

Metodi di datazione – Introduzione e metodi archeomagnetici

Storia di Oetzi, della concezione di tempo e del calcolo dell'età Terra

Nel 1991, durante un'escursione sulle Alpi, due coniugi austriaci trovarono il corpo di un uomo, parzialmente emerso sul confine di un ghiacciaio che si andava sciogliendo. Subito, i due coniugi pensarono che si trattasse di un alpinista che aveva avuto un incidente o che era stato bloccato da una tempesta e aveva perso la vita per assideramento. In poco tempo la notizia si diffuse e nel giro di pochi giorni fu organizzata una missione per recuperare il corpo.

Si scoprì che il ghiacciaio aveva conservato, mummificandolo, quel corpo quasi per intero. Era scheletrico, ridotto quasi soltanto al solo tessuto epiteliale, con pochissimi resti di vestiario e arnesi, privo di qualunque attrezzo da alpinista moderno. Si pensò allora che fosse vecchio di centinaia di anni, cosa che fece assumere a quel corpo il rango di reperto, anziché quello di cadavere. Con l'elicottero fu trasportato all'Istituto di medicina forense dell'Università di Innsbruck, in Austria. I primi ricercatori che poterono vedere quei resti raggiunsero con facilità la conclusione che erano vecchi di millenni, non di centinaia di anni, grazie a una stima visiva – di tipo stilistico – dei pochi manufatti ritrovati accanto al corpo. Si trattò comunque di una prima stima cronologica qualitativa, fatta assieme all'assegnamento al reperto di un nome: Oetzi, come la montagna che lo aveva protetto così a lungo. Un'ascia di Oetzi aveva la foggia di quelle in uso almeno 4.000 anni fa. In seguito le analisi strumentali avrebbero confermato questa datazione.

Tuttavia, quando è che i ricercatori possono essere certi della datazione di un reperto e come si fa a misurare il tempo trascorso quando ci si riferisce a oggetti o resti che appartengono a periodi così remoti da non essere conservati in nessuna traccia delle memorie umane né in alcuna testimonianza scritta? La risposta nel caso di Oetzi, così come per molti ritrovamenti archeologici organici, è stata la tecnica di datazione con il radiocarbonio, sfruttando il fenomeno fisico del decadimento radioattivo dell'isotopo del carbonio avente numero atomico 14; i fenomeni di decadimento radioattivo sono trasformazioni abbastanza comuni – su scala geologica – per diversi elementi della tavola periodica. Nel caso che stiamo esaminando, due laboratori diversi, uno ad Oxford in Inghilterra e l'altro a Zurigo, in Svizzera, diedero in modo indipendente l'uno dall'altro lo stesso risultato: Oetzi era vissuto fra 5200 e 5300 anni fa e lo smalto ancora presente sui suoi denti permetteva perfino di stabilire che aveva poco più di quarant'anni al momento della morte – anche questa osservazione è una forma di datazione.

Cinquemila anni dopo la sua scomparsa, dunque, Oetzi divenne celebre: le sue foto apparvero sulle copertine di riviste e giornali in tutto il mondo. Subito cominciarono anche le speculazioni sulle cause della sua morte: era caduto esausto sotto una tempesta o era stato aggredito

da nemici che volevano derubarlo? Quest'ultima supposizione sembra la più corretta, Oetzi apparentemente morì dissanguato per una ferita causata da una freccia, ma colpisce la curiosità, se non la "simpatia", per l'uomo dei ghiacciai che ancora ognuno di noi riesce a provare ritornando su questa storia. Difficilmente si resiste alla tentazione di costruire nell'immaginario una scena capace di illustrare gli ultimi momenti di vita di quell'uomo, nostro antenato.

Ci sono poi le controversie umane: chi può dire se nel suo vagabondaggio fra le Alpi 5.000 anni fa Oetzi si considerasse più italiano o austriaco. La sua tribù probabilmente abitava una delle regioni alpine ma difficilmente aveva stabilito su una carta i confini del proprio territorio. Nel XX secolo, invece, era molto importante stabilire con cura se il luogo in cui quell'uomo era caduto appartenesse all'Austria o all'Italia. Fu portato a Innsbruck ma successivamente fu dimostrato con misure molto precise che la sua tomba di ghiaccio si trovava 92 metri a Sud del confine fra i due paesi. Così, dal 1998, Oetzi riposa in un nuovo museo a Bolzano, in Italia, dove può essere visitato attentamente protetto in una teca che riproduce le condizioni ambientali del ghiacciaio.

Il radiocarbonio e le tecniche di datazione

La datazione con il radiocarbonio è solo una delle numerose e per molti versi scientificamente affascinanti tecniche che sono state sviluppate per misurare l'età di oggetti prodotti o, nel caso di organismi, vissuti nel lontano passato. Di solito però queste tecniche permettono di andare soltanto a scalfire in superficie la lunga storia del nostro pianeta; per sondare ancor più in profondità nel passato le vestigia della Terra esistono comunque tecniche che permettono di correlare fra loro eventi (biologici – geologici – astronomici) accaduti milioni e in alcuni casi anche miliardi di anni fa, perfino con un buon livello di accuratezza.

Le considerazioni scientifiche, in campo biologico per esempio, che sono state possibili grazie all'applicazione di questi metodi di datazione e alla valutazione dell'antichità della Terra, sono tutt'altro che irrilevanti, anzi sono sorprendenti per tutto un arco di discipline di studio. Per i biologi e i paleontologi è stato possibile verificare e completare idee legate alle teorie dell'evoluzione. Per gli archeologi è stato possibile costruire una scala dei tempi per lo sviluppo delle culture delle civiltà. Per i geologi è stato possibile ricostruire una cronologia delle trasformazioni subite dalla Terra.

Tutto l'arco di tempo che si estende ben prima della storia scritta, molto oltre gli ultimi 50.000 anni circa – corrispondenti al periodo databile con la tecnica del radiocarbonio in modo accurato – è stato definito "tempo profondo". La concezione di una profondità del tempo che si estende ben oltre i limiti della specie umana e della biologia è senza dubbio uno dei lasciti più importanti della geologia.

Il tempo nell'età di mezzo

Ma il tempo inteso in senso tecnico misuristico come durata, età, datazione, rappresenta solo una parte del nostro modo di concepire lo scorrere della realtà, l'esistenza di un prima e un dopo. Un'analisi del concetto di tempo in età medioevale può permettere di comprendere con maggiore chiarezza, lungo la storia, come gli uomini abbiano plasmato su di sé l'idea del tempo e dello scorrere delle sue parti, diversamente da come è accaduto in modo più distaccato e concreto per i concetti e le misure di distanza, di superficie o di peso. Si può osservare, per esempio, che le ore medievali non erano delimitate da eventi naturali ma rappresentavano e avevano una durata arbitraria, suscettibile di definizioni arbitrarie, diversamente dal concetto di giorno, notte, mese o anno che avevano comunque un riferimento oggettivo in cielo. La scansione temporale era approssimativa, il tempo era sì dettato dall'alba, dal tramonto, dal clima, in modo già più incerto dal mezzogiorno, ma oltre a questo non vi fu altro riferimento attendibile fino all'avvento degli orologi meccanici. Ciononostante, la definizione delle ore era allora, come oggi, centrale per la vita comunitaria degli abitanti delle città. L'etimologia ci offre qualche indicazione: il termine inglese "clock" per orologio, deriva dal francese "cloche", tedesco "glocke" per campana. "Un paese senza campane è come un cieco senza bastone", scrisse Rabelais. Le ore delle campane erano però quelle canoniche: la terza, la sesta, la nona, non regolari né sufficienti per scandire tutti gli eventi di una giornata. Potremo forse dire che il tempo si cominciò a contare con cura dopo l'avvento dell'economia mercantile quando – secondo una prefigurazione resa celebre da Benjamin Franklin – davvero il tempo diventò denaro.

I primi orologi meccanici risalgono al 1300 circa, quando fu inventato il meccanismo che noi chiamiamo dello "scappamento", un modo tecnologico di addomesticare il tempo. Possiamo leggere un riferimento allegorico agli orologi meccanici in Dante Alighieri, nel Paradiso, canto XXIV della Divina Commedia (anno 1320 circa):

*E come cerchi in tempra d'oriuoli
si giran sì, che 'l primo a chi pon mente
quièto pare, e l'ultimo che voli*

Va anche osservato che quasi tutti all'epoca di Dante, storici inclusi, pensavano che la storia fosse ben rappresentata dallo schema dei quattro regni tratto da un passo del libro di Daniele: il re babilonese Nabuccodonosor sogna una statua con la testa d'oro, il petto e le braccia d'argento, il ventre e le cosce di bronzo, le gambe di ferro, i piedi di ferro misto d'argilla. La testa, secondo

l'interpretazione corrente, rappresentava l'impero babilonese destinato ad essere soppiantato dagli imperi successivi. L'ultimo impero, di ferro, sarebbe durato a lungo e fu identificato con l'impero romano che si sarebbe protratto fino alla fine del tempo. Per tale motivo alcuni cristiani identificavano gli imperi carolingio e ottomano come proseguimenti di quello romano, diversamente si sarebbe distrutto un simbolo biblico che teneva uniti il passato (sempre) sacro e remoto, con il presente (sempre) precario, e un futuro (quasi sempre) santo imminente.

Il calendario degli uomini, della bibbia e della geologia

Nel 1582, gli astronomi e i matematici posero il problema della discrepanza accumulata con i secoli del calendario giuliano (stabilito da Giulio Cesare), che commetteva un errore minimo ma progressivamente accumulatosi nel tempo, nel calcolo dell'anno solare. Giulio Cesare aveva stabilito che l'anno civile avesse 365 giorni con un anno bisestile inserito ogni 4 anni normali. In realtà l'anno solare ha durata media di circa 365 giorni, 5 ore, 55 minuti; i 5 minuti in meno rispetto a 365 giorni e 6 ore calcolate per l'anno medio in epoca romana sono il tempo in difetto non considerato dai giorni bisestili inseriti nei millecinquecento anni successivi. Sotto il papato di Gregorio XIII l'errore accumulato – rispetto per esempio ai solstizi e agli equinozi che regolano feste religiose come la Pasqua e il Ramadan – corrispondeva a circa 11 giorni. Per questa ragione Gregorio XIII stabilì che il giorno martedì 4 ottobre 1582 sarebbe stato seguito da venerdì 15 ottobre 1582; inoltre, per quanto riguarda gli anni bisestili, stabilì che quelli di inizio secolo lo sarebbero stati solo se divisibili per 4 (come il 1600 e il 2000, non il 1900).

Ora, allertati contro il pensiero del senso comune e avvisati che questo non è mai rimasto unico, immutato attraverso i secoli, possiamo procedere con le nostre considerazioni sull'età del mondo e sulle sue misure. L'idea che i tempi geologici si allungassero nel passato in modo quasi inimmaginabile prese corpo nel XVIII secolo quando alcuni studiosi cominciarono a chiedersi seriamente, sulla base dell'osservazione della natura, quale potesse essere l'età del nostro pianeta. Fino ad allora la risposta a tali domande era fortemente influenzata dalla religione e, nel mondo occidentale, da una interpretazione letterale della Bibbia, secondo la quale Dio avrebbe creato il mondo fra 4.000 e 6.000 anni fa.

I metodi di datazione basati sul decadimento radioattivo hanno ora definito una cornice di tempo comunemente accettata e in grado di spiegare la storia dell'universo la formazione del sistema solare e della terra e l'evoluzione della nostra stessa specie. Tuttavia, va osservato che senza la possibilità di misurare entità così distanti nel tempo in modo accurato saremmo anche noi privi di strumenti per la comprensione della storia e di molti processi naturali che, infine, l'hanno anche condizionata.

Per tutto il periodo della storia scritta i riferimenti al tempo e alla sua misura sono numerosissimi e sono stati argomento di analisi non soltanto per gli studiosi filosofi ma anche per questioni legati alla vita lavorativa e sociale. Il sole, la luna, le stelle – o meglio, i loro moti - furono usati per stabilire il succedersi dei giorni, dei mesi e degli anni per le pratiche agricole e per costruire i primi calendari. L'astronomia era praticata principalmente per regolare il succedersi delle attività umane in funzione del tempo. Fin dai tempi della civiltà greca furono costruiti strumenti capaci di descrivere l'anno solare di mesi lunari e le fasi della luna le eclissi e i movimenti dei pianeti osservabili ad occhio nudo. Molto di questo è stato scritto più di 2.000 anni fa, sotto la civiltà ellenica, ma non sempre quel che fu scritto allora sarebbe stato compreso nei secoli successivi.

La più nota interpretazione dei testi biblici per la valutazione dell'età della terra fu realizzata dall'arcivescovo irlandese James Ussher nel 1650. Secondo gli studi e i calcoli di Ussher, la Terra fu creata la sera del 22 ottobre nell'anno 4004 avanti Cristo: “Secondo la nostra cronologia, il tempo ebbe inizio nella notte precedente il 23 ottobre dell'anno corrispondente al 710 del calendario giuliano” (N.B. secondo le interpretazioni creazioniste, il calendario Giuliano ha come riferimento iniziale l'anno 4714 a.C., inesistente secondo i computi letterari della Bibbia). Fu il compimento di una ricerca iniziata secoli prima, tesa a ricostruire passo dopo passo la storia dell'umanità raccontata dalla Bibbia. Oltre la Bibbia, ai tempi di Ussher, non c'era nessun'altra ragionevole fonte di informazioni o dati che permettessero di tarare l'età del mondo. Adamo fu creato cinque giorni dopo la Terra e aveva 130 anni quando nacque suo figlio Seth; Seth ebbe un figlio a 105 anni ..., e così di seguito aggiungendo la durata di vita dei diversi personaggi uno dopo l'altro, dopo aver fatto alcune considerazioni in modo molto educato sui periodi di tempo non coperti dalla successione generazionale, quegli studiosi del Vecchio Testamento credettero di aver stabilito con cura il giorno della creazione. L'opera di Ussher rappresenta il culmine di questi studi e di questi calcoli. Nei duecento anni successivi numerose copie della Bibbia riportavano lungo i margini le date corrispondenti; negli stessi anni avrebbero preso però corpo anche i concetti e le idee dell'illuminismo e del metodo scientifico applicato come criterio di indagine della realtà.

James Hutton, nato in Scozia nel 1726, a Edimburgo dove vissero anche Adam Smith, James Watt e David Hume, non è molto noto alle cronache scientifiche ma fu lui il primo a introdurre alcuni concetti di trasformazione della crosta terrestre. Fondamentalmente Hutton, un nobile possidente terriero, aveva compreso che i processi di erosione erano ciò che garantiva la formazione del suolo delle sue fattorie. Osservò anche che parte del suolo veniva dilavata e trasportata dai fiumi fino al mare dove si depositava, strato dopo strato, formando fango, sabbie e limo. Ma non tutte queste formazioni rimanevano sul fondo del mare, talvolta formazioni analoghe si ritrovavano sulla

terra anche, molte delle abitazioni di Edimburgo erano state costruite con blocchi di calcare stratificato estratto da siti locali.

Hutton ipotizzò quindi che l'accumulo di sedimenti fosse causa di un aumento della temperatura degli strati più profondi e che in alcune condizioni si potesse arrivare alla fusione delle rocce con violente espansioni delle formazioni geologiche, le quali potevano essere la causa per la formazione delle colline e perfino delle montagne. Avendo davanti a sé le prime macchine della rivoluzione industriale Hutton, per osservazione diretta, comparò inoltre i processi di trasformazione della crosta terrestre alle operazioni di una macchina in un processo industriale trasformando la geologia da una scienza statica a una scienza di studio delle trasformazioni del sistema Terra. Un ciclo che poteva essere ripetuto all'infinito in cui ogni passaggio automaticamente implicava il susseguirsi di un passaggio successivo. Per esempio, si credeva allora che il granito si formasse per precipitazione sul fondo del mare; Hutton suggerì l'ipotesi che si formasse per raffreddamento di masse fuse, anche perché aveva osservato che formazioni granitiche si insinuavano informazioni sedimentarie con modalità tipiche delle fasi liquide rispetto alle fasi solide. Non solo erosione e sedimentazione, quindi, ma trasformazioni più incisive con incluse fasi di rinnovamento.

Ogni fase si sviluppava con una lentezza che non ne permetteva l'osservazione nel corso di una sola generazione, né di un solo secolo. Per l'accumulo dei sedimenti, il consolidamento delle sabbie, per la formazione delle montagne occorrevano cicli cronologici così lunghi che andavano oltre gli standard umani. E, se questo era corretto, il paesaggio attuale terrestre è solo il risultato dell'ultimo di questi cicli; l'età della Terra poteva essere inimmaginabile.

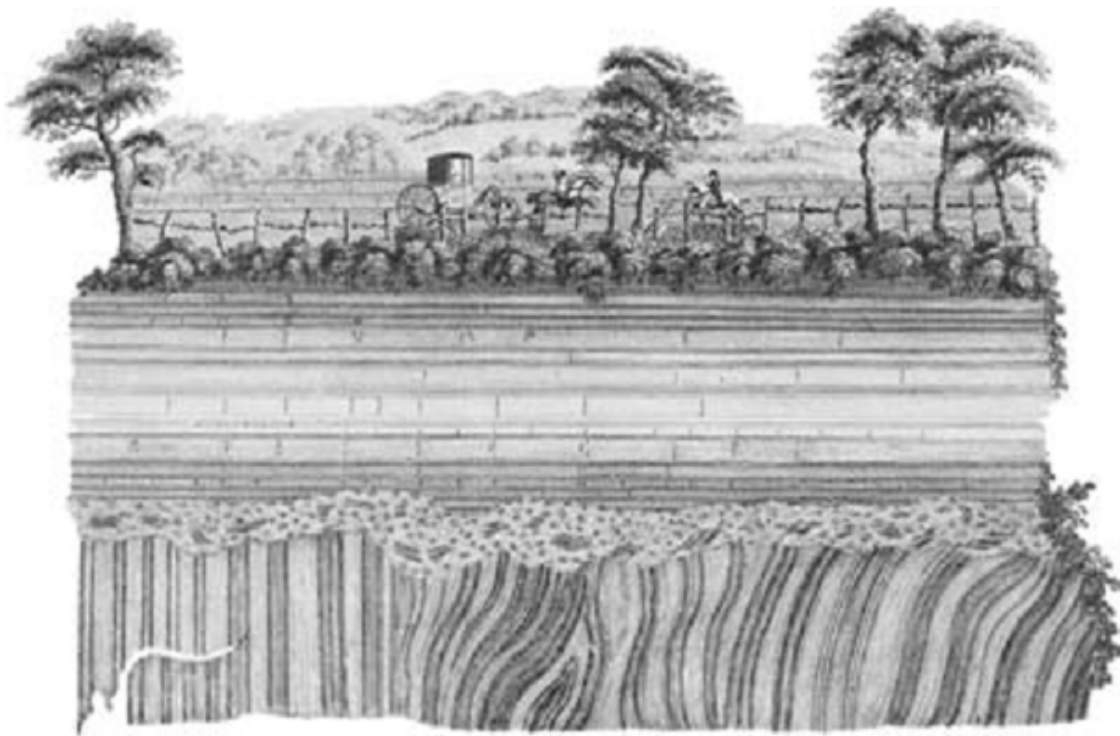


Fig. 1: Disegno riprodotto nel libro di James Hutton “*Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*” (ed. 1795).

Nella figura 1, si vedono gli strati inferiori osservati da James Hutton, posizionati verticalmente cosa impossibile da spiegare soltanto con i processi di sedimentazione. Ma anche i processi di sedimentazione nello stato superiore sono spiegabili solo con grandi trasformazioni: un fondale marino sollevato o un mare ritiratosi. Come poteva tutto ciò essere accaduto in soli 6.000 anni? Nel 1779 Hutton, nel suo testo *Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*, affermava: "Il risultato dei nostri studi quindi indica che non ci sono vestigia di un inizio né prospettive di una fine". Una frase frequentemente citata in geologia. Questa nuova teoria scosse il mondo della scienza della filosofia e della teologia, ma Hutton non aveva potuto quantificare le sue osservazioni. Non avrebbe potuto con i mezzi a sua disposizione sapere se processi da lui osservati andavano avanti da 1 milione di anni, 100 milioni o da sempre.

L'età della terra

Come sovente accade nel mondo della scienza non è quasi mai un unico studioso ad osservare fenomeni di portata rivoluzionaria, più sovente è unico colui che osa mettere in discussione le conoscenze convenzionali sulla base di osservazioni già raccolte da molti. Prima di Hutton, lo stesso Newton aveva provato a quantificare l'età della terra contraddicendo i conteggi

biblici. Considerando la velocità di raffreddamento di un oggetto delle dimensioni della Terra calcolò grossolanamente che essa non potesse avere più di 50.000 anni. Un'età 10 volte maggiore di quella biblica comunque insufficiente a giustificare le osservazioni di Hutton.

Cento anni dopo Newton il professor Williamn Thompson, passato alla storia come Lord Kelvin, tentò un nuovo esperimento per calcolare l'età della Terra sulla base del suo raffreddamento nel tempo. Si servì di osservazioni di ordine fisico senza prestare attenzione alle considerazioni geologiche di Hutton. I fisici pensavano che la Terra in origine fosse una sfera di fuoco perché avevano osservato il gradiente termico delle miniere con la temperatura che aumenta con il crescere della profondità. Dal punto di vista fisico, questo gradiente poteva indicare una sola cosa: che il pianeta si sta raffreddando e che il calore diffonde dalla zona interna, più calda, verso la superficie, più fredda. Dopo aver fatto le proprie considerazioni sulla possibile temperatura iniziale della Terra e sulla velocità del processo di raffreddamento nel 1862 Lord Kelvin annunciò che la terra aveva 98 milioni di anni. Aggiunse che a causa dell'imprecisione nei suoi calcoli in realtà si poteva ipotizzare un intervallo di tempo compreso fra 20 e 400 milioni di anni fa. Una stima errata ancora di 10 volte almeno, ma comunque ben più avanzata rispetto ai soli 50.000 anni proposti da Newton.

Data la fama e l'effettiva capacità scientifica di Lord Kelvin – a cui è dedicata la scala dei valori di temperatura assoluta – ci si sarebbe aspettati un grande credito alla sua teoria sull'età del pianeta. Non fu così, gli studiosi familiari con il mondo della geologia abituati a confrontarsi con i naturali ritenevano anche questa età, quasi 100 milioni di anni, insufficiente per spiegare molti fenomeni. Tuttavia, nessuno osava confutare apertamente Lord Kelvin, né fu possibile aggiungere nuovi dati. Più tardi nuovi calcoli e tentativi sperimentali svolti da Kelvin ridussero la sua stima sull'origine del nostro pianeta ad un intervallo compreso fra 20 e 40 milioni di anni fa.

Ai problemi della geologia, dopo il 1859 si aggiunsero quelli della biologia. Nella interpretazione deducibile attraverso l'“Origine delle specie” di Charles Darwin, 20 milioni di anni o 100 milioni sono appena un battito di ciglia per spiegare l'intera evoluzione del vivente.

Uno dei figli di Charles Darwin, George, considerando il rallentamento del moto di rotazione della Terra sul proprio asse e ipotizzando che la luna fosse stata in origine scaraventata via dalla forza centrifuga; arrivò a calcolare un'età di 50 – 60 milioni di anni se davvero la luna avesse avuto tale origine, altrimenti sarebbe stata molto più vecchia.

Un altro geologo irlandese, John Joly, provò a calcolare l'età del pianeta in base alla quantità di sale presente nel mare. Se la salinità degli oceani è dovuta al contributo dei fiumi che continuamente trasportano minerali dai rilievi orografici ai fondali marini doveva esistere un metodo che permettesse, sulla base del contenuto di sale in ogni fiume, di calcolare il tempo necessario per rendere salato il mare. Anch'egli, peraltro con dati molto approssimativi, calcolò

un'età di circa 90 milioni di anni. Altri geologi tentarono di sostituire al sale i sedimenti calcolando il volume dei depositi annuali, ma tutti sbagliarono largamente per difetto. Nessuno osò assumere un'età più grande di poche centinaia di milioni di anni.

Un primo errore grave compiuto nel calcolo del raffreddamento di Lord Kelvin fu di non aver considerato i moti convettivi all'interno del pianeta, che continuamente spostano masse calde verso la superficie e materiali freddi a livelli di maggiore profondità. Questo comporta calcoli di gradiente termico ben diversi rispetto a quelli effettuati nel XVIII secolo ipotizzando la Terra come un corpo solido rigido e non come è: una massa solida solo nelle parti più esterne, con zone di diversa fluidità e densità che si “agitano” al suo interno. Un secondo fenomeno di cui non fu possibile tener conto ai tempi di Newton e di Lord Kelvin è quello della radioattività: piccole quantità di isotopi radioattivi dispersi all'interno del pianeta producono calore con il decadimento, riducendo in modo sostanziale lungo gli eoni la velocità di raffreddamento.

La radioattività, fra l'altro, è proprio il fenomeno utilizzato per l'attuale valutazione dell'età del pianeta. Fu scoperta alla fine del XIX secolo, nel giro di pochi anni, si comprese che poteva essere utilizzata per misurare l'età delle rocce più antiche. Le prime misure, per quanto grossolane, sembravano mostrare che l'età delle rocce terrestri era di almeno mezzo miliardo di anni. Una scoperta sconvolgente. Ci furono molti scettici, inizialmente, ma con il procedere delle misurazioni e la conferma della vecchiezza delle rocce ci si convinse che effettivamente la Terra è molto, molto vecchia. A metà del XX secolo fu chiarita l'età massima possibile della nostra navicella-pianeta utilizzando praticamente ogni isotopo disponibile: al prossimo compleanno compirà circa 4.540.000.000 anni

Bibliografia:

- Alfred W. Crosby, *La misura della realtà*, Dedalo, Bari 1998.
- J. D. Macdougall, *Nature's clocks: how scientists measure the age of almost everything*, University of California Press 2008.