopo tre anni il livello base di H_2SO_4 venne ristabilito;

– infine ricordiamo l'eruzione del vulcano Eyjafjallajökull (Islanda) avvenuta dal 20 marzo al 14 aprile del 2010. Questa eruzione, a seguito dell'enorme volume di ceneri immesse in atmosfera, portò alla chiusura completa del traffico aereo del nord Europa fino al 23 aprile del 2010 e a chiusure intermittenti fino al 9 maggio.

Sono attribuibili a questa eruzione le variazioni climatiche che stiamo osservando in questi tempi?

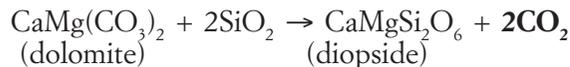
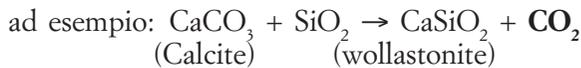
Ma oltre agli impatti di asteroidi e alle eruzioni vulcaniche, esistono altri eventi naturali che possono produrre gas clima alteranti?

Ricordiamo a tale riguardo:

– le emissioni naturali di gas dal sottosuolo; un esempio è offerto dalle emissioni di gas metano che si verificano negli «black smoker» lungo le dorsali medio oceaniche (fig. 5) e localmente in formazioni rocciose come nelle Tegnue al largo di Chioggia (VE) (fig. 6)

– la produzione di CO_2 nei processi litogenetici:

a) le reazioni che avvengono nei processi metamorfici quando le rocce sono sottoposte ad elevate temperature e pressioni:



b) l'alterazione delle rocce silicatiche (ad esempio il minerale feldspato potassico lascia come residuo materiali argillosi e uno ione carbonato):



– la corrispondenza tra i cicli solari² e l'andamento della temperatura media terrestre.

² L'attività solare viene determinata a seconda del numero di macchie solari che compaiono, in maniera più o meno ciclica ed intensa, sulla superficie solare. Quando la superficie della nostra stella evidenzia un elevato numero di macchie, vuol dire che è in una fase di maggiore attività,

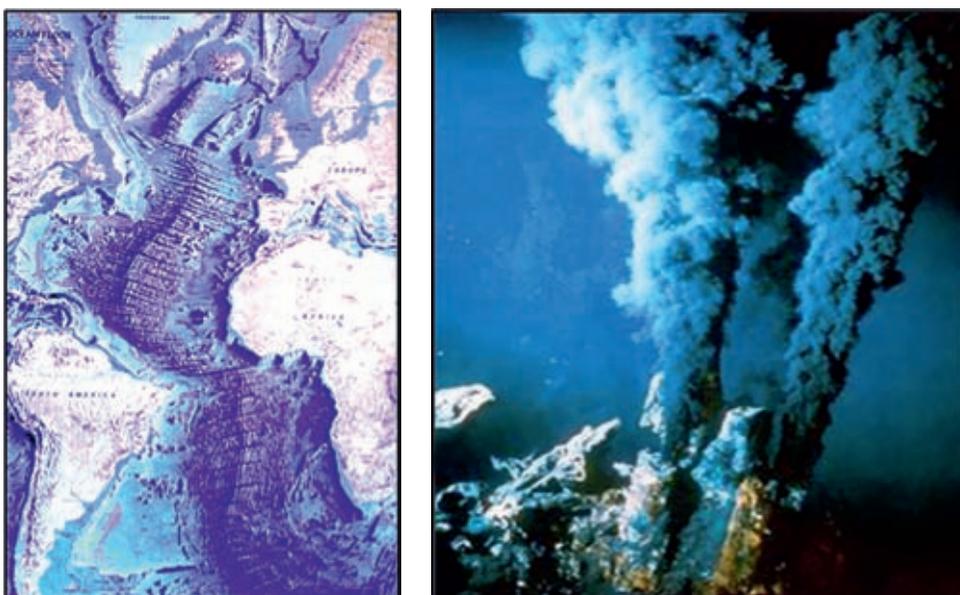


Figura 5. Emissioni di gas (black smokers) nei fondali oceanici.



Figura 6. Emissioni naturali di gas metano (bollicine bianche nella foto a destra) al largo di Chioggia. (Foto gentilmente concessa da P. Mescalchin).

Parte della comunità scientifica internazionale ha riconosciuto nel sole il principale responsabile della quasi totalità delle variazioni climatiche terrestri. Nel 2009 scienziati tedeschi e statunitensi

emettendo maggiore energia nello spazio circostante. La quantità delle macchie non è costante, ma varia a seconda di periodi di minima e di massima. I cicli solari hanno una durata media di 11 anni.

hanno messo a punto un modello che ipotizza il legame tra l'attività solare e la fluttuazione del clima terrestre, simulando l'interazione tra la radiazione solare, l'atmosfera e l'oceano. I risultati dei suddetti studi dimostrano che un lieve aumento dell'attività solare influenza, in maniera determinante, l'area tropicale e le precipitazioni di tutto il globo terrestre. In particolare, una maggiore attività solare incide sul riscaldamento della troposfera tropicale, sull'aumento della forza dei venti alisei, sull'aumento dell'evaporazione nella zona equatoriale, con conseguente aumento dell'annuvolamento e delle precipitazioni.

– i raggi cosmici

Secondo Zichichi (11 febbraio 2007) «[...] nell'analizzare le variazioni climatiche non è stata presa in considerazione l'influenza dei raggi cosmici che ci bombardano e influiscono molto sul clima. Il sistema solare attraversa zone della galassia in cui c'è maggiore intensità di raggi cosmici. Quando la terra si trova in queste zone siamo in periodo di glaciazione.

In questo momento, dal punto di vista cosmologico, stiamo uscendo dal periodo di glaciazione e stiamo andando verso un periodo di riscaldamento. Non vuol dire che domani ci sarà caldo, vuol dire che nel giro di milioni di anni attraverseremo una zona della galassia dove si verifica questo fenomeno già accaduto ben quattro volte nel passato [...]».

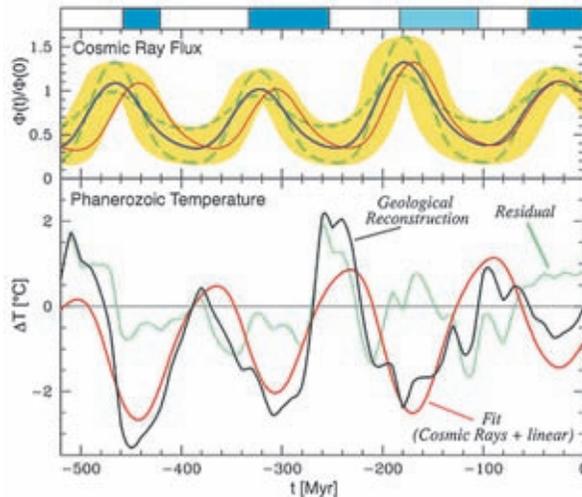


Figura 7. Relazione tra flusso dei raggi cosmici (ϕ), e variazioni delle anomalie delle temperature tropicali (ΔT) nel Fanerozoico (tempo in milioni di anni: t [Myr]) (Shaviv & Veizer, 2003).

Secondo Marsh and Svensmark (2000a, 2000b, 2003), i raggi cosmici possono rilasciare nell'atmosfera ioni che agiscono come magneti in presenza di vapore acqueo, formando le nuvole, e questo potrebbe essere la causa principale del surriscaldamento della terra.

In conclusione non sono solo le attività antropiche a produrre cambiamenti nel clima; l'uomo, con le sue attività, dà solamente un contributo a quanto già gli eventi naturali producono.

L'uomo può intervenire per limitare la produzione dei gas serra?

Sicuramente sui fattori di natura antropica, ad esempio:

- riducendo le emissioni legate alle attività industriali, alle non corrette attività agricole (Mazzoncini et al., 2011), alla circolazione dei mezzi etc. Ricordiamo le raccomandazioni lanciate e gli impegni che i vari Stati si sono assunti in merito, a partire dal protocollo di Kyoto (dicembre 1997);

- ricercando fonti energetiche alternative. Ricordiamo le energie eolica, idroelettrica, fotovoltaica, geotermica, nucleare, che possono sostituire l'uso sempre più crescente dei combustibili fossili.

Riguardo l'energia geotermica, un esempio è fornito da Larderello in Toscana dove particolari condizioni geologiche hanno permesso la formazione di campi geotermici con produzione di vapore d'acqua ricca in sali di boro «soffioni boraciferi», con elevate pressioni (25 atm) ed elevate temperature (230°C)³.

³ Lo sfruttamento per scopi medici risale ai tempi degli etruschi e dei romani. Le acque boriche di Larderello ricordate da Plinio e Strabone erano ritenute efficaci per curare «[...] atrocem quemcumque et incurabilem morbum [...]». Erano infatti utilizzate nella cura delle malattie della pelle, delle piaghe, come sollievo delle artriti e dei dolori muscolari e come rimedio alla sterilità



Figura 8. Interazione tra raggi cosmici e atmosfera.



Composizione per litro di vapore

- Ph 7.0
- Durezza G.F. 100
- **Gas (CO₂) 209.59 cc.**
- SO₄ 360 ppm.
- CaO 253 ppm
- MgO 95 ppm
- NaCl 22.64 ppm
- H₃BO₃ 3.7 ppm

Figura 9. Larderello (Pisa). Torri di raffreddamento del vapore.

Tuttavia questo tipo di energia non è da considerarsi completamente pulito in quanto, come si vede dalla composizione chimica, per ogni litro di vapore vengono immessi in atmosfera circa 200 cc. di CO₂.

Per quanto riguarda l'energia nucleare come fonte energetica alternativa, ci si deve riferire alla fusione nucleare e non alla fissione nucleare, quest'ultima bandita già da molti anni in Italia (9 novembre 1987). A tale proposito un progetto internazionale (ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor) si propone di realizzare un reattore sperimentale a fusione nucleare (Deuterio-Trizio) a Cadarache, nel Sud della Francia.

Se da un lato l'uomo può e deve ridurre la produzione dei gas serra di origine antropica, risulta difficile se non impossibile ridurre l'emissione dei gas serra prodotti direttamente dall'uomo, dagli animali e dagli eventi naturali (vulcanismo, alterazione delle rocce, cicli solari, raggi cosmici etc.).

Per cercare di mitigare l'impatto dei gas clima alteranti, dobbiamo innanzitutto:

- capire quali feedback positivi o negativi influenzano di più l'effetto serra;
- capire la distribuzione della CO₂ tra oceani e atmosfera;
- individuare metodi di cattura e confinamento della CO₂.

Per quanto riguarda i feedback, ricordiamo che per feedback positivo si intende quella serie di reazioni che amplificano un fenomeno, per feedback negativo quelle reazioni che invece lo riducono. Vediamo gli effetti dei feedback legati all'aumento della CO₂:

femminile. Venivano consigliate per la cura delle malattie del fegato e dei reni. Successivamente furono usate, sfruttando l'energia con la quale fuoriescono (pressione = 25 atm) e la temperatura (230°C), per far girare le turbine e produrre energia elettrica. Questa trasformazione dell'energia geotermica in energia elettrica fu applicata per la prima volta al mondo dai conti Ginori agli inizi del secolo scorso. Attualmente questa risorsa naturale è in sfruttamento per la produzione di energia elettrica.

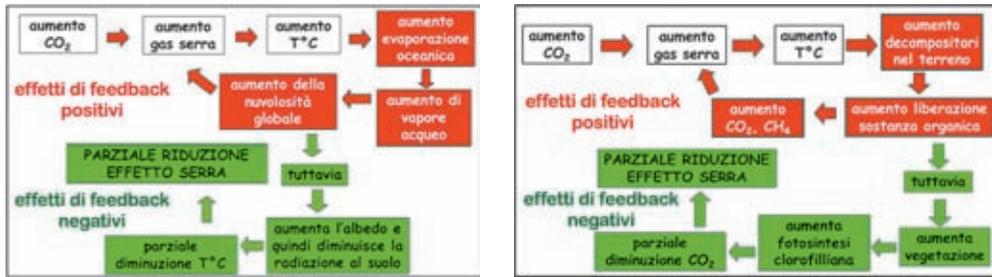


Figura 10. Effetti di feedback della CO_2 .

Al momento attuale non siamo in grado di capire quale dei due feedback prevalga.

Altro punto importante da capire è il ruolo degli oceani nella regolazione della CO_2 atmosferica.

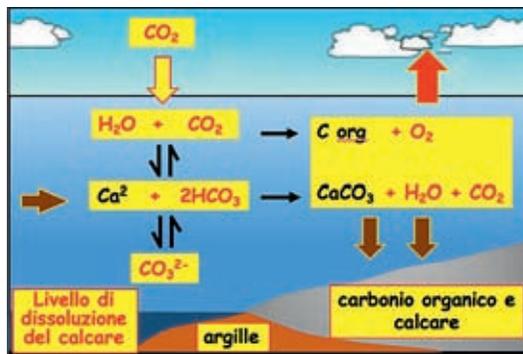
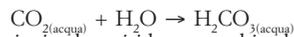


Figura 11. Ciclo della CO_2 negli oceani.

Negli oceani la CO_2 atmosferica viene assorbita e disciolta sotto forma di ione bicarbonato HCO_3^- che si può trasformare in ione carbonato CO_3^{2-} e legandosi con il Ca precipita come CaCO_3 (calcare)⁴

⁴ Formazione del Carbonato di calcio.

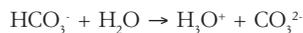
A pressione atmosferica l'anidride carbonica è moderatamente solubile nell'acqua, con la quale fornisce una soluzione discretamente acida, grazie alla formazione di acido carbonico, un acido debole:



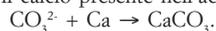
l'acido carbonico si dissocia in ioni solvatati idrogeno e bicarbonato:



una piccola quantità di HCO_3^- subisce una seconda dissociazione per formare uno ione idrogeno e uno ione carbonato:



lo ione carbonato si combina con il calcio presente nell'acqua per dare carbonato di calcio



e/o viene utilizzata dagli organismi marini. Questa reazione mantiene bassa la concentrazione di CO_2 in atmosfera. Se però la concentrazione atmosferica di CO_2 tende ad abbassarsi, per opera degli agenti fotosintetici, gli oceani liberano CO_2 svolgendo quindi un ruolo equilibratore.

Un cambiamento climatico può alterare la capacità degli oceani di assorbire CO_2 . Infatti un aumento di temperatura degli oceani produce una minore solubilità dei gas e quindi la CO_2 viene rilasciata più facilmente (la Coca Cola calda contiene meno gas di quella fredda).

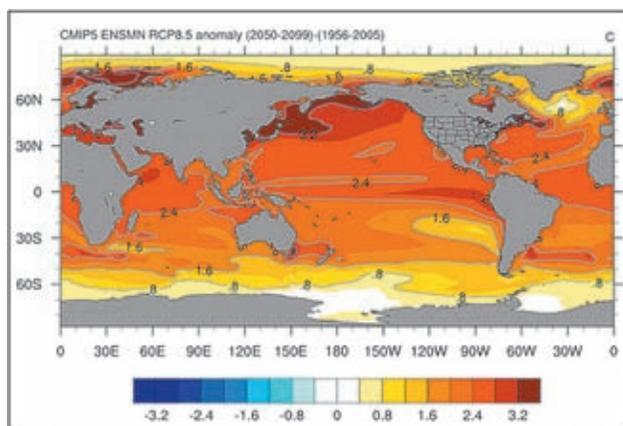


Figura 12. Distribuzione della temperatura media sulla superficie degli oceani, prevista per il 2050-2099, calcolata sulla base delle temperature osservate nel periodo 1959-2005⁵.

Come si vede, il riscaldamento degli oceani sarà maggiore in quasi tutto l'emisfero nord (aumento della temperatura di circa 3°C). Meno intenso sarà il riscaldamento nel Nord Atlantico e negli oceani dell'emisfero sud.

Ricercatori della British Antarctic Survey e Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (2012) hanno calcolato che circa un quarto della CO_2 presente sul pianeta viene sequestrato dai mari e quasi il 40% di questa va a finire nelle acque antartiche (a Sud del 40° parallelo).

⁵ Mappa elaborata dai ricercatori dell'Ocean Climate Change Portal del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) <http://research.noaa.gov/News/NewsArchive/LatestNews/TabId/684/ArtMID/1768/ArticleID/10457/Mapping-climate-change-in-the-oceans.aspx>.

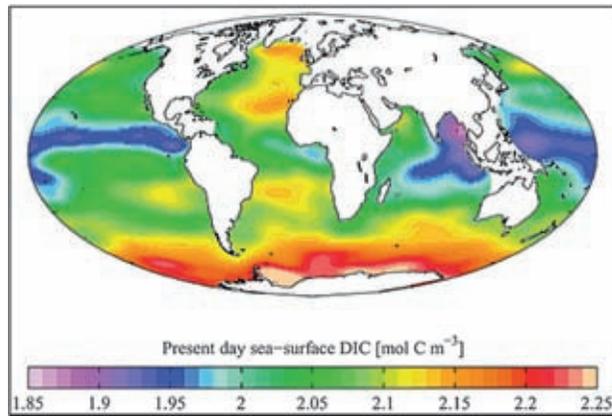


Figura 13. Distribuzione della CO₂ negli oceani.

Da queste ricerche è emerso inoltre che il carbonio non viene assorbito uniformemente dalla superficie degli oceani, ma viene incanalato e trattenuto nei fondali da una sorta di vortici di aspirazione, «imbuti» prodotti dai venti e dalle correnti calde e fredde.

L'equilibrio della CO₂ tra atmosfera e oceani è estremamente complesso perché regolato da molteplici fattori:

- la concentrazione di CO₂ nell'aria;
- la temperatura dell'acqua;
- la composizione chimica delle acque;
- i processi biologici presenti negli oceani.

Capire meglio il ruolo che gli oceani rivestono nel regolare la quantità di CO₂ atmosferica è una meta che l'uomo deve raggiungere.

Una importante sfida per ridurre la quantità di CO₂ di origine naturale ed antropica consiste nella ricerca di metodi di cattura e confinamento.

La CO₂ può essere catturata:

- post-combustione: la CO₂ dei fumi di combustione può essere catturata da un solvente chimico adatto e poi da questo separata e compressa per poter essere trasportata e stoccata. Altri metodi di separazione post-combustione sono per filtrazione tramite membrana ad alta pressione o separazione criogenica;
- pre-combustione: il combustibile viene convertito prima della combustione in una mistura di idrogeno e anidride carbonica usando un processo chiamato gassificazione. L'anidride carbonica può essere poi trasportata e stoccata, mentre l'idrogeno,

miscolato con l'aria, può essere usato come combustibile per la produzione di elettricità e, potenzialmente, per alimentare vetture ad idrogeno. Un tipico esempio di questo processo è un impianto a ciclo combinato a gassificazione integrata (dall'inglese: Integrated Gasification Combined Cycles - IGCC) nel quale il carbone viene trasformato in «syngas» prima della combustione;

- ossicombustione o combustione in ossigeno: l'ossigeno viene separato dall'aria prima del processo di combustione e viene miscelato con il combustibile direttamente in una caldaia ad alta pressione. Questo tipo di combustione produce solo vapore e anidride carbonica concentrata, più semplice da trattare e inviare allo stoccaggio. È il sistema più promettente in termini di efficienza e di opportunità di sviluppo su scala industriale.

Per quanto riguarda il confinamento sono in atto ricerche su metodi di:

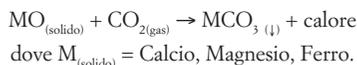
- stoccaggio in serbatoi esauriti di gas naturale, in acquiferi salini;
- sequestro mineralogico;
- utilizzo dell'ammoniaca presente nei rifiuti umani, agricoli e zootecnici;
- coltivazione di microalghe marine.

Lo stoccaggio nei serbatoi esausti di gas naturale o negli acquiferi salini consiste nel pompaggio a forte profondità di CO₂. Questo metodo richiede che questi serbatoi siano ermeticamente chiusi, altrimenti la CO₂ fuoriesce in atmosfera naturalmente.

Il sequestro mineralogico di CO₂ è una tecnologia di CCS (carbon dioxide capture and storage) relativamente nuova e consiste in una reazione esotermica, favorita a temperature minori di 200°C, tra minerali silicatici [serpentino: Mg₃[Si₂O₅](OH)₄ e olivina: (Mg,Fe)SiO₄] e CO₂, con la conseguente precipitazione di carbonati (carbonatazione⁶). Al momento attuale è l'unica tecnologia di CCS che permette di intrappolare permanentemente la CO₂ all'interno dei carbonati prodotti.

Un altro importante aspetto del processo di carbonatazione è che questo, oltre a sequestrare biossido di carbonio, può portare allo smaltimento e all'inertizzazione di ingenti quantità di serpentino-cristallo (commercialmente chiamato amianto o asbesto).

⁶ La carbonatazione è una reazione esotermica in cui la CO₂ reagisce con composti contenenti metalli alcalini per formare i rispettivi carbonati.



L'ammoniaca, presente nei rifiuti umani, agricoli e zootecnici, secondo alcune ricerche sarebbe in grado di abbassare, agendo come sostanza reagente, l'1% delle emissioni di CO₂ e degli altri gas che producono inquinamento nelle nostre città.

Nell'urina, per ogni mole di bicarbonato di ammonio si produce una mole di ammoniaca, che potrebbe essere usata per assorbire una mole di CO₂. Dopo l'assorbimento della CO₂, viene prodotta un'altra mole di bicarbonato di ammonio. Quest'ultimo viene usato da circa 30 anni in Cina come fertilizzante azotante.

Infine la coltivazione della microalga marina *Nannochloropsis* gradinata sta suscitando l'interesse di molti ricercatori in quanto è considerata molto promettente non solo per la bio-cattura della CO₂, ma anche per altre applicazioni industriali quali la produzione di:

- cibo altamente energetico per nutrire pesci e rotiferi;
- biodiesel a partire da micro-organismi che crescono grazie alla sola luce del sole;
- integratori alimentari (acidi grassi omega 3).

Questi sono solo alcuni esempi di come la ricerca scientifica è coinvolta nello studio di sistemi di cattura e confinamento della CO₂.

In conclusione, imputati della produzione di gas clima alteranti e delle conseguenti modificazioni climatiche sono:

- **l'impatto di asteroidi;**
- **il vulcanismo;**
- **le emissioni naturali di gas;**
- **l'alterazione delle rocce;**
- **i cicli solari;**
- **i raggi cosmici;**
- **l'uomo;**
- **possibili altri eventi che oggi non conosciamo.**

Non dobbiamo lasciarci impressionare da facili previsioni catastrofiche. «[...]». Clima fra 10 anni? Incalcolabile [...]» così Zichichi (2015) smonta i catastrofisti. Il presidente della federazione mondiale degli scienziati è scettico sul vertice di Parigi: «[...] inattendibili le previsioni a 15 giorni, figuriamoci quelle fatte sul lungo periodo [...] per descrivere in modo matematicamente rigoroso l'evoluzione del clima sono necessarie tre equazioni differenziali, non lineari, fortemente accoppiate.

- differenziali vuol dire che è necessario descrivere l'evoluzione istante per istante nello spazio e nel tempo (nel dove e nel quando);
- non lineari vuol dire che l'evoluzione dipende anche da se stessa. Es. il mio futuro dipende anche da me stesso;
- fortemente accoppiate vuol dire che l'evoluzione descritta da ciascuna equazione ha enormi effetti anche sulle altre.

Questo sistema di tre equazioni non ha soluzione analitica, il che vuol dire che nessuno riuscirà mai a scrivere l'equazione dell'evoluzione del clima. L'unica strada è costruire modelli ad hoc [...].

E conclude «[...] un modello matematico non è la verità scientifica ma l'equivalente del dire: è così perché l'ho detto io, non a parole, ma scrivendo formule che obbediscono a ciò che io penso sia la soluzione [...].».

Analogo è il parere di Bates (2017), scienziato americano della NOAA (National Oceanic and Atlantic Administration), che sull'accordo di Parigi del 2015 afferma: «[...] l'effetto serra è stato tutto inventato [...] la temperatura del pianeta si è raffreddata negli ultimi 15 anni, ma lo tengono nascosto [...].».

ERA	ETÀ Ma	SPECIE ESTINTE	% ESTINZIONE
tardo Ordoviciano (End O)	440	trilobiti, graptoliti	85
tardo Devoniano (Late D)	365	specie marine e invertebrati, soprattutto coralli	79
fine Permiano (End P)	250	la più grande estinzione di massa della storia della terra con la scomparsa di più del 90 % delle specie marine	95
fine Triassico (End Tr)	200	spugne, cefalopodi, brachiopodi, vertebrati marini e terrestri, insetti	80
fine Cretaceo (End K)	65	dinosauri, rettili volatori e marini, ammoniti, belemniti etc. Crisi delle gimnosperme	70
???	???	« homo sapiens sapiens »	???

Concludo ritornando sullo slogan portato avanti dai mass media:
«L'uomo sta distruggendo la Terra»

che dovrebbe essere corretto in:

«L'uomo sta contribuendo, con la sua attività, alla distruzione della Terra», e questo ci deve portare a considerare seriamente il problema, rimboccarci le maniche e cercare di ridurre i gas clima alteranti di origine antropica. Bisogna cercare di capire meglio gli effetti prodotti dagli eventi naturali per trovare sistemi adeguati per la cattura e il confinamento di quei gas che porteranno, se non si interviene, alla sesta estinzione di massa: ... quella che riguarda l'uomo!

Bibliografia

- BATES J. (2017), *Parla lo scienziato: l'effetto-serra è stato tutto inventato*. Liberoquotidiano .it, Scienze e Tech, 7 febbraio 2017.
- BLACK B., LAMARQUE J.F., SHIELDS C., ELKINS-TANTON L.T. & KIEHL J.T. (2013), *Acid rain and ozone depletion from pulsed Siberian Traps magmatism*: *Geology*, 42, 67-70, doi: 10.1130/G34875.1.
- British Antarctic Survey and Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Australia)*, *Nature Geoscience*, 29 luglio 2012.
- CALLEGARO S., BAKER D.R., DE MIN A., MARZOLI A., GERAKI K., BERTRAND H. VITI C. & NESTOLA F. (2014), *Microanalyses link sulfur from large igneous provinces and Mesozoic mass extinctions*. *Geology*, 42, 895-898. doi: 10.1130/G35983.1.
- COURTILLOT V. & RENNE P. (2003), *On the ages of flood basalt events*. *C R Geosc.* 335, 113-140.
- GANINO C. & ARNDT N.T. (2009), *Climate changes caused by degassing of sediments during the emplacement of large igneous provinces*: *Geology*, 37, 323-326, doi:10.1130/G25325A.1.
- GOODLAND R. & ANHANG J. (2009), *Livestock and Climate Change: what if the key actors in climate change are ... cows, pigs, and chickens?*. *World Watch Magazine*, 22, 6, November/December, 1-19.
- GRAY R. (2007), *Cosmic rays blamed for global warming*. <http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/1542332/Cosmic-rays-blamed-for-global-warming.html>.
- HARRIS C. & MANN R. (2017), *Global temperature trends from 2500 B.C. to 2040 A.D. Article and Chart Updated: January 28, 2017*. <http://www.longrangeweather.com>.
- IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry (2005), *Nomenclature of inorganic chemistry: Recommendations. Red book*. Ed. by «The Royal Society of Chemistry», Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, UK.
- MARSH N.D. & SVENSMARK H. (2000a), *Cosmic rays, clouds and climate*, *Space Sci. Rev.*, 94, 215-230.
- MARSH N.D. & SVENSMARK H. (2000b), *Low cloud properties influenced by cosmic rays*, *Phys. Rev. Lett.*, 85, 5004-5007.
- MARSH, N. & SVENSMARK H. (2003), *Solar influence on Earth's climate*, *Space Sci. Rev.*, 107.
- MARZOLI A., BERTRAND H., KNIGHT K.B., CIRILLI S., BURATTI N, VÉRATI C., NOMADE S., RENNE P.R., YOUBI N., MARTINI R., ALLENBACH K., NEUWERTH R., RAPAILLE C., ZANINETTI L. & BELLINI G. (2004), *Synchrony of the Central Atlantic magmatic province and the Triassic-Jurassic boundary climatic and biotic crisis*. *Geology*, 32, 11, 973-97.

- MARZOLI A., RENNE P., PICCIRILLO E.M., ERNESTO M., BELLINI G. & DE MIN A. (1999), *Extensive-200-million-year old Continental Flood Basalt of the Central Atlantic Magmatic Province*. *Science*, 23, 284, 616-618.
- OPPENHEIMER C., SCAILLET B. & MARTIN R.S. (2011), *Sulfur degassing from volcanoes: Source conditions, surveillance, plume chemistry and Earth system impacts: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 73, 363-421, doi:10.2138/rmg.2011.73.13.
- PARISIO L., JOURDAN F., MARZOLI A., MELLUSO L., SSETHNA S.F. & BELLINI G. (2015), *$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of alkaline and tholeiitic rocks from the northern Deccan Traps: implications for magmatic processes and the K-Pg boundary*. *J. Geol. Soc. London*, doi: 10.1144/jgs2015-133.
- SHAVIV N.J. & VEIZER J. (2003), *Celestial driver of Phanerozoic Climate?*. *GSA Today*, 13, 7, 4-10.
- SCHMIDT A., CARSLAW K.S., MANN G.W., RAP A., PRINGLE K.J., SPRACKLEN D.V., WILSON M. & FORSTER P.M. (2012), *Importance of tropospheric volcanic aerosol for indirect radiative forcing of climate: Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 7321-7339, doi:10.5194/acp-12-7321-2012.
- SOBOLEV S.V., SOBOLEV A.V., KUZMIN D.V., KRIVOLUTSKAYA N.A., PETRUNIN A.G., ARNDT N.T., RADKO V.A. & VASILIEV Y.R. (2011), *Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes*. *Nature*, 477, 312-316, doi: 10.1038/nature10385.
- SVENSEN H., PLANKE S. & MALTHER-SORENSEN A. (2004), *Release of methane from a volcanic basin as a mechanism for initial Eocene global warming: Nature*, 429, 3-6, doi:10.1038/nature02575.
- THORDARSON T. & SELF S. (2003), *Atmospheric and environmental effects of the 1783-1784 Laki eruption: A review and reassessment: Journal of Geophysical Research*, 108, 4011-4040, doi:10.1029/2001JD002042.
- TOBIN T.S., WARD P.D., STEIG E.J., OLIVERO E.B., HILBURN I.A., MITCHELL R.N., DIAMOND M.R., RAUB T.D. & KIRSCHVINK J.L. (2012), *Extinction patterns, $\delta^{18}\text{O}$ trends, and magnetostratigraphy from a southern high-latitude Cretaceous-Paleogene section: Links with Deccan volcanism*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 350-352, 180-188.
- ZICHICHI A. (2015), *L'uomo c'entra nulla col cambiamento climatico*. <http://www.liberoquotidiano.it/news/scienze---tech/11863436/Il-guru-Zichichi-smonta-le-eco.html>.
- WARD P.L. (2009), *Sulfur dioxide initiates global climate change in four ways: Thin Solid Films*, 517, 3188-3203, doi:10.1016/j.tsf.2009.01.005.