

Oceano Atlantico con Cuba e il Mar del Caraibi illuminato dai raggi solari fotografato dalla Stazione Spaziale Internazionale il 26 novembre 2019. Credits: NASA/ISS

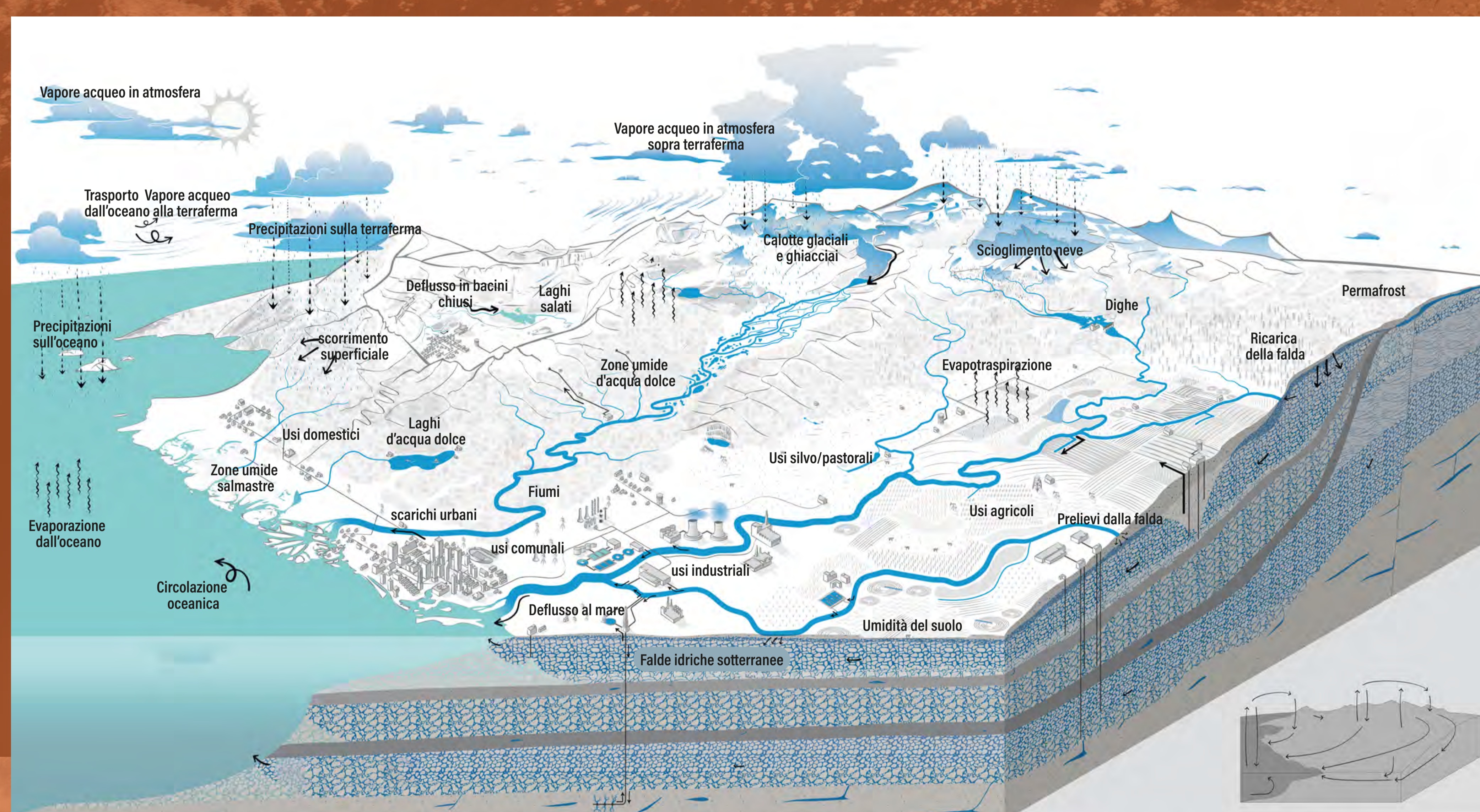
GEOLOGIA

PIANETA BLU

La Terra vista dallo spazio si distingue per il suo colore blu: ciò è dovuto alla presenza di acqua su oltre il 70% della superficie terrestre.

Ma quanta parte del pianeta Terra è fatta di acqua? Molto poca, in realtà: sebbene gli oceani coprano quasi 3/4 della superficie terrestre, sono poco profondi rispetto al raggio della Terra. Eppure questa piccola quantità è indispensabile per la vita.

Rimangono argomenti di ricerca aperti a capire come una parte dell'acqua sia arrivata sulla Terra e a capire se una quantità significativa sia intrappolata al di sotto della superficie terrestre.



L'atmosfera è l'autostrada nel cielo che sposta l'acqua ovunque sulla Terra. Credits: USGS

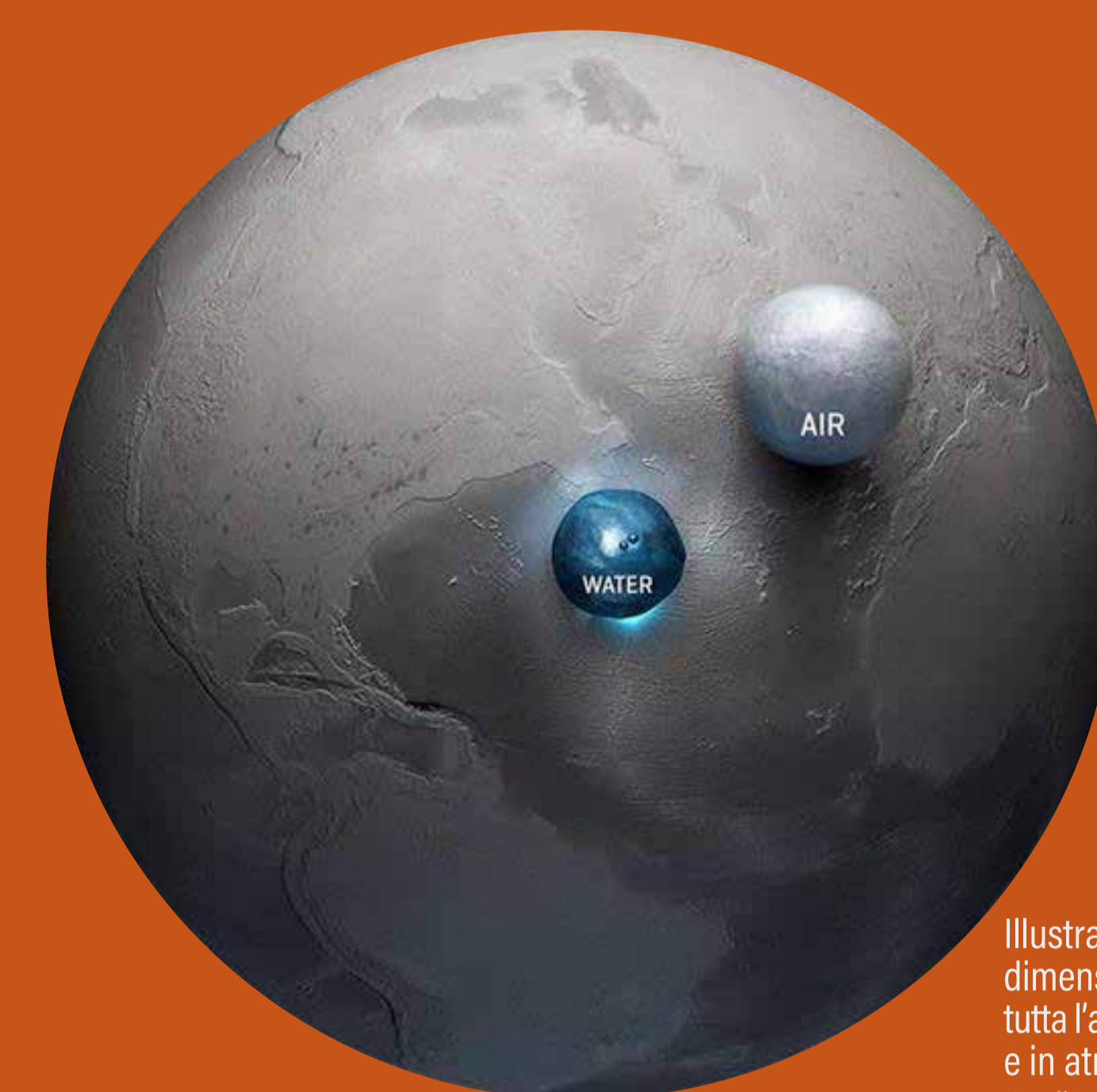


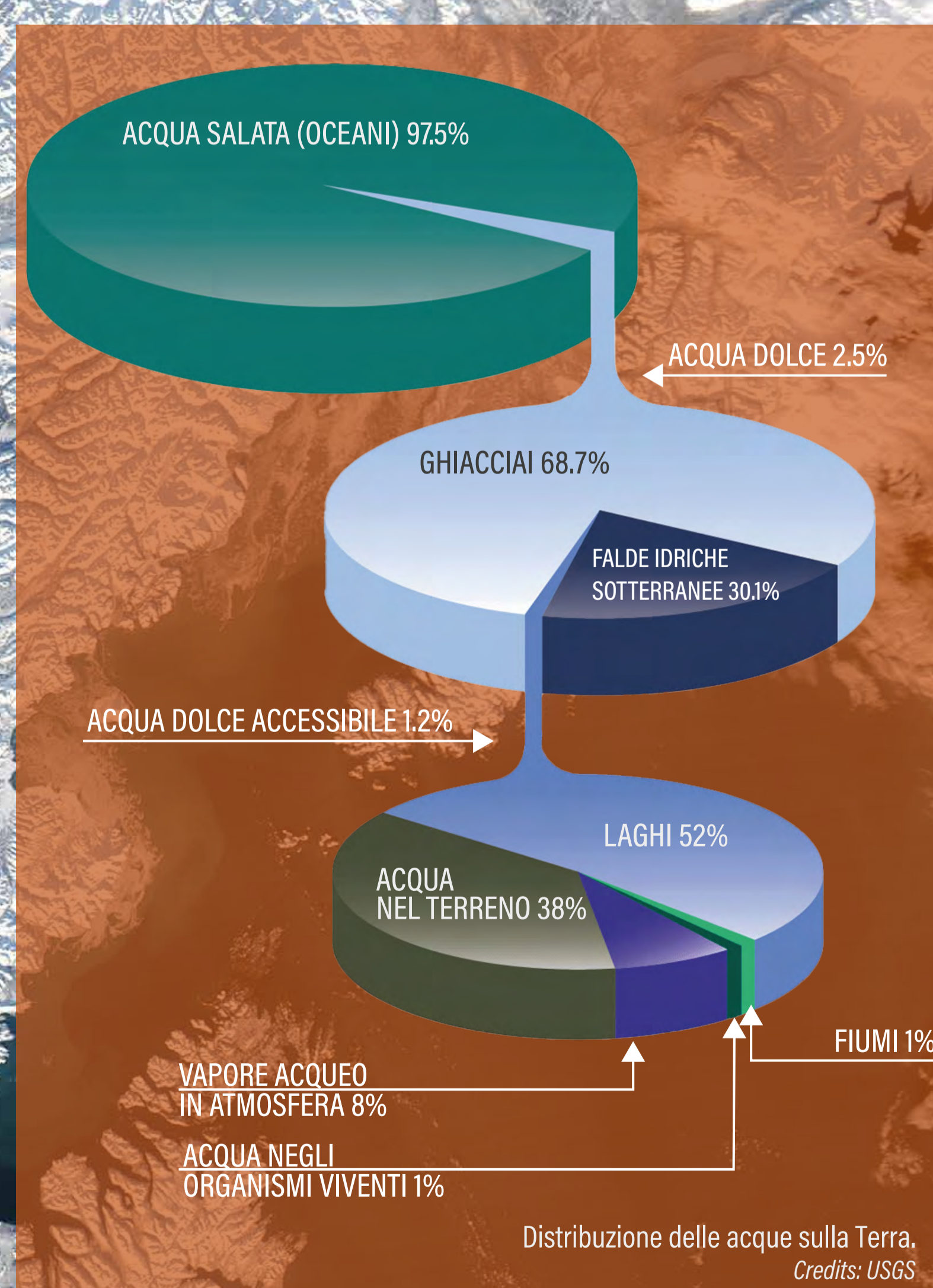
Illustrazione con confronto in scala tra le dimensioni della Terra e di due sfere contenenti tutta l'acqua e tutta l'aria presenti sulla superficie e in atmosfera. Credits: Felix Pharaud-Deschene/ Globalia, Adam Nieman

L'acqua liquida esiste sulla superficie della Terra perché il pianeta si trova nella "zona abitabile": a tale distanza dal Sole, la Terra non è così vicina da far evaporare tutta l'acqua, ma neppure così lontana da farla congelare completamente.

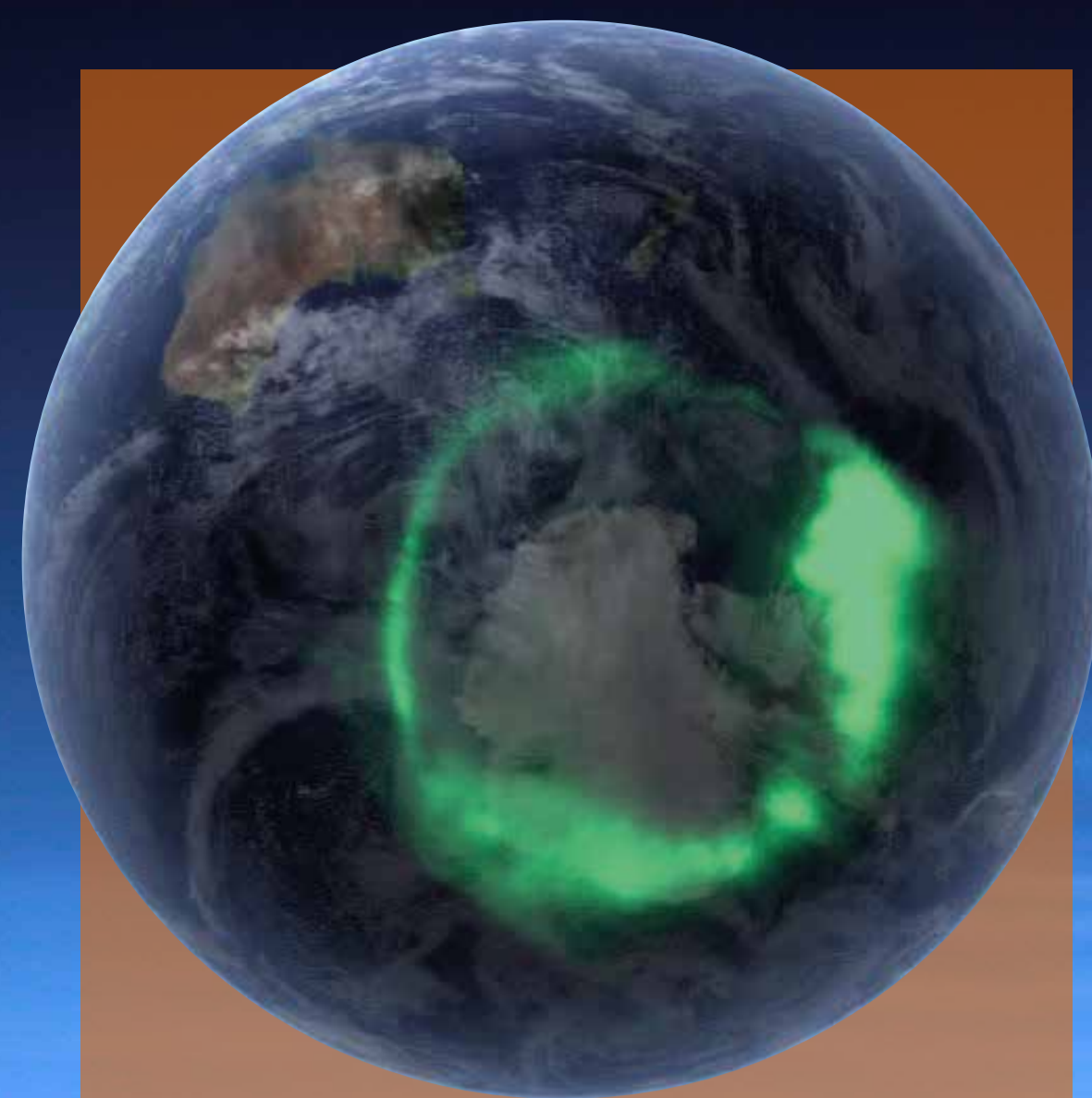
Per le condizioni di temperatura e pressione presenti sulla Terra, l'acqua è l'unico composto che si trova nei tre stati: **solido, liquido e aeriforme.**

A livello globale, la disponibilità di acqua dolce accessibile, benché rappresenti solo l'1,2% della quantità totale di acqua dolce, supera l'attuale fabbisogno umano. Da dove sorge allora il problema di disponibilità e accessibilità delle risorse idriche?

Le difficoltà, che possono pregiudicare l'effettivo utilizzo delle risorse, sono causate dalla loro elevata variabilità e dalla distribuzione non uniforme nel tempo e nello spazio, nonché dalla loro qualità.



Mare di Bering e costa dell'Alaska. Credits: NASA



L'aurora polare è un fenomeno caratterizzato da bande luminose che assumono un'ampia gamma di forme e colori mutevoli nel tempo e nello spazio. È causato dall'interazione di particelle cariche di origine solare con la ionosfera: tali particelle eccitano gli atomi presenti che in seguito tornando allo stato iniziale di energia emettono luce a varia lunghezza d'onda. Il satellite IMAGE ha catturato questa vista dell'aurora australe quattro giorni dopo che un brillamento solare particolarmente intenso ha inviato plasma verso la Terra (25 gennaio 2006). Credits: NASA

GEOLOGIA

ATMOSFERA

ATMOSFERE A CONFRONTO



VENERE

TERRA

MARTE

	VENERE	TERRA	MARTE
ALTEZZA (Km)	200 000 Km	520 000 Km	150 000 Km
PRESSIONE SUPERFICIALE	91 atm	1 atm	0.006 atm
COMPOSIZIONE	<ul style="list-style-type: none"> 96.5% CO₂ 3.5% azoto 0.02% anidride solforosa tracce di: Ar, He, CO, H₂O, HCl, HF 	<ul style="list-style-type: none"> 78.1% azoto 20.9% ossigeno 0.9% argon 0.04% CO₂ tracce di: Ne, He, CH₄ 	<ul style="list-style-type: none"> 95.3% CO₂ 2.7% azoto 1.6% argon 0.13% ossigeno tracce di: CO
PRINCIPALI GAS CLIMA ALTERANTI (GCA)	CO ₂	H ₂ O e CO ₂	CO ₂
TEMPERATURA SENZA GCA	-47° C	-19° C	-63° C
TEMPERATURA ATTUALE	464° C	15° C	-63° C
TEMPERATURA DOVUTA AI GCA	511° C	34° C	0.2° C

- Protegge dalle radiazioni nocive
- Regola il riscaldamento
- Contiene ossigeno indispensabile per la vita
- Permette i cicli di elementi indispensabili per la vita (H₂O, C, N₂, S)
- Modella la superficie

LE ATMOSFERE SONO TUTTE UGUALI?

L'atmosfera di Venere è estremamente **densa** (pressione superficiale oltre 90 volte quella terrestre), quella di Marte è molto **rarefatta** (pressione superficiale minore di 1/100 di quella terrestre).

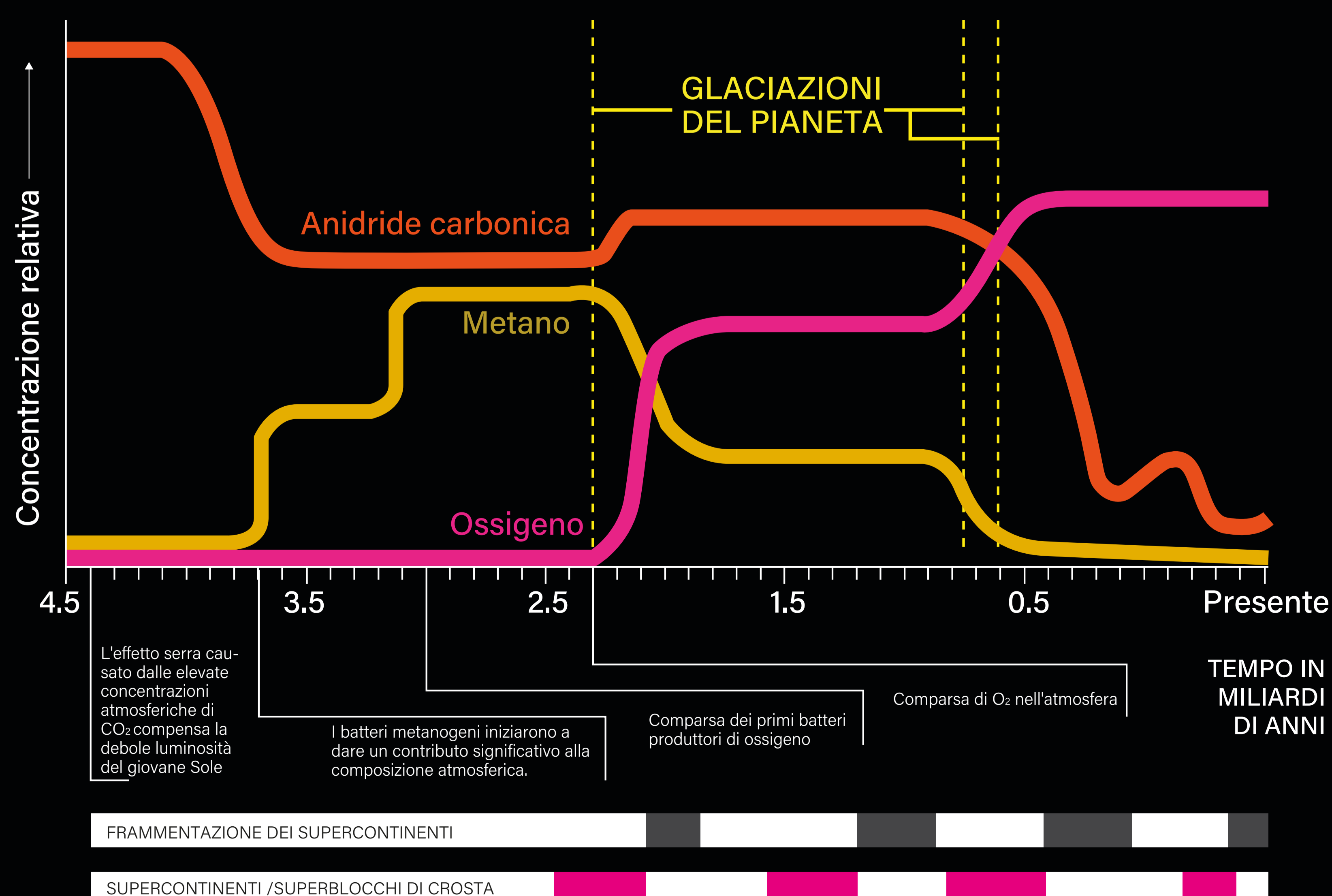
Le loro **composizioni chimiche**, importanti per l'idoneità alla vita, sono altrettanto diverse. Su Venere e Marte è preponderante la presenza di anidride carbonica (CO₂) mentre sulla Terra il 99% è costituito da azoto (N₂) e ossigeno (O₂) e la CO₂ rappresenta solo lo 0.3-0.4%. Queste diversità sono frutto della particolare **storia evolutiva** di ciascun pianeta e hanno effetti importanti sulla sua temperatura media.

ATMOSFERA TERRESTRE

La **composizione attuale** della atmosfera è un'istantanea lungo la traiettoria dell'evoluzione della Terra.

Quattro miliardi di anni fa l'atmosfera era costituita prevalentemente da CO₂. Con la **formazione degli oceani**, la sua dissoluzione in acqua ne diminuisce la concentrazione in atmosfera, in parte compensata da un altro gas serra, il **metano**, prodotto dai batteri anaerobi.

Tra 3.8 e 2.5 Miliardi di anni fa compare l'**ossigeno**, prodotto dalla dissociazione fotochimica di H₂O e CO₂ e dal cambiamento di composizione della crosta terrestre, che va impoverendosi dei minerali capaci di catturarlo. L'avvento di microrganismi produttori di ossigeno contrasta la presenza dei batteri metanogeni, provocando il collasso del metano e l'aumento di ossigeno.



Andamento della concentrazione relativa dei gas in atmosfera.
Credits: Kasting J.F. (2004), Scientific American; Integrato con Wang Z. et al. (2023), Journal of Earth Science

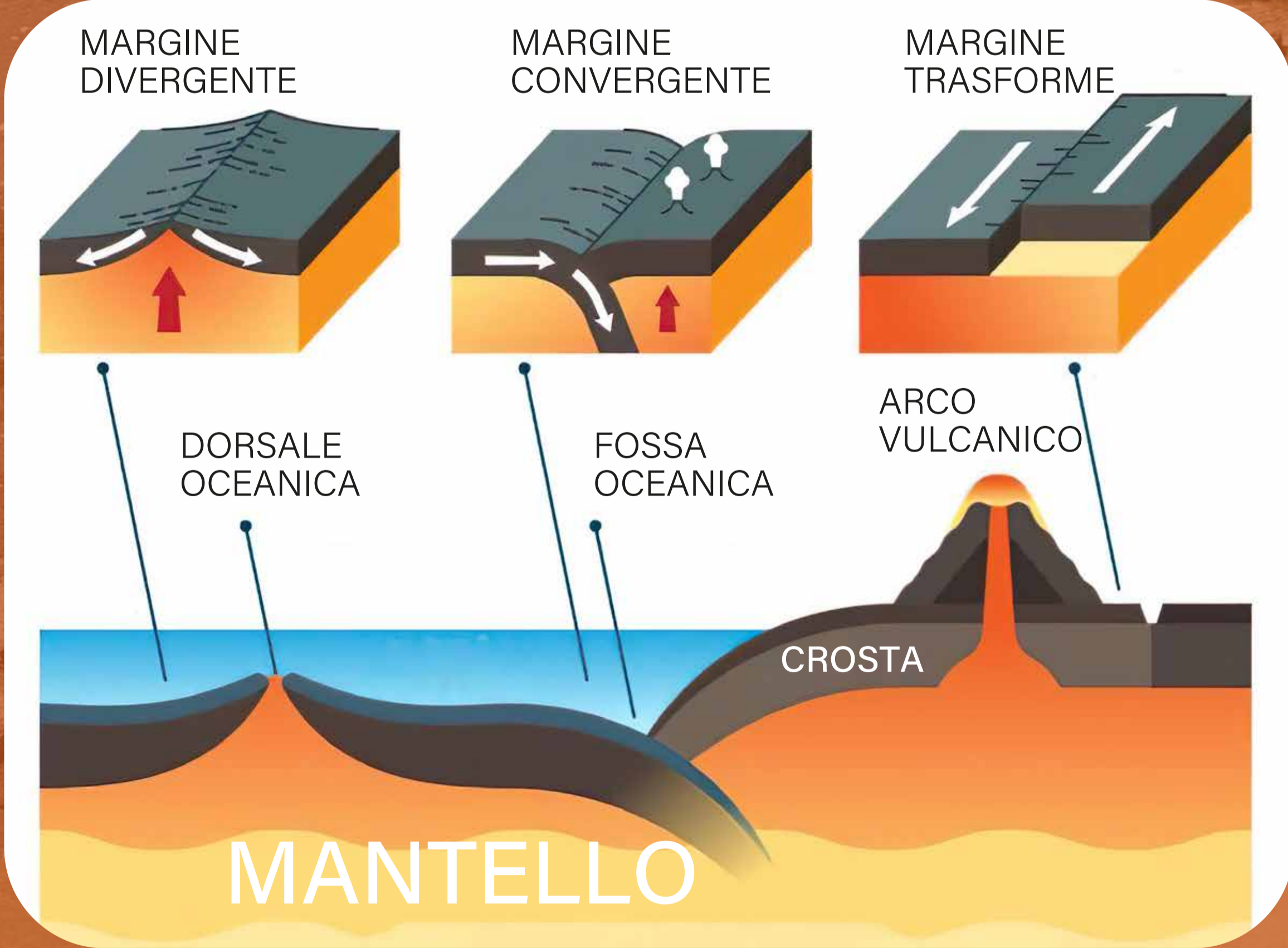
GEOLOGIA

TERRA-FERMA?

L'intera superficie terrestre è in continua trasformazione, modellata da **fenomeni erosivi**, da **vulcani** e **terremoti**. Questi fenomeni sono originati da movimenti della porzione più superficiale del pianeta, la crosta terrestre, spesso da 5 a 70 km circa. A differenza di altri pianeti solari (Marte ad esempio), la superficie del nostro pianeta è divisa in **placche** che si muovono con velocità relative comprese tra 2 e 15 centimetri all'anno.

- I **margini divergenti** rappresentano il limite delle placche in allontanamento; lungo questi margini l'attività vulcanica sottomarina genera nuova crosta oceanica.
- Lungo i **margini convergenti** le placche si avvicinano, consumando la crosta oceanica nei processi di subduzione. Se il processo prosegue, le porzioni continentali delle placche vengono a contatto dando inizio alla formazione di catene montuose (orogenesi).
- Nei **margini trasformati** le placche si muovono lateralmente una rispetto all'altra.

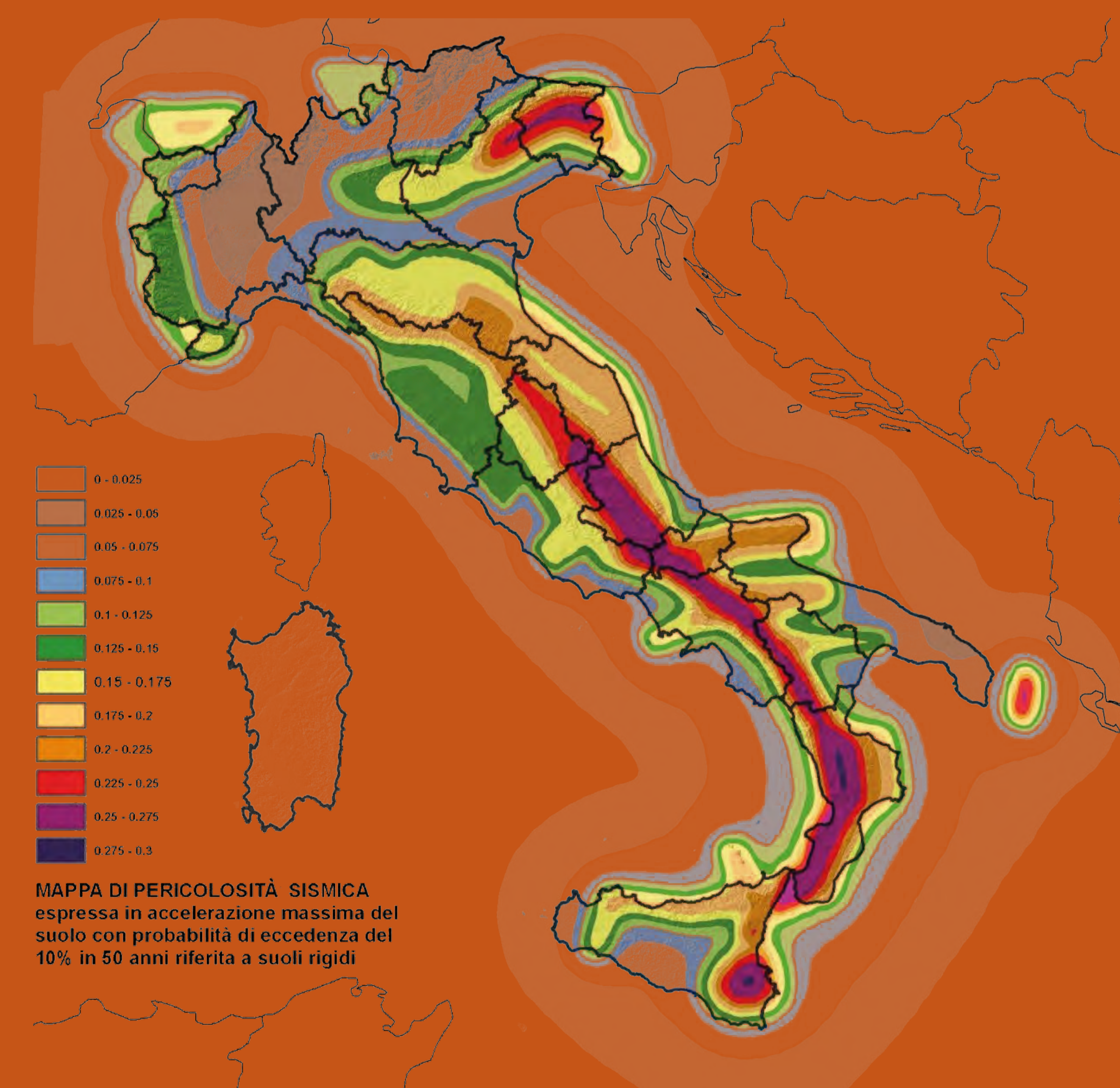
L'Italia è una regione tettonicamente attiva, con vulcani e attività sismica.



Differenti tipologie di limiti tra placche



I Campi Flegrei sono una vasta area vulcanica attiva, che comprende anche una parte sottomarina nel Golfo di Pozzuoli. Credits: INGV - Laboratory of Geomatics



MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA espressa in accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi

Rocce con pioghe in evaporiti traslucide, Passo del Cerreto, Reggio Emilia. Credits: Maurizio Scacchetti

La solfataria di Pozzuoli è uno dei quaranta vulcani che costituiscono i Campi Flegrei, è ancora attiva ma in stato quiescente: ha attività di fumarole di anidride solforosa e getti di fango bollente



Eruzione vulcanica a La Palma, Isole Canarie, dicembre 2021. Credits: AP Photo/Emilio Morenatti

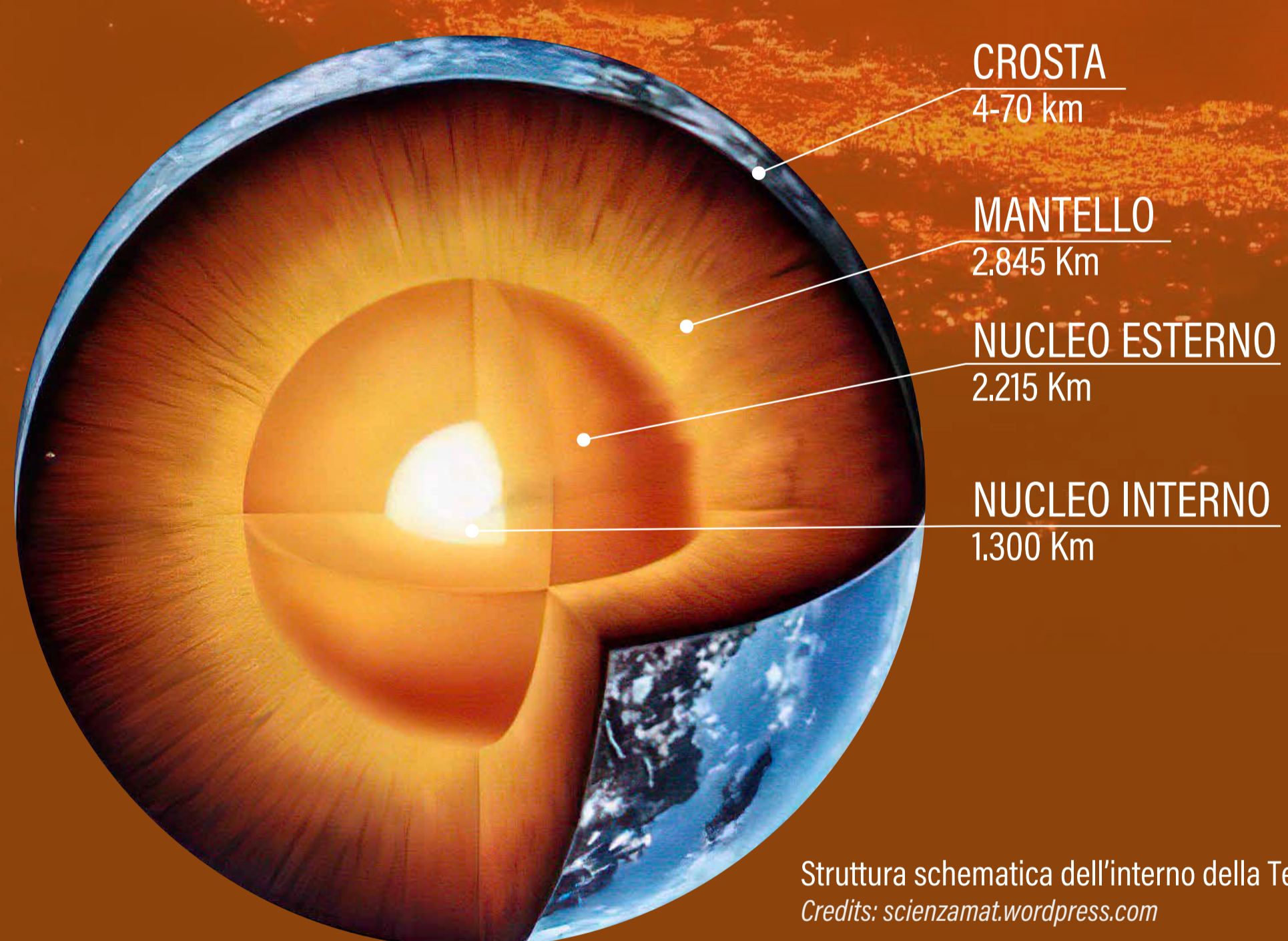
GEOLOGIA

IL CUORE CALDO DELLA TERRA

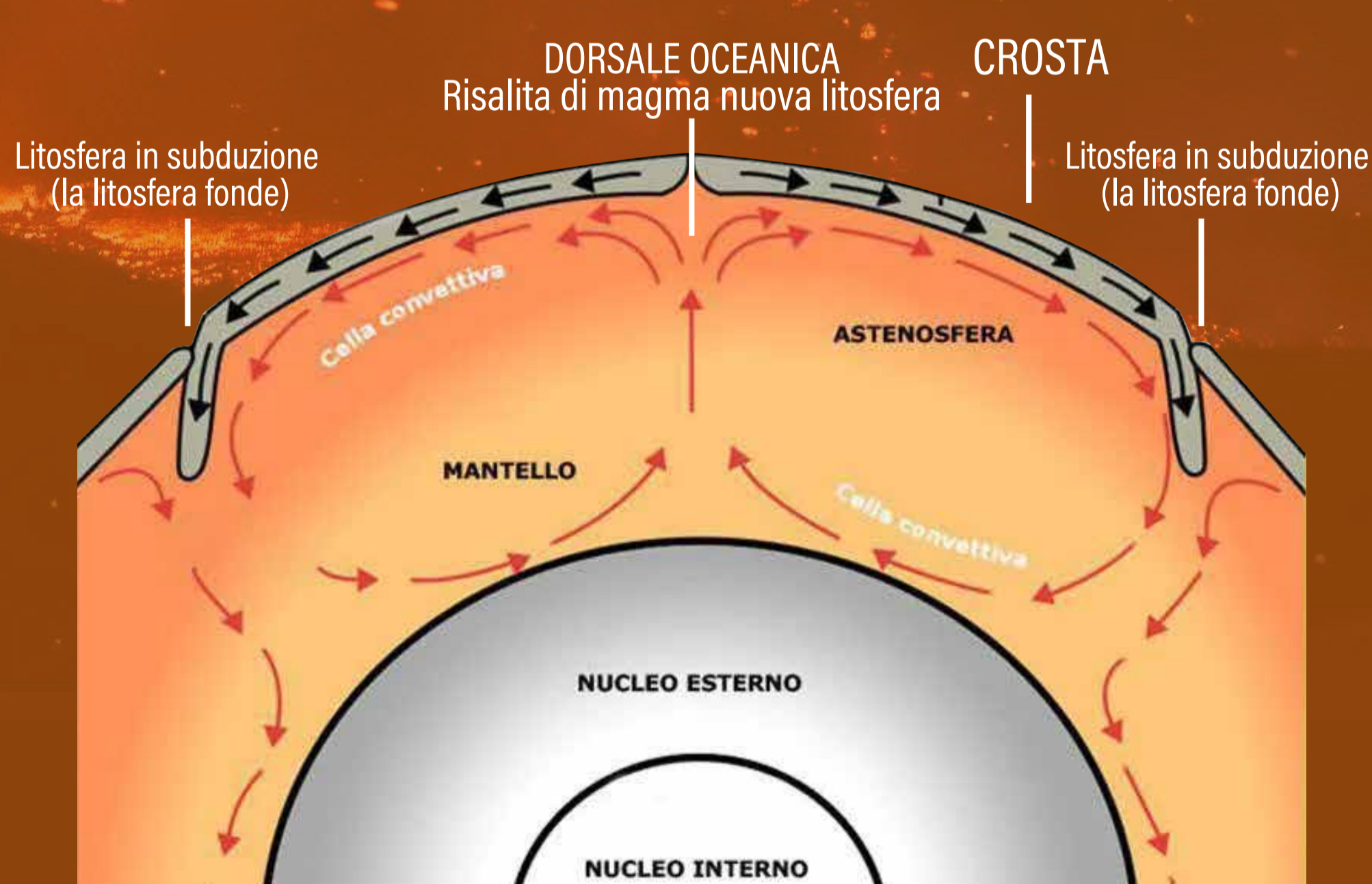
Che cosa scalda il nostro pianeta? Principalmente l'energia irradiata dal Sole, che investe la superficie terrestre con una potenza energetica di 1367 W/m^2 , superiore a quella di 50 milioni di centrali elettriche di potenza media. Tuttavia questa energia riesce a penetrare solamente pochi metri sotto la superficie. Le eruzioni vulcaniche e le sorgenti termali testimoniano la presenza di un calore interno al pianeta, con un aumento di temperatura di 1°C ogni 30 metri di profondità. Si suppone che questo calore sia originato in parte da quello primordiale rimasto dalla formazione del pianeta e in parte dal decadimento radioattivo di alcuni elementi chimici presenti nel mantello e nella crosta, tra cui l'uranio ^{238}U . Il calore proveniente dall'interno della Terra è modesto (circa 0.0003% di quello solare), ma interagisce in modo importante con **litosfera**, **atmosfera** ed **idrosfera**.

DAL CUORE CALDO UNO SCUDO PROTETTIVO NELL'ATMOSFERA

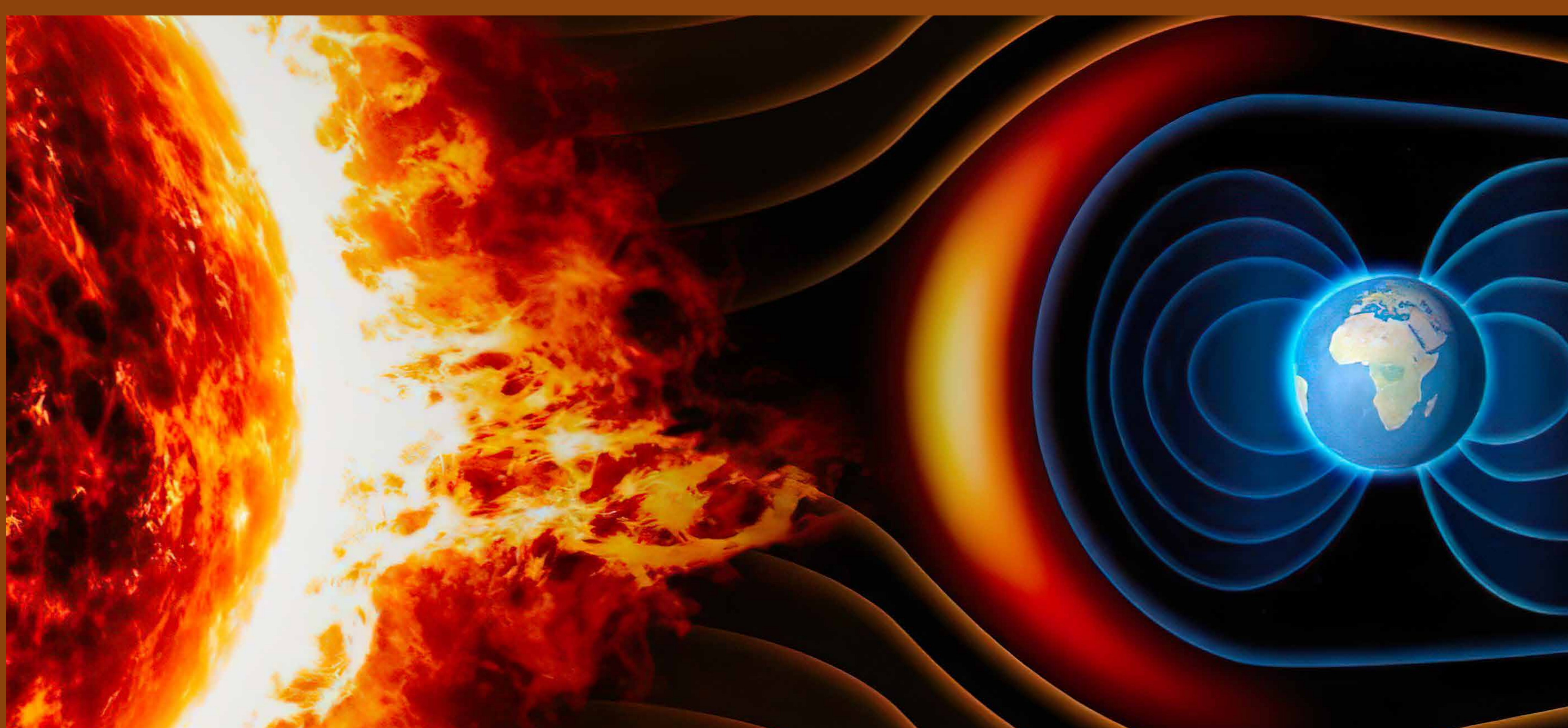
La Terra, a differenza della Luna, di Marte e di Venere, possiede un **campo magnetico** che si ritiene dovuto al movimento delle correnti di convezione della miscela di ferro e nichel fusi presenti nella parte esterna del nucleo. Il campo magnetico ha un'importante interazione con l'atmosfera, poiché riesce a proteggere la Terra dai raggi cosmici e dalle particelle elettricamente cariche del vento solare, che altrimenti spazzerebbero le parti superiori della nostra atmosfera come l'ozonosfera, privando la Terra della protezione contro i raggi ultravioletti.



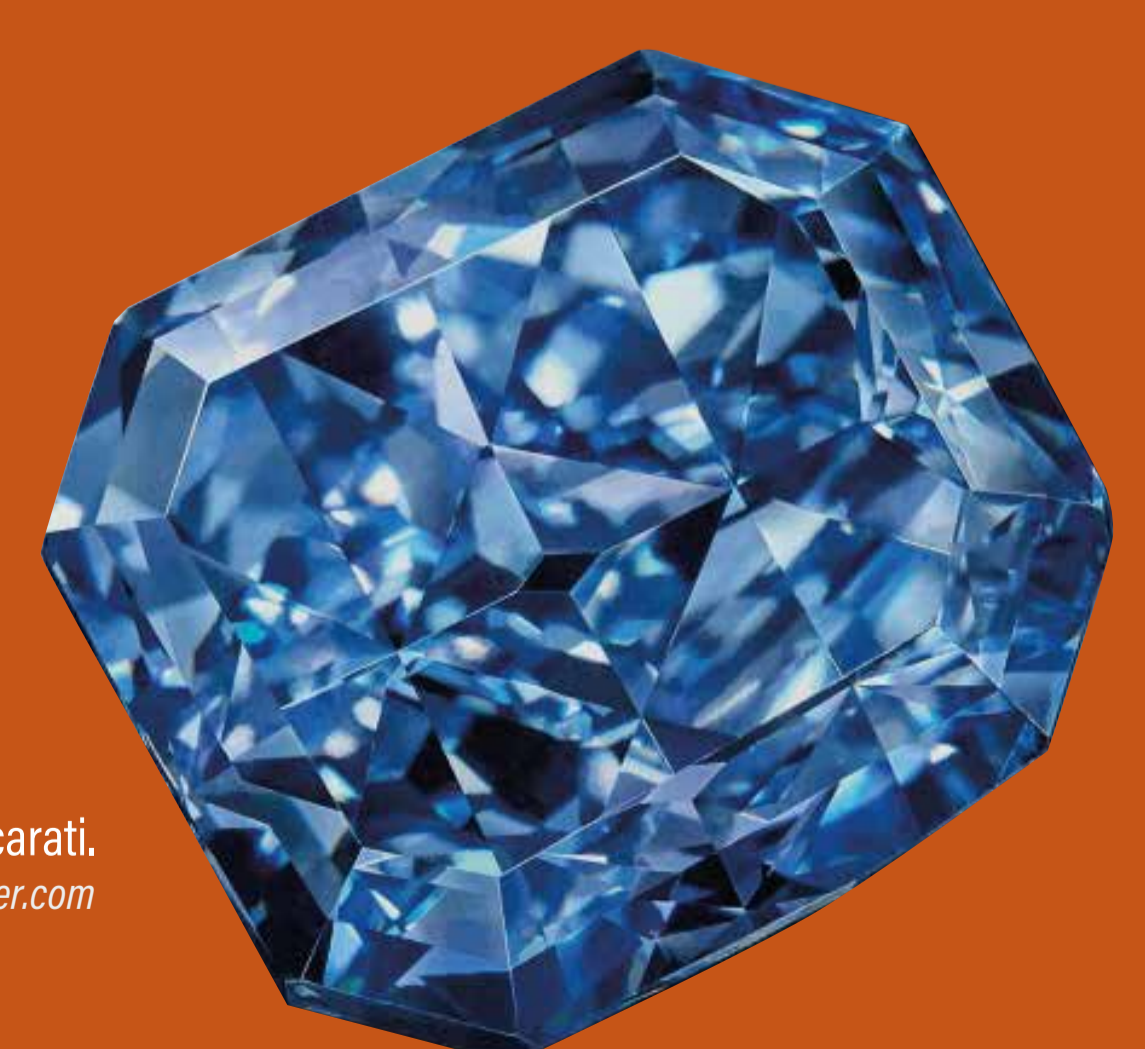
Struttura schematica dell'interno della Terra. Credits: scienzamat.wordpress.com



I moti convettivi del mantello causano i movimenti della superficie terrestre. Credits: scienzamat.wordpress.com



Interazione fra vento solare e campo magnetico terrestre. Credits: /bbc.co.uk

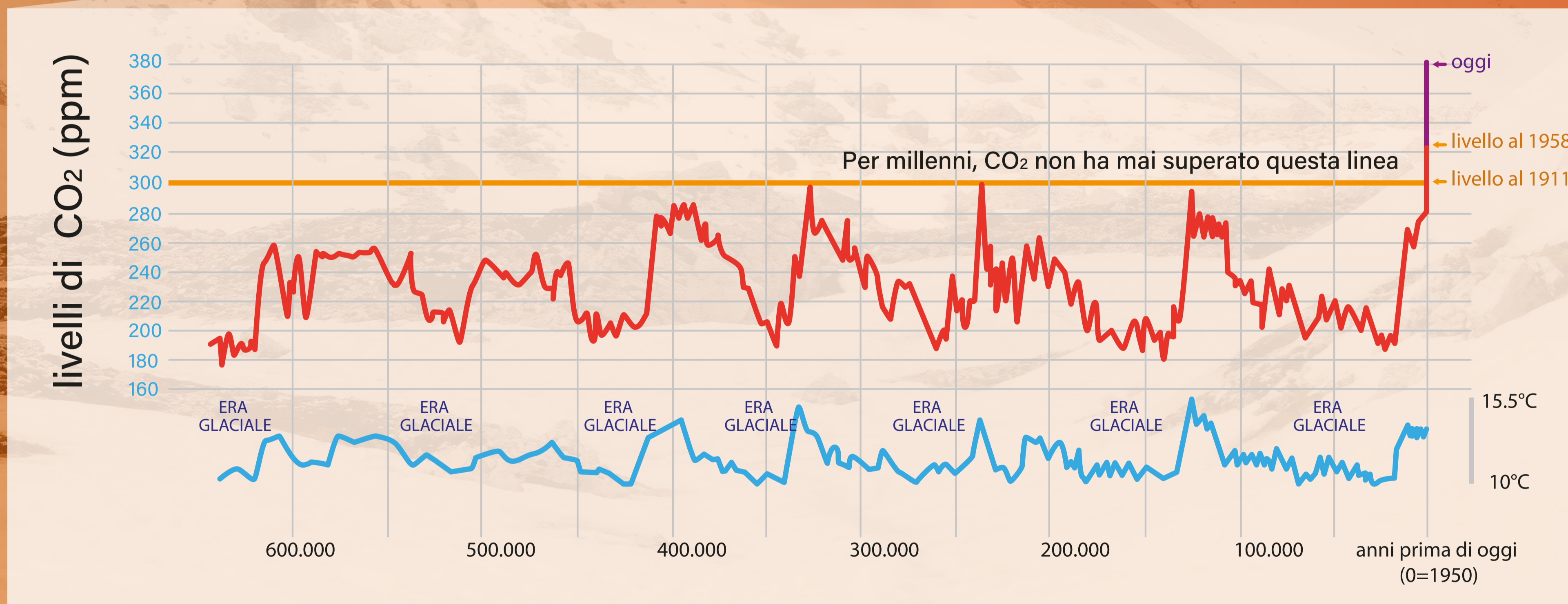
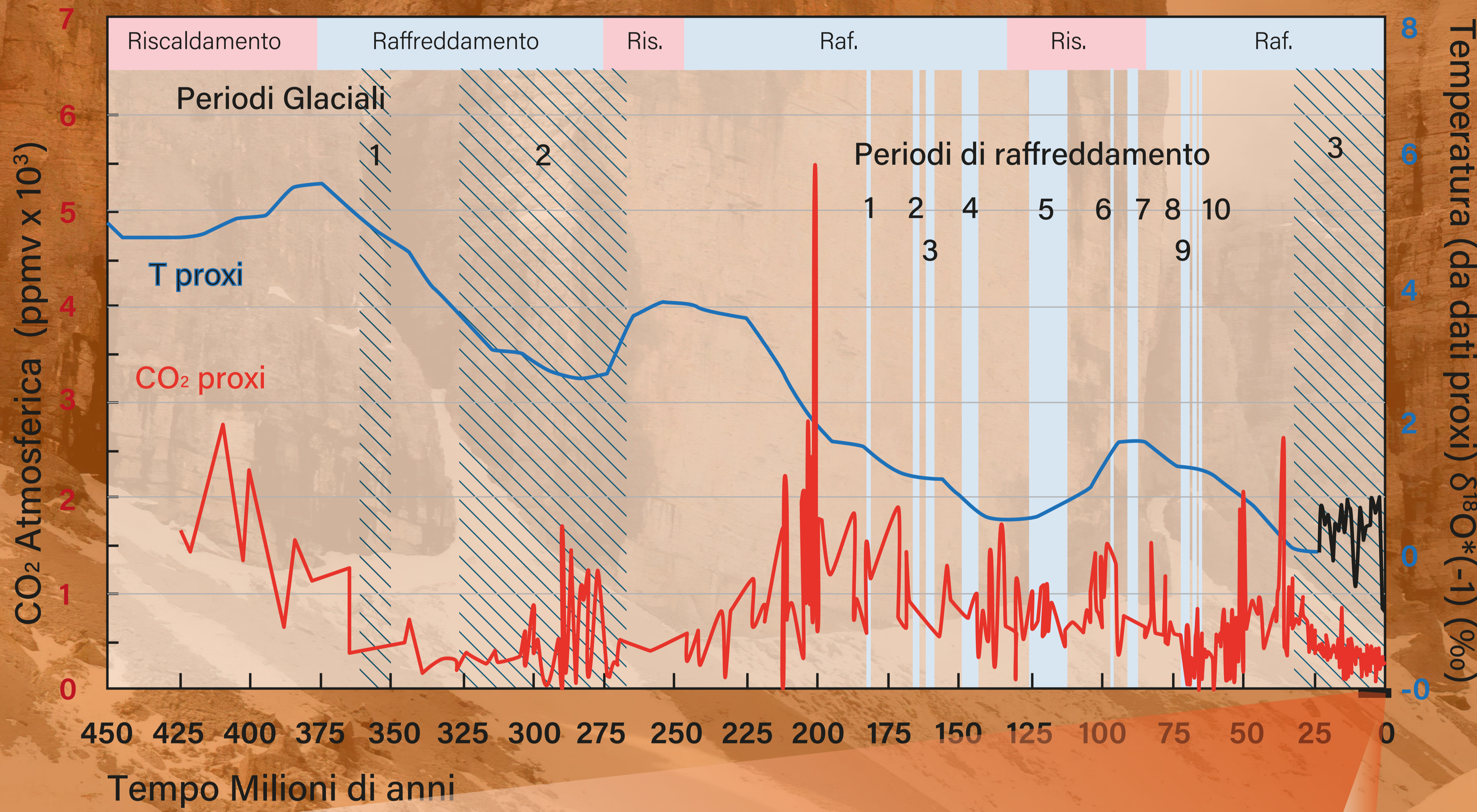


Diamante "Infinite Blue" da 11,3 carati. Credits: nationaljeweler.com

Un'inaspettata riserva d'acqua: dalle inclusioni di diamanti simili, provenienti dal mantello, si sono scoperti minerali idrati. Questa scoperta porta a supporre verosimilmente che ci sia una quantità d'acqua "nascosta" nel mantello e che ci sia un'interazione fra l'idrosfera e il mantello tramite la subduzione della crosta oceanica.

Le Tre Cime di Lavaredo, parte delle Dolomiti, sono costituite da dolomia, una roccia sedimentaria di carbonato di calcio e magnesio. Formata circa 250 milioni di anni fa sul fondo dell'oceano Tetide, queste rocce sono state sollevate durante la formazione dell'arco alpino. Nei loro strati si trovano spesso fossili quali gusci di conchiglie. Credits: Wikipedia

DIPENDENZA DELLA TEMPERATURA DALLA CONCENTRAZIONE DI CO₂ NELLA EVOLUZIONE DELLA TERRA



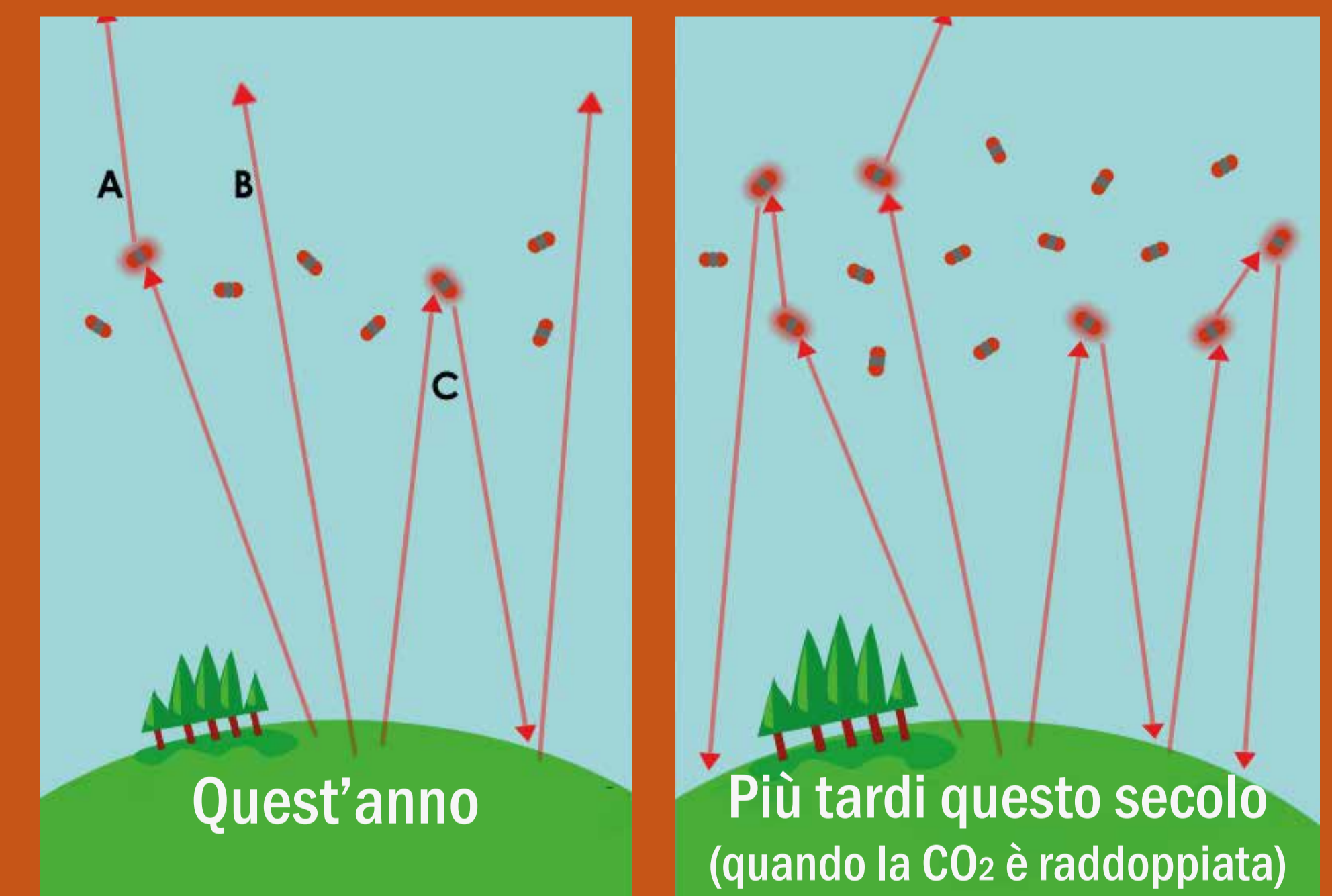
Credits: W. Jackson Davis (2017), Climate: Bowman Global Change and The Birch Aquarium, Scripps Institute of Oceanography, UCSD

GEOLOGIA AZIONI E INTERAZIONI: IL CICLO DEL CARBONIO

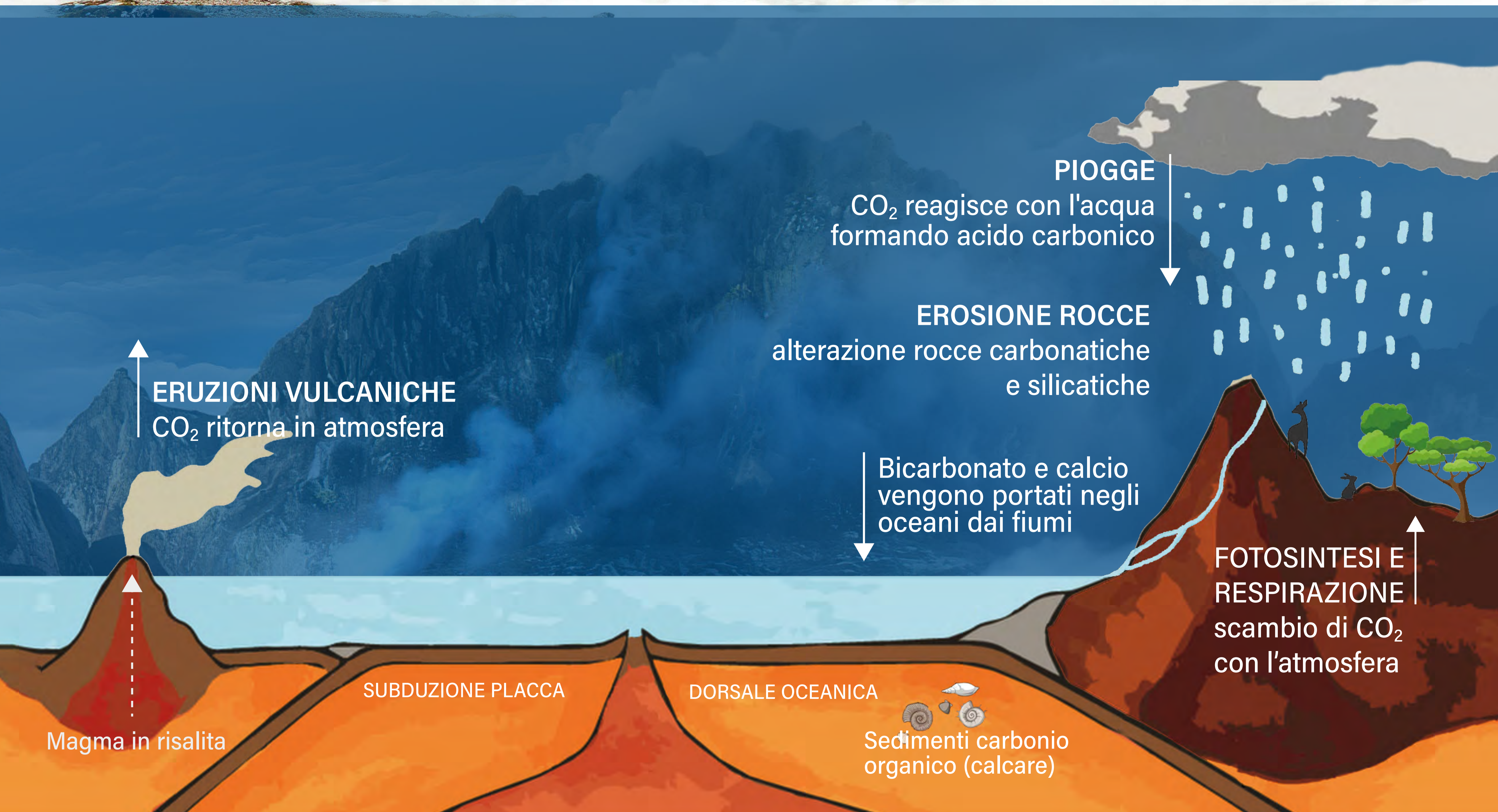
La Terra mantiene un clima mite attraverso l'effetto serra.

Il fenomeno naturale che permette alla Terra di non disperdere il calore assorbito dall'energia del sole è definito come **effetto serra**. Questo avviene grazie alla presenza dei gas clima alteranti, ad esempio vapore acqueo (H₂O), anidride carbonica (CO₂) e monossido di carbonio (CO). Senza effetto serra la temperatura della Terra sarebbe inferiore a 0°C.

Il **carbonio** presente sulla Terra viene continuamente **scambiato tra atmosfera, idrosfera, biosfera e mantello** terrestre; ciò è reso possibile dalla tettonica a placche, in cui il vulcanismo restituisce CO₂ all'atmosfera, bilanciando la rimozione di CO₂ atmosferica da parte degli oceani, delle piante e attraverso la formazione di rocce carbonatiche.



Effetto di assorbimento e riemissione della radiazione infrarossa da parte dei gas clima alteranti



IL CICLO GEOLOGICO DEL CARBONIO

- La CO₂ si dissolve in acqua (piovana e di superficie).
- La CO₂ presente nelle acque piovane forma composti carbonatici di Ca e Mg sulla superficie terrestre che gli agenti atmosferici erodono e trasportano con i silicati verso il mare.
- In mare i carbonati, insieme a gusci di organismi marini, si depositano formando stratificazioni calcaree.
- Il movimento delle placche trascina il calcare in profondità sotto la crosta.
- Le rocce calcaree raggiungono le zone più profonde, fondono e diventano parte dei magmi che, risalendo in superficie durante le eruzioni vulcaniche, riportano la CO₂ in atmosfera.

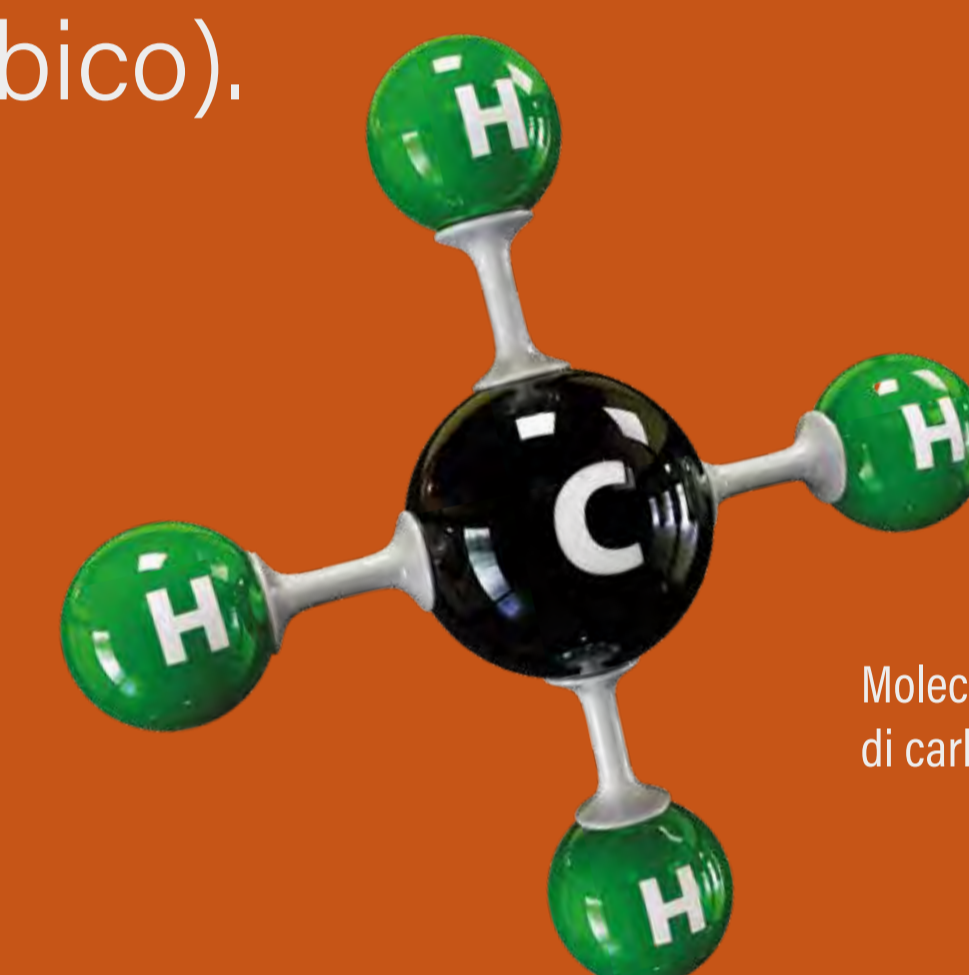
Si chiude così un ciclo che può durare anche milioni di anni.

GEOLOGIA

AZIONI E INTERAZIONI: GLI IDROCARBURI

I **combustibili fossili**, e in particolare gli **idrocarburi**, hanno rappresentato e rappresentano tuttora la fonte primaria per la produzione di energia. Petrolio e gas forniscono inoltre la materia prima da cui derivano prodotti fondamentali per le attività dell'uomo (plastica, prodotti farmaceutici, prodotti agricoli)

Gli idrocarburi sono **composti organici** formati da atomi di carbonio e idrogeno e si generano per decomposizione di materia organica in assenza di ossigeno (ambiente anaerobico).



Le fasi principali della formazione di un giacimento di petrolio sono

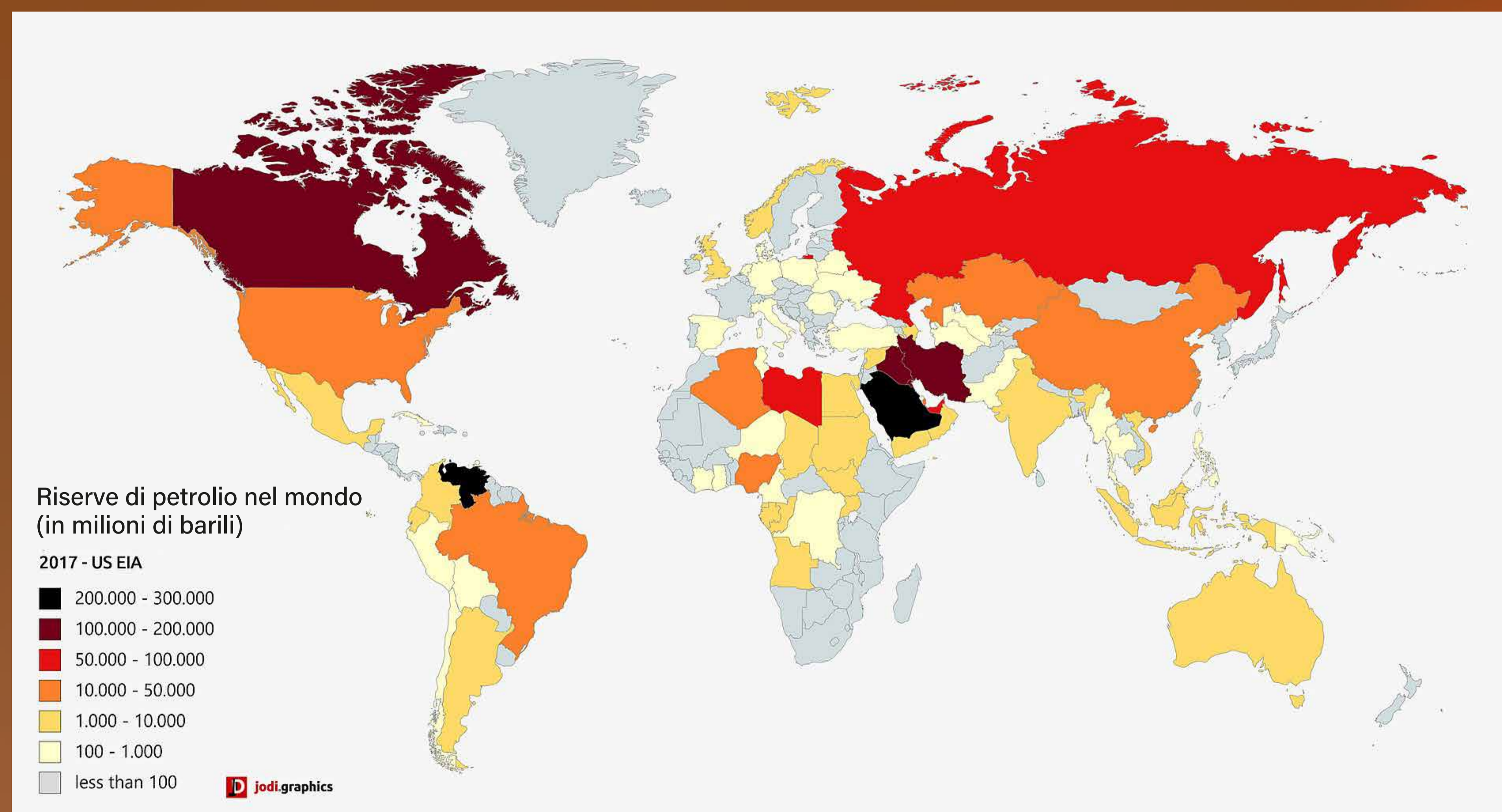
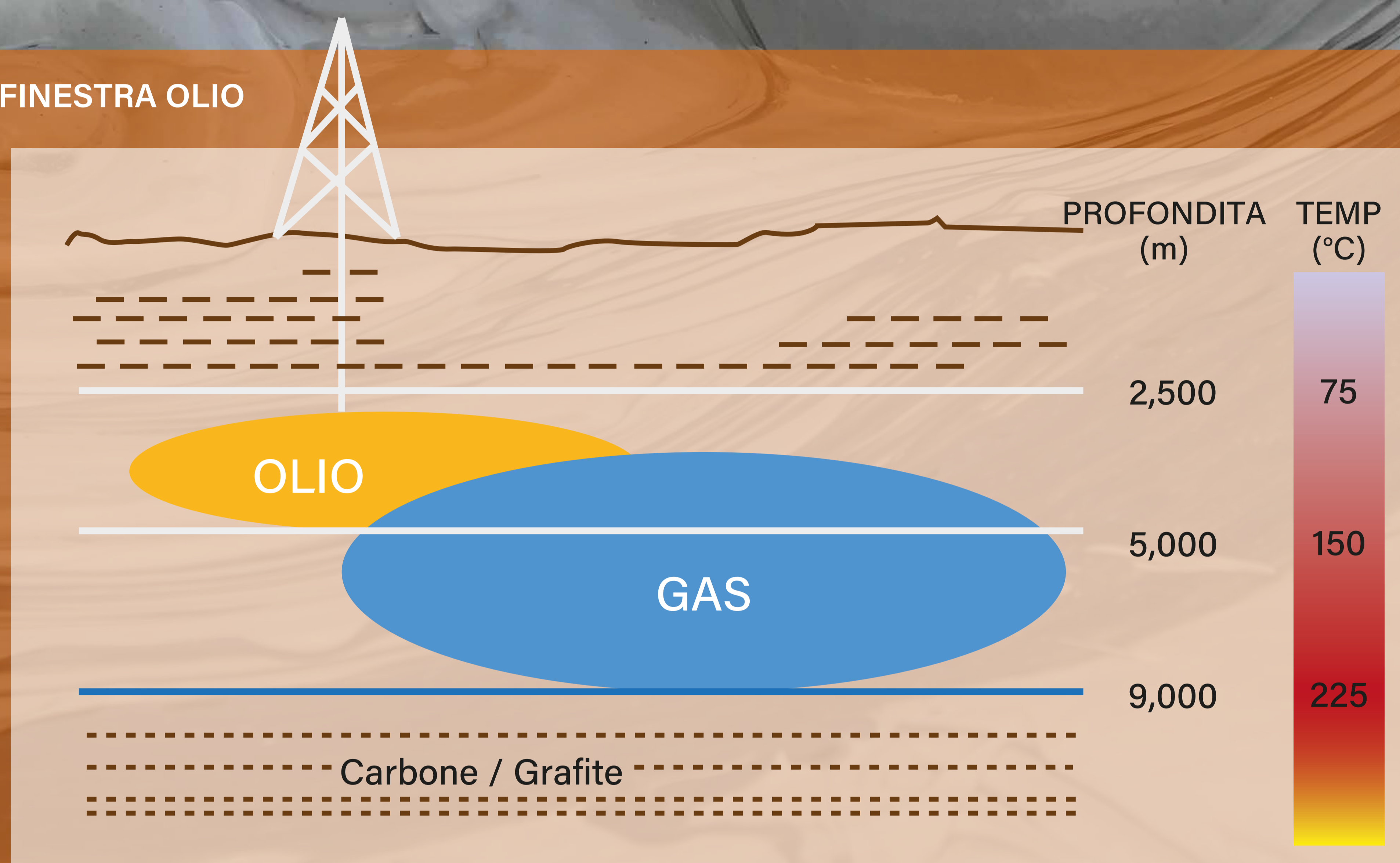
- Generazione degli idrocarburi per degradazione della materia organica contenuta negli strati sedimentari per effetto della variazione di temperatura e pressione.
- Migrazione degli idrocarburi verso l'alto per effetto del galleggiamento, e sostituzione dell'acqua presente nei pori della roccia.
- Intrappolamento degli idrocarburi. Gli idrocarburi risalgono verso la superficie fino a quando incontrano una trappola, cioè una combinazione di rocce con struttura e composizione tali da contenerli (per effetto della porosità) e impedire ulteriori migrazioni, grazie a livelli impermeabili sovrastanti.

RISERVE DI PETROLIO NEL MONDO

La mappa mostra le riserve di petrolio liquido nel mondo. Con il termine riserve si intende l'olio che con ragionevole certezza può essere prodotto da giacimenti già scoperti. Le riserve diminuiscono con la produzione di idrocarburi e aumentano quando vengono scoperti nuovi giacimenti economicamente sostenibili. Al tasso di consumo attuale, le riserve di idrocarburi si esauriranno fra circa 50 anni.

Manifestazione superficiale di petrolio e bolle di metano in ambiente fangoso.
Credits: Giovanni Maletti

LA FINESTRA OLIO



Mappa delle riserve di petrolio nel mondo in unità di "barili di petrolio" (1 barile equivale a circa 159 litri)

Piattaforma petrolifera.
Credits: Tim Rave/Bloomberg



Sierra Nevada.
Credits: discovermagazine.co.uk

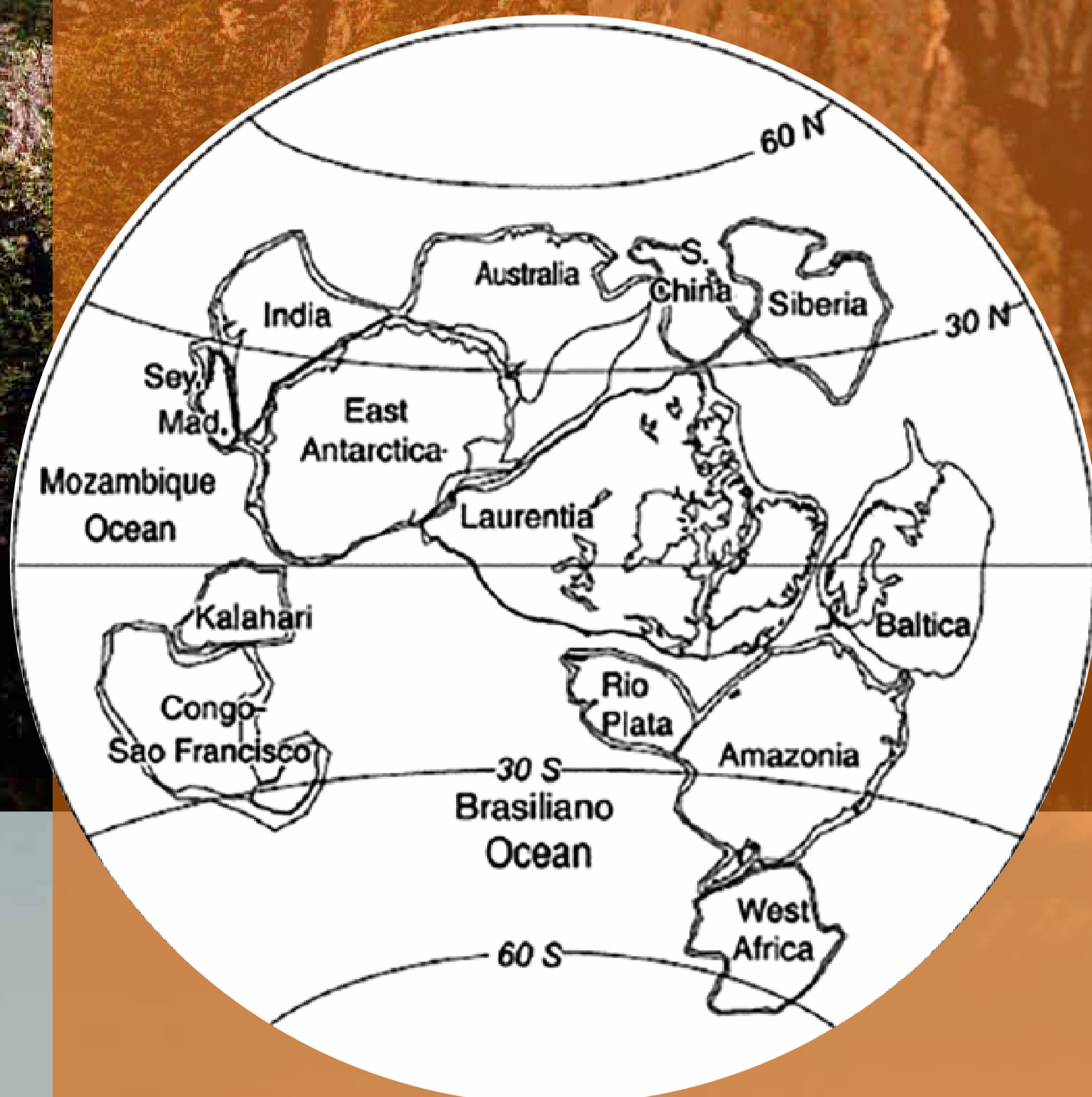
GEOLOGIA

AZIONI E INTERAZIONI: IL PUZZLE DELLA TERRA GIOCA CON IL CLIMA?

POSIZIONE DEI CONTINENTI

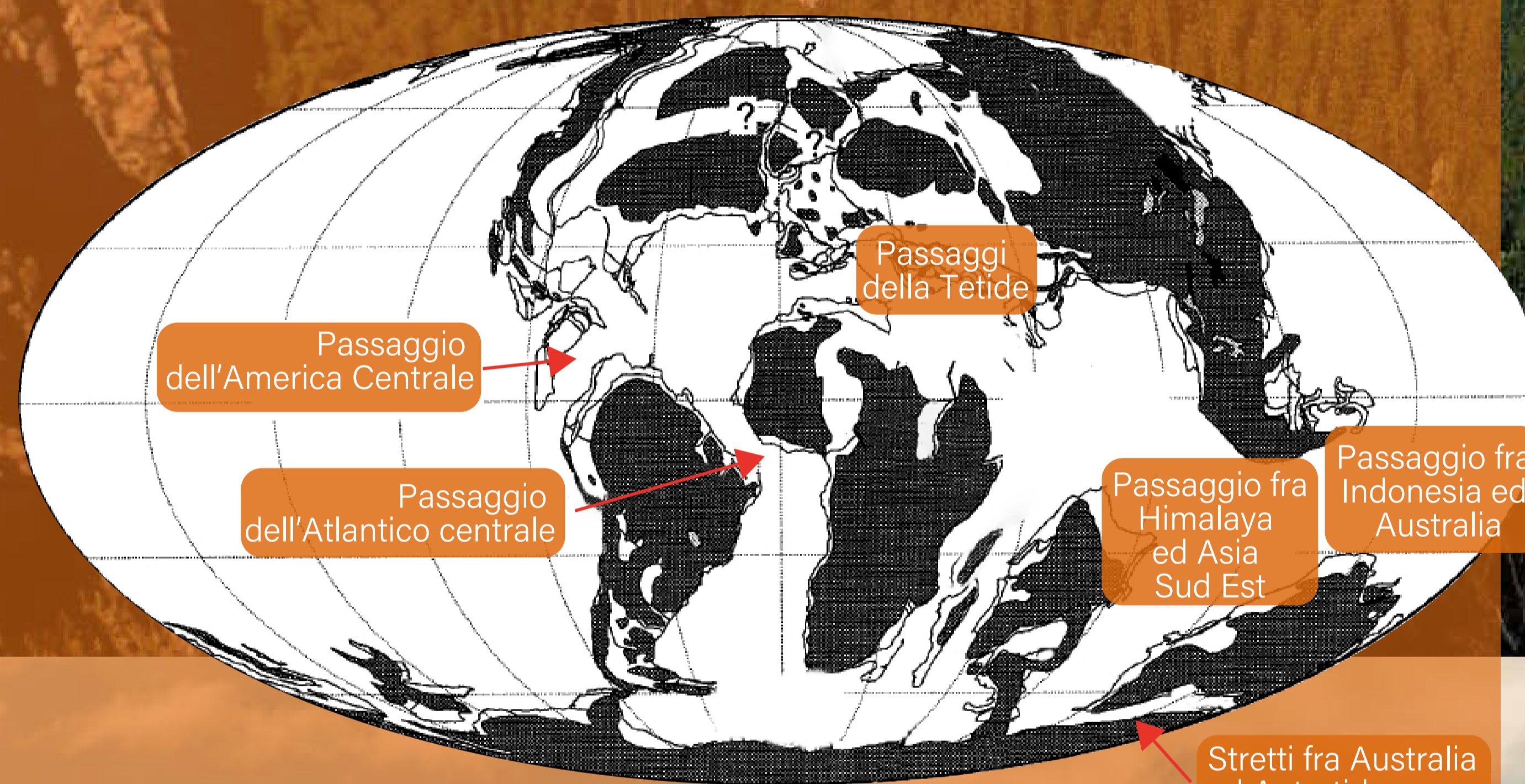
Circa 800 milioni di anni fa le terre emerse erano concentrate in un **supercontinente** disposto nella fascia tropicale del pianeta. Come avviene tuttora, questa fascia era caratterizzata da intense precipitazioni. La pioggia scioglie la CO₂ atmosferica, formando acido carbonico che aggredisce chimicamente i silicati del terreno, trasformandoli in carbonati. La rimozione dell'anidride carbonica dall'atmosfera provoca una riduzione dell'effetto serra e, di conseguenza, anche delle temperature globali.

POSIZIONE DEI CONTINENTI



Distribuzione dei continenti 800 milioni di anni fa.
Credits: Ramstein G. et al. (2019) "Some illustrations of large tectonically driven climate changes in earth history" Tectonic

APERTURA E CHIUSURA DI VIE D'ACQUA



Principali vie d'acqua presenti nel Cretaceo (100-65 milioni di anni fa).
Credits: Hay W.W. (1996), "Tectonics and climate" Geol Rundsch

APERTURA E CHIUSURA DI VIE D'ACQUA

Con lo **spostamento delle masse continentali**, vari collegamenti marini si sono aperti o chiusi nella storia geologica, causando cambiamenti nelle **circolazioni oceaniche**. Ad esempio, la formazione dell'Istmo di Panama e la chiusura del mar della Tetide sono state concause di una circolazione oceanica dominata da fredde acque profonde dell'Atlantico settentrionale, la quale ha favorito l'inizio della glaciazione artica.

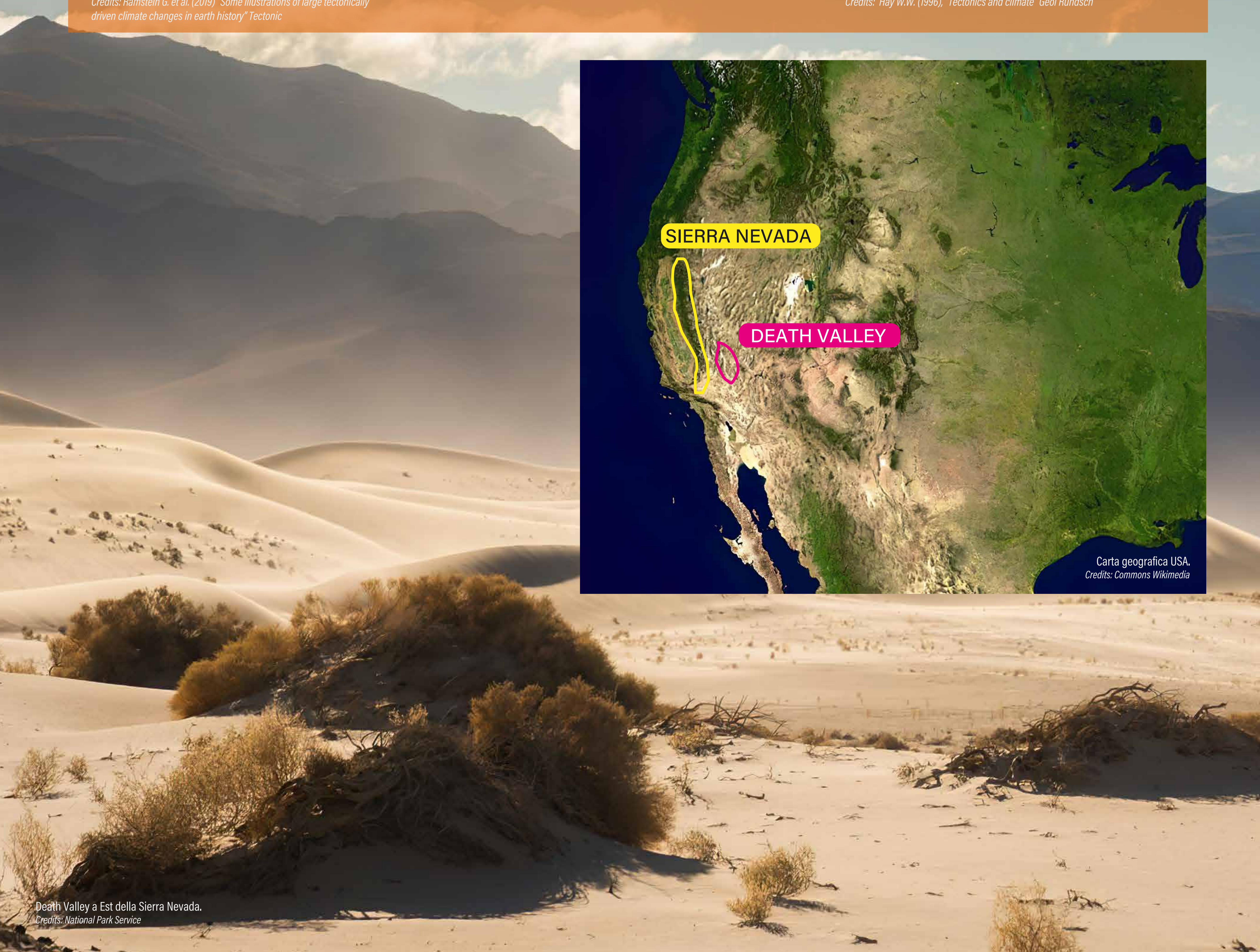
MONTAGNE E DESERTI

La formazione di **catene montuose** provoca forti impatti sul clima della regione circostante. La Death Valley costituisce un chiaro esempio di zona influenzata dalla presenza di catene montuose.

Quando le masse di aria provenienti dall'Oceano Pacifico raggiungono la catena della Sierra Nevada, la maggior parte dell'umidità in esse contenuta precipita. L'aria divenuta secca continua a essere riscaldata, portando la zona a est a raggiungere temperature fra le più elevate sulla Terra.



Carta geografica USA.
Credits: Commons Wikimedia



Death Valley a Est della Sierra Nevada.
Credits: National Park Service