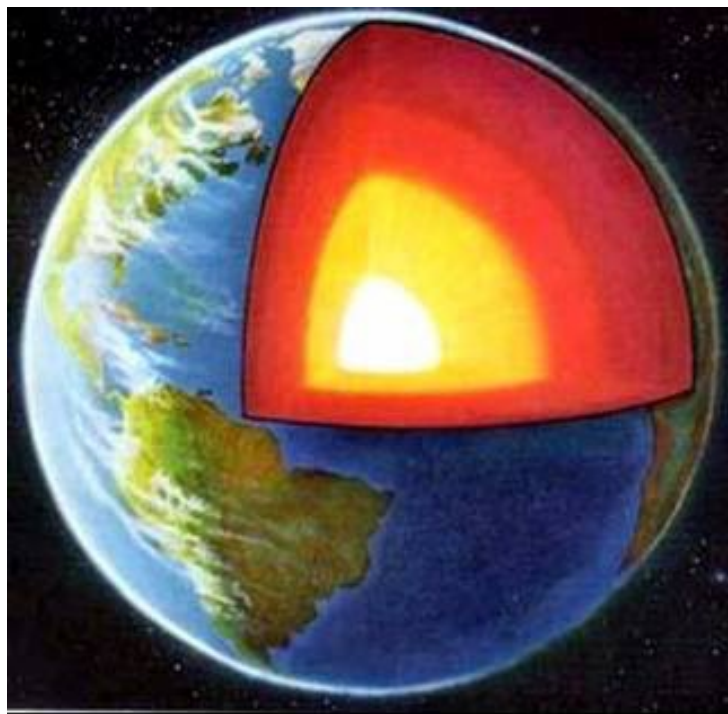


L'età termodinamica della Terra

Autore: Antonello Urso (10/08/07)



Introduzione:

Quanti anni ha la Terra? A questo interrogativo molte risposte contrapposti in ambito scientifico sono state fornite, tanto da fare quasi sospettare che la risposta non sia univoca se ciò fosse solo possibile. In realtà in questo campo si verifica ormai da più di un secolo uno durissimo scontro tra diverse concezioni del significato di “Scienza” quando essa comincia ad uscire dal concreto campo galileiano di ciò che può essere più volte sperimentato in laboratorio indipendentemente dal tempo e dal luogo per entrare in altri campi dove non è possibile riprodurre in laboratorio un fenomeno che si è verificato una sola volta nella storia. Il caso dell'età del pianeta Terra è un tipico esempio di questo aspetto.

Precisiamo che uscendo dal campo della concezione di scienza di tipo galileiano entriamo in quello delle congetture scientifiche (ovvero delle interpretazioni diverse dei dati raccolti che però devono rispettare un modo di procedere vicino a quello galileiano) che è cosa ben diversa, sebbene sia ancora possibile stabilire delle chiare regole affinché un dato fenomeno possa acquistare una certa credibilità scientifica:

- a) *Deve essere possibile effettuare misure del fenomeno recesso attraverso strumenti di laboratorio.*
- b) *Devono esistere due o più teorie diverse e scientificamente valide capaci di interpretare efficacemente tali dati, e di essere in accordo tra loro entro i limiti degli errori sperimentali.*

Sul punto 1 non ci sono in genere grossi problemi. Per il punto 2 dobbiamo disporre di almeno due teorie diverse, perché se conosciamo una sola teoria capace di interpretare i nostri dati mancherebbe un confronto, una verifica, e quindi il fenomeno recesso potrebbe non avere le caratteristiche che vogliamo attribuirgli se la nostra singola teoria (benché scientificamente valida) fosse a nostra insaputa non pertinente, o pertinente ma non sufficientemente corretta. Purtroppo allo stato attuale esistono molte concetti e teorie, per esempio in ambito dell'astrofisica o delle scienze della Terra, che sono date per scontate pur non rispettando quest'ultimo punto, questo perché esiste solo una teoria che interpreta i dati, o perché ne esistono due o più ma in aperto contrasto tra loro; chiariamo subito che in questo caso siamo in presenza di semplici opinioni di tipo scientifico e non di Scienza.

Modello termodinamico:

Le osservazioni nelle miniere e nei pozzi mostra che la temperatura aumenta con la profondità in media di 3 °C ogni 100 m. I primi tentativi intrapresi alla fine del XIX° secolo per dare un interpretazione teorica al gradiente geotermico partivano dalla rappresentazione del raffreddamento per conduzione di una Terra arroventata ed avente all'inizio una temperatura uniforme T_0 superiore o uguale a quella di fusione delle rocce (circa 1200 °C), mentre la temperatura superficiale è dell'ordine di 0 °C, e non poté deviare notevolmente nel corso del tempo. Avendo a disposizione questo modello possiamo risolvere l'equazione di conduzione termica:

$$\frac{\partial u(z;t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u(z;t)}{\partial z^2} \quad (1)$$

Considerando l'asse z perpendicolare alla superficie nel semispazio $z > 0$ le condizioni iniziali e al contorno del modello sono le seguenti: $u(z; 0) = T_0$; $u(0; t) = 0$, quindi la soluzione di questa equazione è data dalla formula^[1]:

$$u(z; t) = T_0 \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{z}{2\sqrt{Dt}}} \exp(-\alpha^2) d\alpha \quad (2)$$

Il gradiente di questa funzione vale:

$$\frac{\partial}{\partial z} u(z; t) = T_0 \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\partial}{\partial z} \int_0^{\frac{z}{2\sqrt{Dt}}} \exp(-\alpha^2) d\alpha = \frac{T_0}{\sqrt{\pi Dt}} \exp(-z^2/4Dt) \quad (3)$$

e per $z = 0$ abbiamo:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = \frac{T_0}{\sqrt{\pi Dt}} \exp(-z^2/4Dt) \Big|_{z=0} = \frac{T_0}{\sqrt{\pi Dt}} \quad (4)$$

I valori del gradiente geotermico, della temperatura iniziale, e del coefficiente medio di diffusione termica per graniti e basalti sono:

$$\gamma = \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C} / \text{m} ; T_0 = 2400 \text{ } ^\circ\text{C} ; D \approx 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{sec}$$

Sostituendo i dati nella (4) otteniamo la durata del processo di raffreddamento della crosta terrestre cioè $t = 3.4 \cdot 10^{15} \text{ sec} \approx 100 \cdot 10^6$ anni; usando la (2) otteniamo il raggiungimento della temperatura di fusione della roccia ($1200 \text{ } ^\circ\text{C}$) ad una distanza dalla superficie di $z \approx 40 \text{ km}$ che rappresenta lo spessore medio della crosta (la temperatura iniziale è stata scelta per essere in accordo con questo valore).

Tenendo conto che il processo di raffreddamento non avviene solo per conduzione, ma anche per irraggiamento, convezione e fuoriuscita di magma incandescente a seguito di eruzioni, abbiamo che la nostra è una stima in eccesso dell'età termodinamica della Terra, cioè: **$t < 100$ milioni di anni.**

Ma questa età termodinamica della Terra contraddice i dati basati sul decadimento radioattivo delle rocce. Il carattere approssimativo della teoria considerata (curvatura della Terra trascurata, variabilità del coefficiente di diffusione termica, valore approssimato di T_0) non può cambiare, ovviamente, il valore ottenuto per l'età della Terra, la quale secondo dati radiometrici conta circa 4.6 miliardi di anni.

Lo schema fisico è stato completamente riveduto dopo la scoperta del decadimento radioattivo. In pratica gli elementi radioattivi sparsi nella crosta terrestre decadendo causerebbero il suo riscaldamento. Quindi in questo caso l'equazione di conduzione diventa:

$$\frac{\partial u(z; t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u(z; t)}{\partial z^2} + \frac{a}{c\rho} \quad (5)$$

dove a è la densità volumetrica delle sorgenti di calore. In base a numerose misure di radioattività di varie rocce sedimentarie e della loro emissione di calore è stato stabilito il valore:^[1]

$$a_0 = 5.4 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^3$$

il quale tiene conto del calore emanato dall'uranio, torio e potassio insieme ai prodotti del loro decadimento. Supponiamo adesso che la densità delle sorgenti radioattive all'interno della Terra sia costante. In questo caso a regime stazionario la quantità di calore di questi elementi emanata da tutto il globo nell'unità di tempo vale:

$$\dot{Q} = \frac{4}{3} \pi R^3 a \quad (6)$$

Per il flusso di calore per unità di superficie abbiamo:

$$q = \chi \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = \frac{\dot{Q}}{4\pi R^2} \quad (7)$$

Dalla (6) e (7) ricaviamo il valore del gradiente geotermico alla superficie: $z = 0$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = \frac{aR}{3\chi} \cong 6.4 \text{ } ^\circ\text{C/m} \quad (8)$$

Per il calcolo abbiamo usato i seguenti valori del raggio della Terra e del coefficiente di conducibilità termica medio delle rocce sedimentarie:

$$R = 6.37 \cdot 10^6 \text{ m}; \chi \approx 1.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Quindi per la (8) il gradiente geotermico secondo questa ipotesi è più di **200 volte** quello misurato di $0.03 \text{ } ^\circ\text{C/m}$.

Per risolvere la questione rinunciamo all'ipotesi della costanza della distribuzione degli elementi radioattivi, e supponiamo invece che la concentrazione di tali elementi decresca con la profondità dalla superficie in modo da avere la seguente relazione:

$$a = a_0 \exp(-z/d) \quad (9)$$

Dove d è una costante da ricavare avente le dimensioni di una lunghezza. Otteniamo quindi la seguente equazione per la temperatura stazionaria:

$$\frac{\partial^2 u(z)}{\partial z^2} + \frac{a_0}{\chi} \exp(-z/d) = 0 \quad (10)$$

con le condizioni:

$$u(0) = 0; \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z \rightarrow +\infty} = 0$$

E' evidente che la soluzione del problema posto è:

$$u(z) = d^2 \frac{a_0}{\chi} [1 - \exp(-z/d)] \quad (11)$$

Il gradiente di questa funzione per $z = 0$ è uguale a :

$$\gamma = \left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = d \frac{a_0}{\chi} \quad (12)$$

da cui possiamo ricavare un valore di d pari a 10 km ed un contributo massimo al valore della temperatura al centro della Terra calcolato mediante la (11) di 300 °C. In effetti con questa versione della teoria siamo costretti ad immaginare un centro della Terra freddo, dato che anche per l'effetto del raffreddamento per convezione e per irraggiamento (qui trascurati) dopo 4.6 miliardi di anni la temperatura al centro sarebbe piuttosto bassa, e la particolare disposizione degli elementi radioattivi non aiuterebbe certo a risolvere il caso. Bisogna però considerare che da un punto di vista strettamente termodinamico la costante d potrebbe avere anche un valore minore di quanto calcolato a regime stazionario, ma in questo caso l'età di 4.6 miliardi di anni rappresenterebbe solo il valore massimo possibile. Così se per esempio supponiamo un centro caldo, e che i radioelementi contribuiscano solo per il 30% al gradiente geotermico, si può ricavare dalla (12) e dalla (4): $d = 3$ Km, e un età della Terra di circa 200 milioni di anni.

Conclusioni:

Nel 1862, il fisico William Thomson (chi diventerà più tardi Lord Kelvin) di Glasgow calcolò un età della Terra compresa tra 24 milioni e 400 milioni di anni usando l'equazione di conduzione termica da poco scoperta, e assumendo che la Terra fosse una massa sferica di pietra completamente fusa e in via di raffreddamento. All'epoca numerosi studiosi cominciarono ad occuparsi di questo argomento, e le stime da loro fatte con metodi molto diversi tra loro diedero età che erano comprese nella maggior parte dei casi tra 20 e 100 milioni di anni.

Nel 1892 Kelvin calcolò nuovamente l'età della Terra usando dati più precisi e arrivando ad una stima di 100 milioni anni; lui però non sapeva all'epoca che la Terra ha un manto fluido e fuso, e questa omissione produsse una sopravvalutazione dell'età da lui calcolata. Nel 1895 John Perry stimò un'età della Terra compresa tra 2 e 3 miliardi di anni usando un modello a manto convettivo fuso e crosta sottile, nel quale però non si teneva conto del fenomeno di conduzione; Kelvin appena conosciuto questo lavoro rifece tutti calcoli considerando stavolta anche il raffreddamento per convezione oltre che per conduzione e riducendo così la stima a circa 20 milioni di anni^[3].

Nel 1904 Frederick Soddy, William Ramsay e Ernest Rutherford determinarono per la prima volta nella storia l'età di un esemplare di roccia sedimentaria mediante metodi radiometrici da loro inventati, stimando un età di circa 40 milioni di anni. Rutherford più tardi scrisse di come si sia trovato un pò imbarazzato per aver stimato un età in disaccordo con Lord Kelvin^[3].

Sebbene Rutherford fosse uno scienziato di prim'ordine intorno agli anni '30 si considerò sbagliata tale stima per una questione di "probabile contaminazione" della roccia da lui usata. Altri calcoli furono fatti usando rocce "non contaminate" e giungendo sempre con tecniche radiometriche ad una stima di circa 2 miliardi di anni; tale stima fu riconosciuta valida per oltre trent'anni^[1], finché altri scienziati non decisero che i campioni prima usati forse erano un pò "contaminati" e cominciarono

a presentare altri campioni che mostravano sempre un periodo un pò più lungo di quello dei loro predecessori, fino ad arrivare ai giorni nostri con 4.6 miliardi di anni...

Senza entrare troppo nel merito di una faccenda che ha più a che fare con lo scientismo che con la Scienza, bisogna dire che lo studio radiometrico di qualche campione per quanto accurato possa essere non può prescindere dall'essere in accordo (almeno come ordine di grandezza) con la termodinamica della Terra, a meno che non si trovi un nuovo modello termodinamico compatibile.

Questa spinosa questione fu affrontata già negli anni '30. Nacque l'ipotesi^[1] secondo la quale si suppone che una notevole quantità di elementi radioattivi come uranio, torio e potassio, sono disseminati sulla crosta terrestre, e a causa del loro decadimento provocano l'effetto di un aumento della temperatura superficiale che in pratica falserebbe la misura del gradiente geotermico facendo apparire così una stima dell'età della Terra molto più piccola del dovuto. Per avere delle conferme sarebbe possibile mediante un contatore Geiger studiare la compatibilità tra radioattività, temperatura e calore a varie profondità dalla crosta terrestre, e in occasione di eruzioni vulcaniche; ma finora non ci sono stati approfonditi studi di compatibilità fatti allo scopo di giustificare tale ipotesi.

Se la concentrazione di questi radioelementi deve decrescere con la profondità come prevede la teoria allora si potrebbe pensare ad un inteso bombardamento di neutroni provenienti dall'attività solare e dai raggi cosmici che in epoche remote avrebbero provocato una radioattività indotta quando ancora l'atmosfera non si era del tutto formata, e/o in epoche quando il campo magnetico si annullava per certi periodi, e in tal caso le datazioni radiometriche degli elementi situati nella superficie continentale potrebbero benissimo dare dei responsi ingannevoli, al contrario nel caso dei fondali oceanici con la formazione degli oceani si avrebbe avuto un assorbimento dei raggi cosmici da parte dell'acqua mantenendoli così indisturbati; questo potrebbe spiegare perché in tali fondali si trovano sempre rocce che presentano un'età radiometrica inferiore o uguale a 200 milioni di anni, anche se però bisogna dire che la stragrande maggioranza è più giovane, e le rocce più antiche che si trovano con maggior frequenza hanno un'età inferiore a **100 milioni di anni**.

Considerando ora che da vari campioni di rocce radioattive della superficie continentale si possono stimare età che vanno da zero a centinaia di miliardi di anni, non è difficile immaginare come un ricercatore sia tentato di presentare la roccia che più si accordi con la sua teoria^[2] tralasciando le altre con il pretesto della contaminazione. Sarebbe a tal proposito più logico presentare uno studio statistico che fornisca l'età che un gran numero di campioni presenta con maggiore frequenza, ma finora nessuna seria indagine del genere è stata mai condotta.

Bibliografia

[1] A. N. Tichonov, A. A. Samarskij “*Equazioni della fisica matematica*” Edizioni Mir

[2] Federico di Trocchio “*Le bugie della scienza. - Perché e come gli scienziati imbrogliano*” Oscar saggi Mondadori

Sitografia

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Age_of_the_Earth