

Approfondimenti

1. Il paradosso del giovane Sole

Studiando l'evoluzione delle stelle nell'Universo, gli astronomi sono riusciti a ricostruire la storia evolutiva del Sole per i 4,6 miliardi di anni di esistenza del sistema solare.

Lungo tutto questo intervallo di tempo, il Sole è stato sede di reazioni di fusione termonucleare consistenti nella trasformazione di nuclei di idrogeno (H) in nuclei di elio (He).

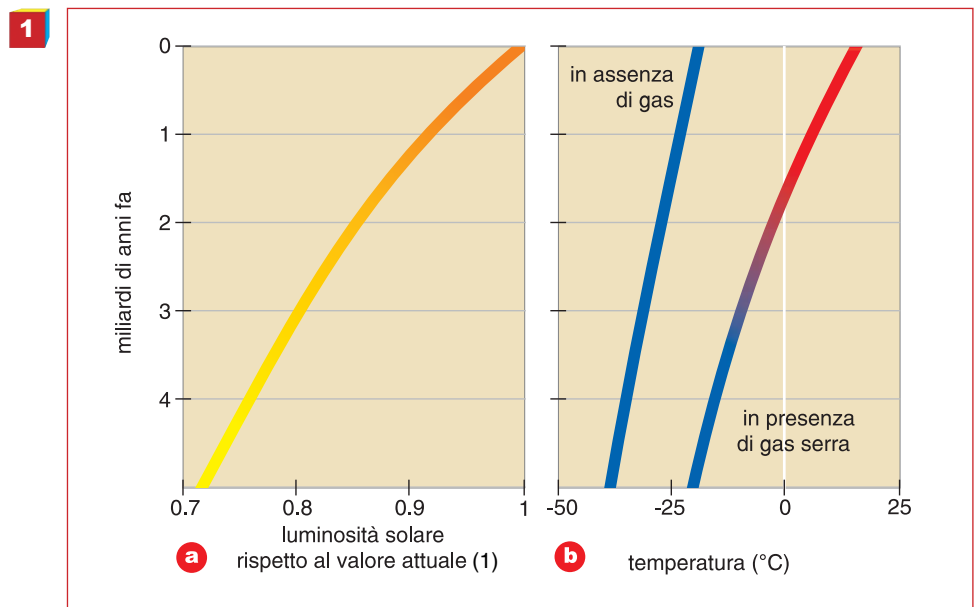
Queste reazioni hanno portato il Sole a espandersi e a divenire via via più luminoso. Secondo la maggior parte dei modelli sviluppati dagli astronomi, la *luminosità* del Sole era inizialmente pari al 25-30% di quella attuale e, nel corso dei miliardi di anni della sua storia, è andata progressivamente aumentando (*fig. 1a*).

Questo fatto ha implicazioni molto interessanti per gli studi paleoclimatici. Un piccola diminuzione della luminosità solare (di pochi percentili) rispetto a quella attuale causerebbe infatti il congelamento di tutta l'acqua presente sul nostro pianeta, nonostante la quantità di *gas serra* attualmente presente nell'atmosfera.

Il congelamento di laghi, mari e oceani produrrebbe a sua volta un aumento dell'*albedo* (capacità riflettente di un oggetto celeste), causando un ulteriore raffreddamento.

Sono stati quindi approntati modelli climatici per studiare quale poteva essere la situazione del pianeta Terra con una luminosità solare bassa come indicato dai modelli astronomici: si è osservato che, con una quantità di gas serra in atmosfera simile a quella attuale, il nostro pianeta doveva essere completamente congelato in superficie per almeno i primi tre miliardi di anni della sua esistenza (*fig. 1b*).

Questa circostanza, tuttavia, contrasta con i dati geologici, isotopici, paleontologici e paleoclimatici che indicano che la Terra non è mai stata completamente congelata e che l'acqua allo stato liquido era presente su di essa molto presto, già 400-500 milioni prima della formazione delle rocce sedimentarie più antiche, che hanno ben 3,8 miliardi di anni.



Si sono verificati eventi, nel corso del Precambriano e del Paleozoico, in cui sono intervenute estese *glaciazioni*, soprattutto alle alte latitudini, e si è avanzata l'ipotesi, peraltro molto dibattuta, della "Terra palla di neve" (*Snowball Earth*), secondo cui, tra 850 e 550 milioni di anni fa, i ghiacci avrebbero potuto raggiungere le basse latitudini (*vedi anche al Capitolo 10*); tuttavia, i dati disponibili indicano che l'acqua era presente sulla Terra allo stato liquido per la maggior parte della sua storia. L'evoluzione della vita sarebbe inoltre stata incompatibile con un pianeta ricoperto di ghiaccio.

Si pone quindi il seguente paradosso: *se il Sole primitivo era così debole, perché la Terra non è stata ricoperta dai ghiacci per i primi due terzi della sua esistenza?*

La spiegazione del paradosso

Qualcosa deve aver per forza controbilanciato la bassa luminosità solare, mantenendo la temperatura del pianeta compatibile con l'esistenza di acqua allo stato liquido e con lo sviluppo della vita. Questo processo deve essere inoltre andato scemando nel tempo, mentre la luminosità solare acquisiva sempre più forza, mantenendo in equilibrio la temperatura sulla Terra e agendo da vero e proprio termostato.

Ma quale può essere stato questo processo? La spiegazione più plausibile è che sia stato *l'effetto serra*: una presenza decisamente superiore a quella attuale di diossido di carbonio nell'atmosfera primitiva avrebbe infatti potuto contrastare la debole luminosità del giovane sole (*fig. 2a*). Quando, successivamente, la luminosità si è rafforzata, il riscaldamento ha causato una progressiva intensificazione dell'alterazione chimica delle rocce superficiali implicante reazioni che consumano diossido di carbonio, facendolo depositare nei sedimenti calcarei (*fig. 2b*). Questo ha causato una diminuzione di gas serra nell'atmosfera, bilanciando come un termostato la temperatura del nostro pianeta.

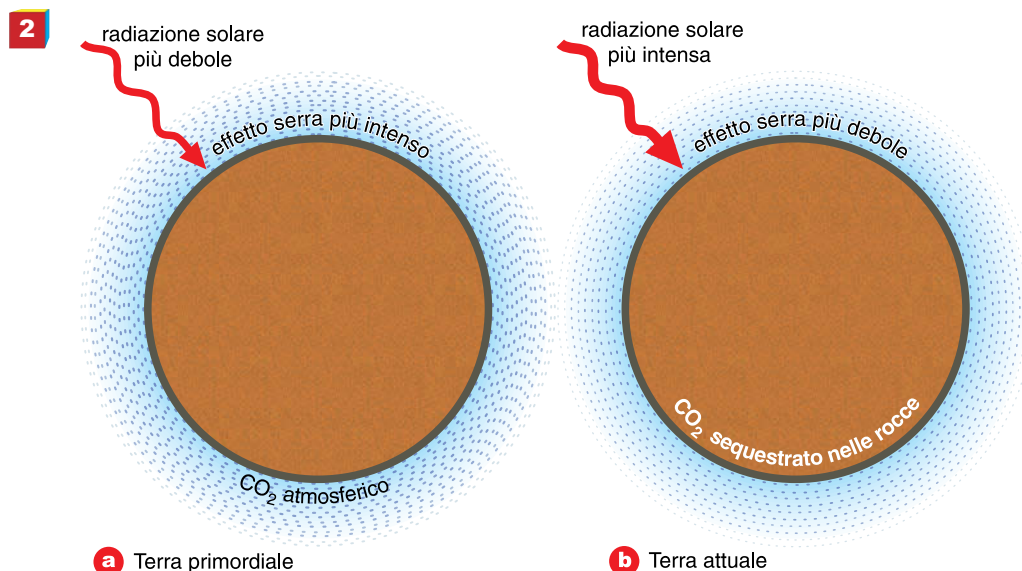


Fig. 2.

a. Il meccanismo più plausibile per risolvere il paradosso del giovane Sole è collegato alla concentrazione decisamente maggiore del CO₂ nell'atmosfera primitiva. **b.** Quando la luminosità solare è aumentata, l'alterazione chimica ha permesso il trasferimento dell'eccesso di diossido di carbonio nelle rocce carbonatiche, bilanciando la temperatura.