

Datazioni radiometriche con il metodo

U/Th

Il metodo di datazione U/Th (Ivanovich e Harmon, 1992) si basa sul decadimento di alcuni isotopi della “famiglia radioattiva” del ^{238}U .

A partire da ^{238}U , le reazioni di decadimento portano alla formazione di ^{234}Th , ^{234}Pa , ^{234}U , ^{230}Th e così via sino al ^{206}Pb , che è stabile.

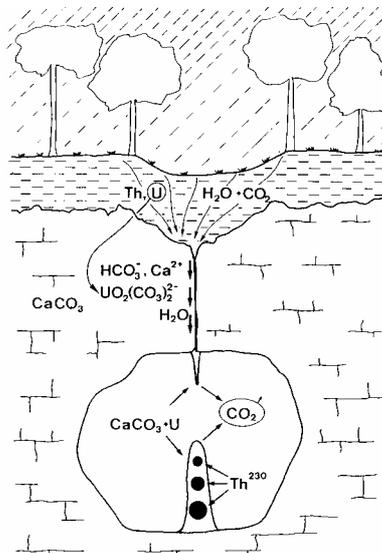
Trascorso un arco di tempo pari a circa 10 volte il tempo di dimezzamento più lungo presente nella famiglia del ^{238}U , ossia circa 750.000 anni (il tempo di dimezzamento più lungo è quello del ^{230}Th pari a 75.200 anni) si osserva che solo l'isotopo iniziale (^{238}U) decresce senza interruzioni, e solo l'ultimo figlio (l'isotopo stabile ^{206}Pb) cresce mentre gli altri isotopi intermedi sono in equilibrio.

Poiché questo processo sia utilizzabile come geocronometro occorre verificare alcune condizioni, a partire dal presupposto che ^{234}U sia già in equilibrio radioattivo con ^{238}U .

Inoltre non deve essere intervenuta alcuna perturbazione ad aprire il sistema geochimico della concrezione, cioè non deve essersi verificato uno scambio di elementi con l'esterno.

L'acqua che circola in un massiccio carbonatico prende in carico sia carbonato di calcio sia una minima quantità di Uranio.

In questa soluzione è invece assente il Torio, in particolare il ^{230}Th , a causa della sua insolubilità.



Le concrezioni che ne derivano contengono quindi Uranio (vicariante del Calcio nel reticolo cristallino della calcite), che inizia a decadere in ^{230}Th , originariamente assente.

La formazione di Torio obbedisce alla legge del decadimento radioattivo ed è quindi quantificabile. La misura della concentrazione di ^{230}Th nella concrezione è quindi una misura del tempo trascorso dalla formazione del campione in analisi (nella famiglia ^{238}U , il ^{230}Th è l'unico isotopo utilizzabile in quanto tutti gli altri hanno un tempo di dimezzamento troppo breve). Bisogna tuttavia tener conto di un altro fenomeno.

Benché i due isotopi dell'Uranio (^{234}U e ^{238}U) abbiano le stesse proprietà chimiche, il rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ non è unitario nelle acque, ma nella maggior parte dei casi è maggiore di 1. Ciò è dovuto ai danni provocati nel reticolo cristallino, per esempio della calcite, dal decadimento di ^{238}U (effetto rinculo). Per questo motivo i suoi discendenti, e quindi ^{234}U , occupano un sito del reticolo cristallino reso fragile: di conseguenza la loro solubilità effettiva, a partire dalla roccia madre, aumenta. Ne risulta quindi che si osserva, oltre alla crescita del ^{230}Th dopo la precipitazione iniziale, un calo del rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ verso l'unità (equilibrio secolare). Il calcolo dell'età di una concrezione si riduce così alla risoluzione di un sistema a due equazioni a due incognite: il rapporto isotopico iniziale $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ e il tempo t .

I dati sono i rapporti isotopici $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ e $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$.

I principi fisici della datazione U/Th implicano dunque la verifica delle condizioni iniziali, precedentemente esposte, perché l'età calcolata sia valida.

Infatti il metodo si compone di due fasi essenziali e nettamente differenti: l'ottenimento dei rapporti isotopici da un lato (acquisizione dei dati) ed il calcolo dell'età radiometrica dall'altro (interpretazione).

L'ottenimento dei rapporti isotopici risulta da una analisi chimica.

Questi risultati dipendono solo dal metodo utilizzato, dalla cura con cui è stata eseguita l'analisi, dagli errori di conteggio delle particelle alfa; non sono

discutibili nell'ambito dell'intervallo di errore (per esempio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}=1,003\pm 0,002$). Al contrario, 'età di una concrezione, (o di un

qualunque carbonato di precipitazione), calcolata a partire dai rapporti isotopici $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ e $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, è una interpretazione di questi rapporti e richiede, per essere valida, il rispetto delle ipotesi iniziali.

Il cronometro rappresentato dall'aumento del ^{230}Th è in definitiva un buon orologio solo se, al tempo $t=0$ (il momento in cui il cristallo di calcite analizzato si sta formando), non c'è Torio nel reticolo cristallino. In caso contrario l'orologio segna già un certo numero di migliaia di anni al momento della sua formazione!

La presenza di Torio è legata generalmente a impurezze insolubili, come i colloidi argillosi. Il ^{230}Th proviene sia dalla roccia incassante, fissato ad un colloide, sia da particelle di argilla trasportate dall'acqua di infiltrazione.

Questa parte di ^{230}Th è legata al ^{232}Th che è sempre presente nei minerali argillosi. La presenza del ^{232}Th è così un *marker* della possibile sorgente di inquinamento del carbonato. Si parla perciò di "torio detritico", in quanto associato a particelle detritiche. Il rapporto $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ è quindi l'indice caratteristico di un eventuale inquinamento. Si stima che sia 20 il valore minimo al di sotto del quale è necessario sospettare del risultato.

Oltre a questa prima condizione iniziale da verificare, esiste l'incognita di un'eventuale apertura del sistema, che porterebbe ad invalidare le condizioni iniziali necessarie per la significatività delle misure. L'apertura può dipendere da diversi fattori, essenzialmente variazioni nella quantità e nelle caratteristiche delle acque circolanti.

Esistono diversi indici geochimica, morfologici o mineralogici in grado di calcolare l'apertura del sistema, che tuttavia non sono sempre presenti o facilmente individuabili.

Un certo numero di età calcolate possono così essere false senza che il geochimico possa saperlo.

L'analisi dei dati geochimici consente di valutare l'affidabilità delle età calcolate. Il rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ è importante per il calcolo delle età.

Questi due isotopi dell'Uranio hanno normalmente un rapporto maggiore di 1 nelle acque di infiltrazione, e quindi nelle concrezioni, perché il ^{234}U è più

solubile di ^{238}U (Ivanovich e Harmon, 1992; Borsato et al., 1998, per una rassegna sull'argomento).

Il rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, una volta che il sistema si è chiuso, tende a 1 con il passare del tempo (equilibrio secolare). In molti sistemi aperti, però, il rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ può avvicinarsi a 1 a causa della lisciviazione del ^{234}U .

Il rapporto $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ costituisce il cronometro propriamente detto del metodo; esso, se il sistema è rimasto chiuso, non può mai essere maggiore di 1, a meno che non vi sia stato un inquinamento da parte di Torio durante la formazione della calcite.

Quindi, nel caso in cui il rapporto $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ sia maggiore di 1, sono possibili due casi: il sistema è probabilmente aperto con lisciviazione del ^{234}U , oppure vi è stato un inquinamento di Torio, i due rapporti ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ e $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) sono uguali a 1 solo se il sistema ha raggiunto l'equilibrio secolare (Ivanovich e Harmon, 1992; Borsato et al., 1998).

Il rapporto $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ è indicativo dell'apertura del sistema o dell'inquinamento da parte di torio durante la formazione della calcite.

La presenza del ^{232}Th in una concrezione implica che è possibile che ci sia ^{230}Th che proviene da una famiglia diversa rispetto a quella del ^{234}U .

Si stima che questo rapporto debba essere maggiore di 20 perché sia affidabile.

Al di sotto di questo valore esiste una probabilità non trascurabile che l'età sia errata, in genere più vecchia dell'età reale a causa della presenza di ^{230}Th estraneo al sistema.

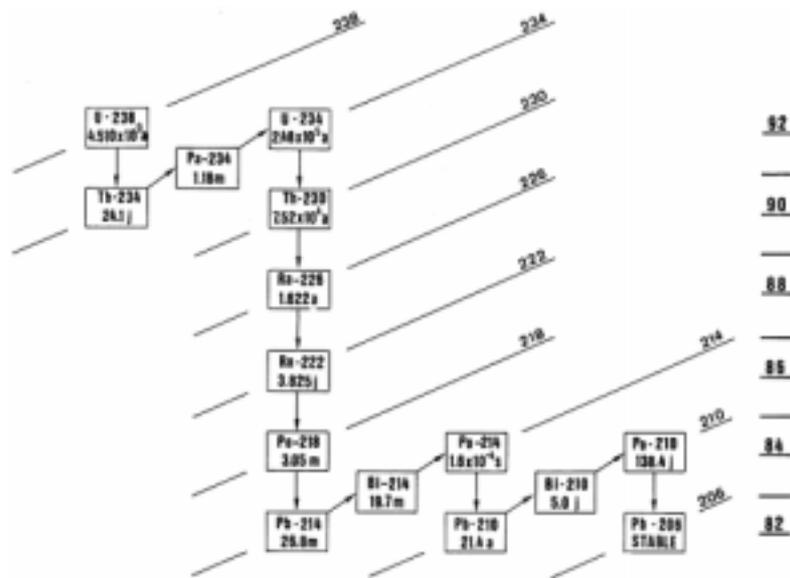


Fig. 13 - Famiglia radioattiva dell'isotopo 238 dell'Uranio (U^{238}). Le linee oblique sono le isobare (numero di massa, protoni più neutroni, costante), le linee orizzontali sono le isotopi (numero atomico, dei protoni, costante). Il passaggio da un'isobara alla successiva si ottiene per emissione alfa, la transizione isobara si ottiene per emissione beta. I tempi di dimezzamento sono indicati per ciascun isotopo in anni (a), giorni (j), minuti (m) e secondi (s). Si vede che ogni disintegrazione alfa o beta ha come risultato un elemento chimico diverso dal precedente.

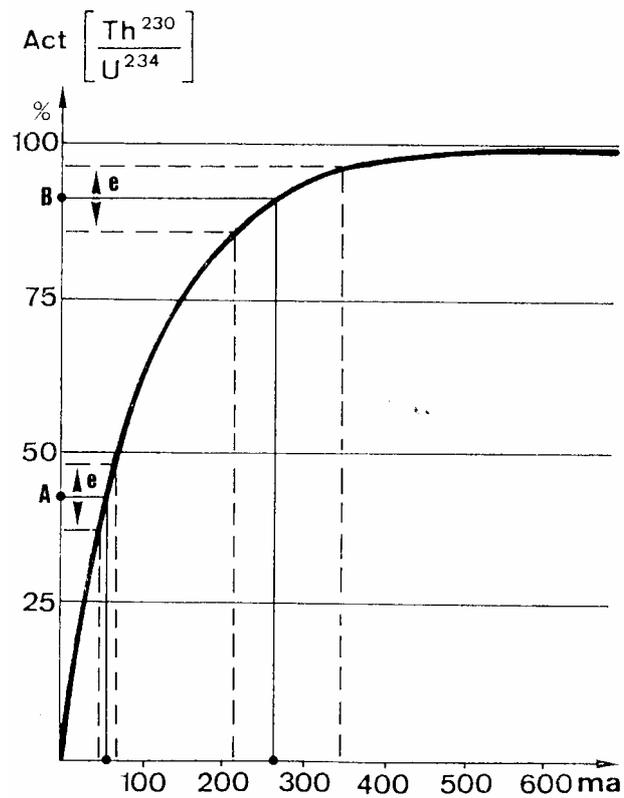


Fig. 14 - Crescita del Th^{230} in funzione del tempo. Si vede che, conformemente al periodo del Th^{230} (75.200 anni), il rapporto d'attività tra il Th^{230} e l' U^{234} tende verso 1 su 600.000 anni. la sensibilità del metodo non permette di sorpassare 400.000 anni nel calcolo dell'età. Qui abbiamo considerato che il rapporto $\text{U}^{234}/\text{U}^{238}$ sia uguale a 1.