

I "termometri dell'ossigeno terrestre"

Simulare come i sedimenti oceanici e le carote di ghiaccio continentale registrano i cambiamenti della temperatura terrestre nel passato geologico.

Esistono due forme stabili di atomi di ossigeno (isotopi) utili per la ricerca sui cambiamenti passati del clima terrestre: l'ossigeno-16 (^{16}O - con 8 protoni e 8 neutroni nel nucleo), più leggero, e l'ossigeno-18 (^{18}O - con 8 protoni e 10 neutroni), leggermente più pesante (Fig. 1). Di questi, l' ^{16}O è il più comune, essendo circa 500 volte più abbondante in natura della forma più pesante. Nelle acque oceaniche questo rapporto varia al variare della temperatura dell'acqua marina. L'analisi chimica degli atomi di ossigeno all'interno dei gusci di carbonato di calcio (CaCO_3) dei microfossili marini o dei campioni di acqua (H_2O) provenienti dalle carote di ghiaccio fornisce un modo per stimare le temperature passate della Terra.

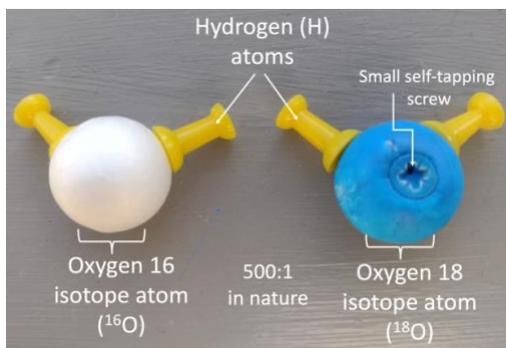


Fig. 1: Modelli di due molecole d'acqua che simulano diversi isotopi di ossigeno. (Pete Loader)

La simulazione

Gli isotopi dell'ossigeno nelle molecole d'acqua possono essere simulati utilizzando palline di polistirolo di due colori (qui bianco e blu) con un piccolo peso (una vite o una puntina da disegno) inserito nelle palline blu dell'isotopo ^{18}O per renderle più pesanti. Le palline dei due colori vengono mescolate in un contenitore trasparente (che rappresenta l'acqua marina dell'oceano) con un rapporto 50:50 tra bianco e blu (per facilitare il confronto). Si ricorda agli studenti che ciascuna delle palline bianche di ^{16}O è 500 volte più abbondante in natura rispetto alle palline blu di ^{18}O . (Gli atomi di idrogeno sono omessi nella simulazione per semplicità).

- Chiedete agli studenti cosa prevedono che accadrà se il contenitore dell'oceano viene scosso energicamente: è più probabile che le palline più leggere fuoriescano rispetto a quelle più pesanti.
- Dimostratelo, facendo fuoriuscire le palline in un coperchio di scatola rovesciato che rappresenta le nuvole.
- Spiegate che questo rappresenta l'evaporazione dell'acqua dall'oceano all'atmosfera e il suo accumulo nelle nuvole.
- Mostrate che la composizione isotopica dell'acqua dell'oceano inevitabilmente si fraziona, con una percentuale maggiore di

palline bianche più leggere che sfuggono più facilmente nelle "nuvole" rispetto alle palline blu più pesanti che prevalgono nell'acqua dell'oceano. (Fig. 2).



Fig. 2: Frazionamento dell'isotopo dell'ossigeno durante l'evaporazione. (Pete Loader)

Si possono quindi esplorare due scenari: uno con la Terra soggetta a condizioni interglaciali più calde, come oggi (con poche coltri di ghiaccio sulla terraferma), e uno in condizioni glaciali (con estese coltri di ghiaccio sulla terraferma).

Periodi interglaciali (con poche coltri glaciali sulla terraferma, concentrate ai poli)

Dopo aver agitato vigorosamente il contenitore, l'acqua raccolta nelle "nuvole" viene trasferita in un altro contenitore che rappresenta la precipitazione sulla terraferma sotto forma di pioggia. Un'analisi del rapporto isotopico $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ mostra una maggiore proporzione di palline di ^{16}O che raggiungono la terraferma, in contrasto con la maggiore proporzione di palline di ^{18}O nell'oceano. Tuttavia, poiché l'acqua ritorna all'oceano attraverso i fiumi, la proporzione nell'oceano rimane normale (50:50 in questa simulazione).

Riportate le palline dalla "terraferma" all'oceano per mostrarlo.

Spiegate che tutti i microrganismi marini includeranno questo rapporto nel CaCO_3 dei loro gusci durante questo periodo. Quando queste creature muoiono, i loro gusci si accumulano sul fondo dell'oceano come sedimenti e registrano il bilancio isotopico dell'ossigeno dell'oceano (qui 50:50). Dimostrate questo concetto prelevando un campione rappresentativo di palline dall'"oceano" in un bicchiere di plastica trasparente per

rappresentare un campione ottenuto da un carotaggio nel sedimento oceanico (Fig. 3).

Periodi glaciali (con estese coltri di ghiaccio che avanzano dai poli per coprire i continenti).

Questa volta l'acqua raccolta dalle "nuvole" viene trasferita in un altro contenitore trasparente sulla terraferma che rappresenta la nevicata su uno strato di ghiaccio (Fig. 3). Un'analisi del bilancio ^{18}O : ^{16}O mostra ancora una volta una maggiore proporzione di palline bianche di ^{16}O che raggiungono la terraferma rispetto alla maggiore proporzione di palline blu di ^{18}O nell'oceano. Questa volta, però, l'acqua sulla Terra ricca dell'isotopo più leggero ^{16}O rimane intrappolata nei ghiacci in espansione e non ritorna subito nell'oceano come nello scenario precedente.

Spiegate che i gusci dei microrganismi che si accumulano nei sedimenti dei fondali oceanici durante questo periodo glaciale avranno nei loro gusci di CaCO_3 una concentrazione di ^{18}O più elevata rispetto ai periodi interglaciali. Modellizzate questo fatto prelevando un campione rappresentativo di palline dall'oceano in un bicchiere di plastica trasparente per simulare una carota di sedimento organogeno prelevata dal fondale oceanico (Fig. 3).



Fig. 3: ^{16}O intrappolato nella calotta glaciale e registrato nei sedimenti oceanici (Pete Loader)

Entrambe le simulazioni vengono poi ripetute 3 o 4 volte per rappresentare la crescita e la riduzione

delle calotte glaciali durante i periodi glaciali/interglaciali. Ogni volta un nuovo campione (in un bicchiere di plastica) viene posizionato sopra il precedente per rappresentare la sequenza che si potrebbe trovare in una carota di sedimenti oceanici profondi. (Fig. 4).

Chiedete agli studenti di disegnare un grafico di questi diversi rapporti degli isotopi dell'ossigeno rispetto alla profondità della carota (vedi attività ELI - "Interpreting Earth temperatures from simulated deep-sea and ice cores". Questo fornisce l'evidenza dei cambiamenti della temperatura terrestre nel tempo, riflettendo la presenza, il volume e l'estensione delle calotte di ghiaccio sulla terraferma. (Fig. 5).

Analisi delle carote di ghiaccio

Chiedete agli studenti di prevedere i probabili cambiamenti nel bilancio isotopico dell'ossigeno ^{18}O : ^{16}O che potrebbero essere registrati in una carota di ghiaccio proveniente da una calotta polare, man mano che la temperatura terrestre si raffredda e poi si riscalda nel corso del tempo - i rapporti in una carota di ghiaccio saranno opposti a quelli dei sedimenti oceanici profondi - più fredda è la temperatura, meno ^{18}O contiene (e viceversa). (Fig. 4).

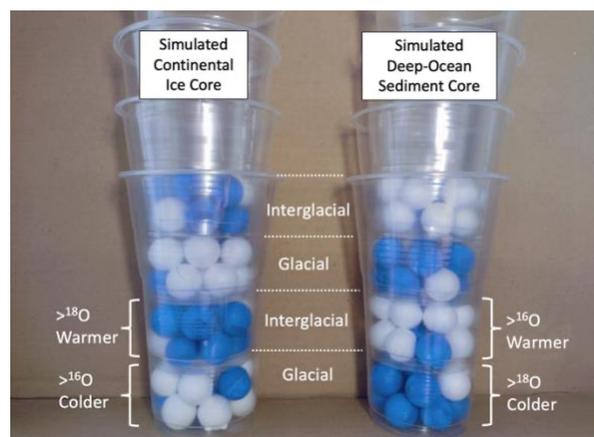


Fig. 4: Carota di ghiaccio continentale simulata confrontata con una carota di sedimento oceanico profondo (Pete Loader)

Guida per l'insegnante

Titolo: I "termometri dell'ossigeno terrestre"

Sottotitolo: Simulazione del modo in cui i sedimenti oceanici e le carote di ghiaccio continentale registrano i cambiamenti della temperatura terrestre nel passato

Argomento: Simulazione di come l'analisi degli isotopi stabili dell'ossigeno nei sedimenti oceanici profondi, costituiti in gran parte da gusci carbonatici di microrganismi, e nei carotaggi dei ghiacci continentali fornisca una registrazione dei cambiamenti passati della temperatura terrestre.

Adatto per studenti di: 15 anni e più

Tempo necessario per completare l'attività: 20 minuti

Abilità in uscita: Gli studenti saranno in grado di:

- mostrare come le proporzioni relative dei due isotopi dell'ossigeno (^{18}O e ^{16}O) in natura influenzino la densità dell'acqua marina degli oceani;
- spiegare perché l'equilibrio degli isotopi ^{18}O : ^{16}O nei sedimenti oceanici profondi fornisce un indicatore della temperatura della Terra al momento della loro formazione;
- spiegare che le concentrazioni di ^{18}O più alte (^{16}O più basse) nelle carote di sedimenti oceanici profondi forniscono l'evidenza di condizioni glaciali più fredde sulla Terra, mentre le condizioni interglaciali più calde sono rappresentate da ^{18}O più basso (^{16}O più alto).

- disegnare un grafico delle temperature più calde/più fredde della Terra a partire da una carota di sedimenti oceanici profondi simulata.
- spiegare perché il rapporto $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ nei dati delle carote di ghiaccio è opposto a quello delle carote di sedimenti oceanici profondi, con riferimento al frazionamento isotopico durante il ciclo dell'acqua.

Contesto: Evidenze contrastanti sulle proporzioni dell'isotopo ^{18}O rispetto a quelle dell' ^{16}O nei sedimenti oceanici profondi e nelle carote di ghiaccio possono portare a misconcezioni. Questa simulazione è una semplificazione dei processi coinvolti che fornisce l'evidenza dei cambiamenti climatici della temperatura della Terra.

Attività successive: Gli studenti possono passare all'attività Earthlearningidea "Oxygen isotope sweet simulation. Demonstrating how the oxygen isotope proxy records past Earth temperatures", e alla corrispondente attività "Interpret Earth temperatures from simulated deep-sea and ice cores. Using sweets to simulate oxygen isotope ratios in cores" per trovare un approccio diverso e più sofisticato a questo argomento.

Principi fondamentali:

- In natura sono presenti due isotopi stabili dell'ossigeno (^{18}O e ^{16}O) con un rapporto $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ di circa 1:500. Questa registrazione del rapporto $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ è conservata nel carbonato di calcio delle conchiglie nei sedimenti oceanici profondi e nelle molecole d'acqua delle coltri di ghiaccio.
- La composizione isotopica dell'acqua oceanica cambia con la temperatura e con la crescita e il ritiro delle coltri di ghiaccio.
- Quando l'acqua dell'oceano evapora durante il ciclo dell'acqua, si verifica un processo di frazionamento naturale, con una maggiore quantità di molecole d'acqua contenenti ^{16}O più leggere. Questa acqua ricca di ^{16}O cade sotto forma di pioggia sulla terraferma, lasciando l'oceano con una maggiore proporzione di molecole d'acqua ^{18}O più pesanti.
- Durante i periodi interglaciali più caldi, il rapporto $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ viene mantenuto poiché l'acqua piovana viene rapidamente restituita all'oceano dai fiumi.
- Durante i periodi glaciali più freddi, il rapporto isotopico viene alterato perché l'umidità atmosferica non viene restituita così rapidamente all'oceano, essendo intrappolata nelle coltri di ghiaccio.
- Questo rapporto isotopico è registrato nei gusci e negli scheletri degli organismi marini. Questi sono arricchiti in ^{18}O durante i periodi glaciali più freddi, quando il volume di

ghiaccio sulla terraferma è maggiore, e ridotti in ^{18}O durante gli interglaciali più caldi. (Fig. 5).

- Il rapporto $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$ nelle carote di ghiaccio è opposto. Un ^{18}O relativamente più alto rappresenta periodi interglaciali più caldi (e viceversa).

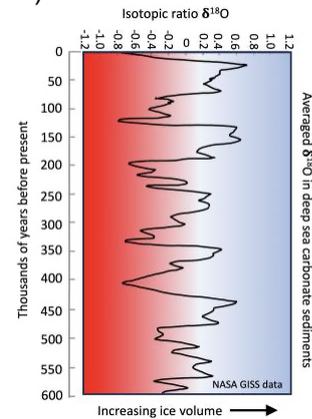


Fig. 5: Variazioni dei rapporti ^{18}O registrati nei sedimenti carbonatici oceanici (dati NASA GISS)

Sviluppo delle abilità cognitive: La simulazione consente di sviluppare uno schema attraverso la costruzione; il conflitto cognitivo è causato dal fatto che un contenuto di ^{18}O più elevato in una carota di sedimento indica una temperatura opposta a quella indicata da una carota di ghiaccio. La metacognizione richiede lo sviluppo di abilità di collegamento tra la simulazione e la realtà.

Elenco dei materiali:

- palline di polistirolo da 2 cm (o equivalenti)
- vernice (per distinguere gli isotopi, se necessario)
- viti autofilettanti/puntine da disegno
- contenitori di plastica trasparenti (vedi fotografia)
- vassoi/coperchi di scatole di cartone (per rappresentare la terra e raccogliere le palline)

Link utili:

https://www.earthlearningidea.com/PDF/275_Oxygen_isotopes.pdf
https://www.earthlearningidea.com/PDF/276_Oxygen_isotope_cores.pdf

Fonte: Scritto da Pete Loader del team ELI e basato su un'idea di Duncan Hawley, precedentemente pubblicato come attività Earth Learning Idea (vedi link utili).

Traduzione: è stata realizzata per il gruppo di lavoro in didattica delle scienze della Terra UNICAMearth da Giulia Realdon, PhD, in collaborazione con il gruppo di ricerca sulla didattica delle scienze della Terra UNICAMearth dell'Università di Camerino. (<https://geologia.unicam.it/>). Revisione a cura del prof. Roberto Braga - Università di Bologna (<https://www.unibo.it/sitoweb/r.braga>).

© **Team Earthlearningidea.** Il team Earthlearningidea (idee per insegnare le scienze della Terra) cerca di produrre ogni settimana un'idea per insegnare, con costi e materiali minimi, per formatori di insegnanti e insegnanti di Scienze della Terra, in un curriculum di geografia o scienze ai vari livelli scolastici, con una discussione online su ogni idea che ha la finalità di sviluppare un network di supporto globale. "Earthlearningidea" ha risorse limitate ed il lavoro realizzato è basato principalmente sul contributo di volontari. Il materiale originale contenuto in questa attività è soggetto a copyright ma è consentito il suo libero utilizzo per attività didattiche in classe ed in laboratorio. Il materiale contenuto in questa attività appartenente ad altri e soggetto a copyright resta in capo a questi ultimi. Qualsiasi organizzazione che desideri utilizzare questo materiale deve contattare il team Earthlearningidea. Ogni sforzo è stato fatto per localizzare e contattare i detentori di copyright del materiale incluso nelle attività per ottenere il loro permesso. Per cortesia, contattateci se, comunque, ritenete che il vostro copyright non sia stato rispettato: saranno gradite tutte le informazioni che ci potranno aiutare ad aggiornare i nostri dati. Se avete difficoltà con la leggibilità di questi documenti, per cortesia contattate il team Earthlearningidea per ulteriore aiuto.
Per contattare il team Earthlearningidea: info@earthlearningidea.com



Creative Commons License BY-NC-SA