



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
DELLA TERRA "ARDITO DESIO"



Aperitivi scientifici coi piedi per Terra!

**Tettonica delle zolle: come nasce una  
teoria scientifica e perché possiamo  
crederci**



**Fabrizio  
Berra**



**Guardare,  
vedere...**

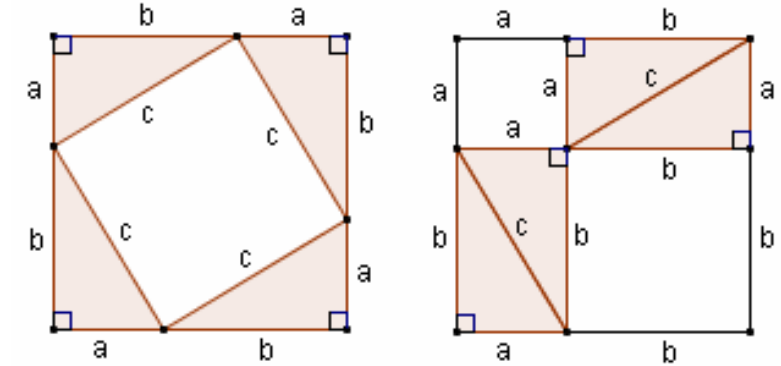
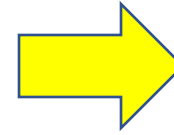
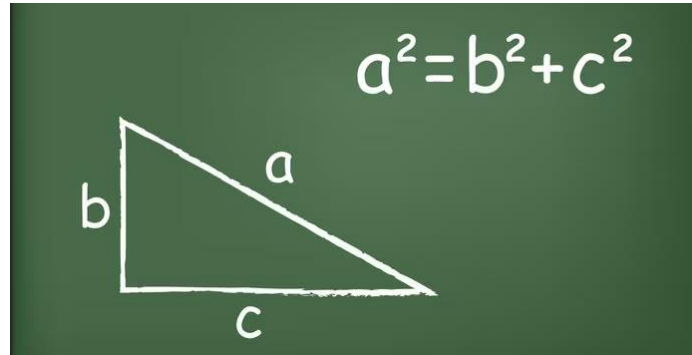
**e quindi farsi  
domande e  
cercare  
risposte**



# Perché questa chiacchierata...

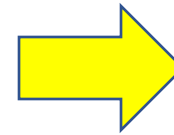
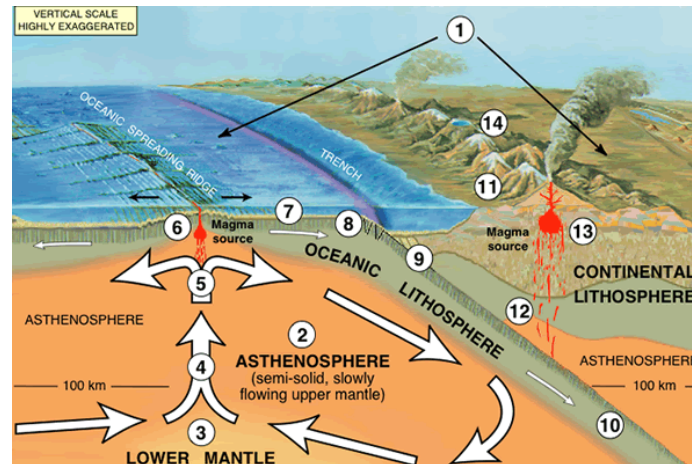
## Teorema

Proposizione dimostrabile per deduzione da altre proposizioni precedentemente dimostrate o assunte come vere (postulati)  
(Garzanti)



## Teoria

Insieme di norme e precetti che servono di guida alla pratica  
(Garzanti)



????



# La «Tettonica delle Placche»

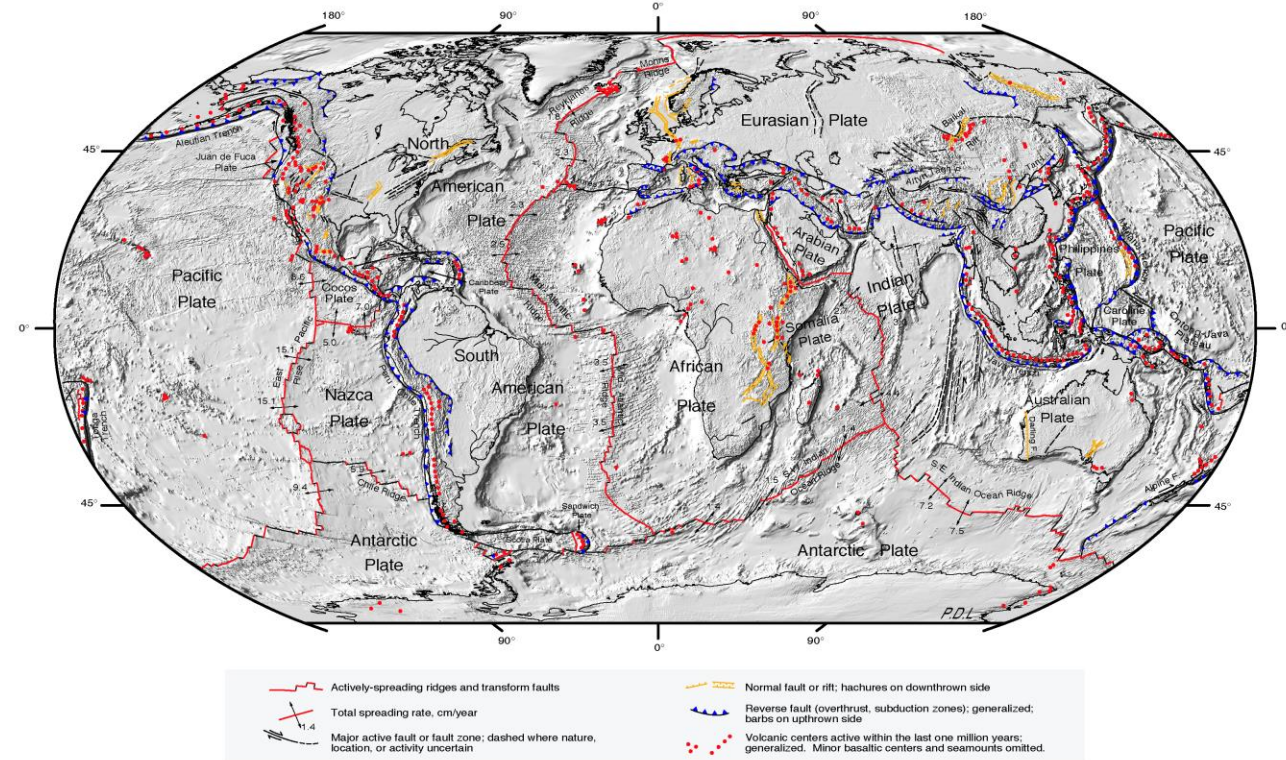
È la teoria in grado di sintetizzare osservazioni geologiche diverse in una teoria unificatrice, che permette di comprendere il «comportamento» del nostro pianeta, la sua evoluzione, la distribuzione delle risorse, la sua storia passata e le possibili evoluzioni future.

Nasce in modo induttivo da osservazioni per interpretare fenomeni naturali non ripetibili

È la teoria unificatrice delle discipline geologiche

È utile e serve!

**DIGITAL TECTONIC ACTIVITY MAP OF THE EARTH**  
Tectonism and Volcanism of the Last One Million Years





# Da dove si parte...

Tra settecento e ottocento nasce la geologia come la conosciamo oggi seguendo due principali spinte:

- 1) La realizzazione di «Wunderkammer» e musei: la raccolta sistematica di fossili e minerali porta alla consapevolezza di avere «regole» nella distribuzione delle rocce e processi geologici
- 2) La richiesta di materie prime (soprattutto carbone in Europa centrale e Gran Bretagna)

Conseguenza: lo studio del pianeta evolve, passando da una ricerca casuale delle risorse alla esigenza di comprendere i processi geologici

Due spinte diverse: una dalla sete di sapere, una dal bisogno di soddisfare necessità



[Musei Wormiani Historia, the frontispiece of the Museum Wormianum depicting Ole Worm's Cabinet of Curiosities. Ole Worm, CC BY 4.0 License, via Wikimedia Commons](#)



# Osservazioni, dati, informazioni

Menti diverse che osservano raccolgono dati diversi per tipo e natura

I dati si accumulano nel tempo e si osservano legami che vanno capiti

Si trovano relazioni, si nota ordine in una apparente casualità: i dati si trasformano in informazioni

Per **spiegare le osservazioni** è necessario sviluppare delle **teorie**, che devono però essere validate: vediamo come in geologia si arriva alla TEORIA DELLA TETTONICA DELLE PLACCHE





*La concezione empiristica della scienza afferma che ... le teorie scientifiche si ottengono per un processo di induzione. Chi conduce delle indagini ... dovrebbe procedere attraverso una sequenza di processi ... a partire dall'osservazione di "fatti" ... per fare delle generalizzazioni e indurre ... delle teorie. Tuttavia ... le ipotesi o le teorie non si collegano in nessun modo deduttivo con i dati cosiddetti "oggettivi", ma sono ... dei prodotti dell'immaginazione umana. Il loro collegamento con il mondo concreto si realizza attraverso il processo della verifica e dell'eventuale confutazione*

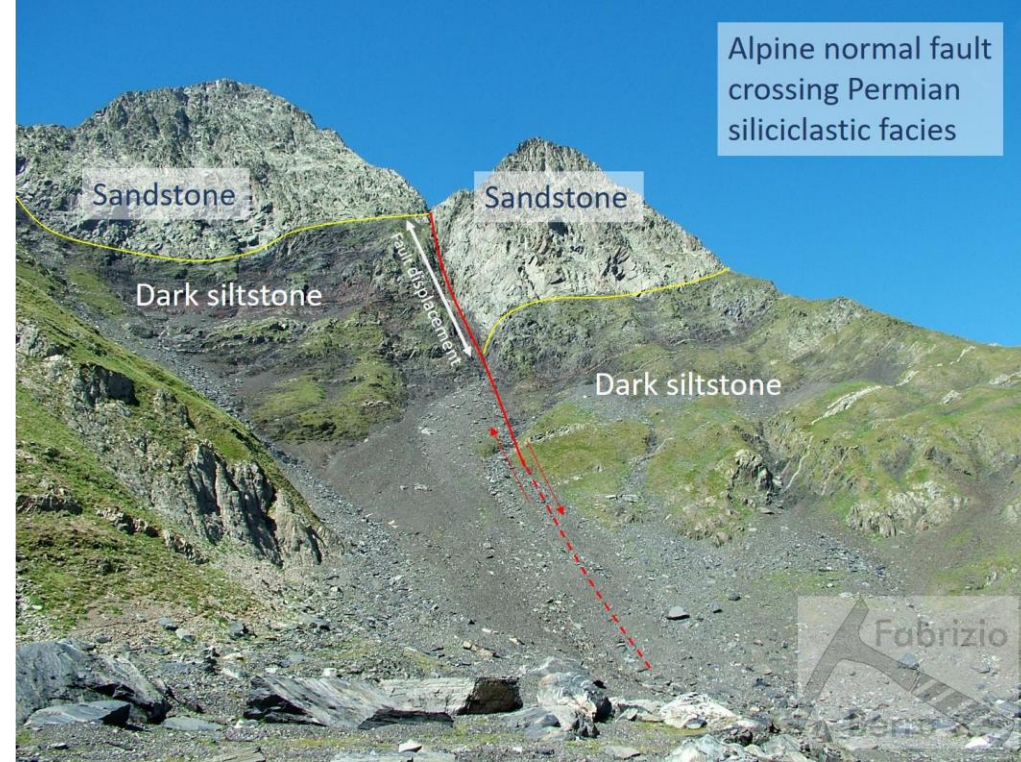
R. Driver



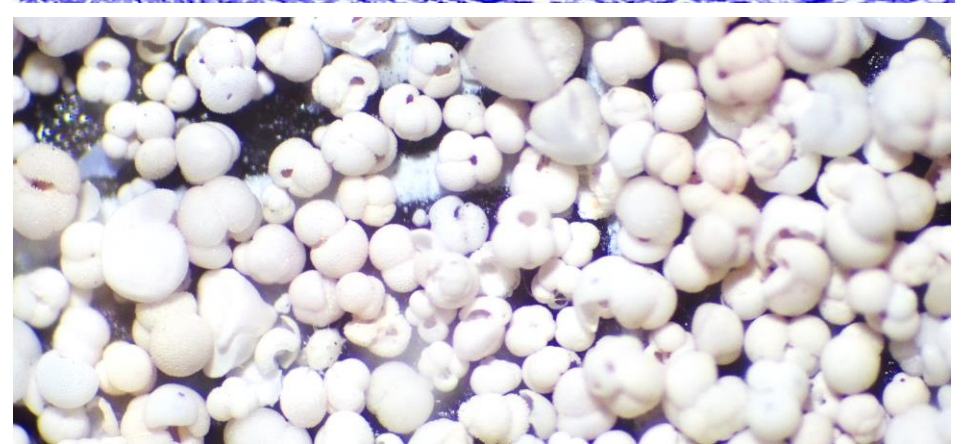
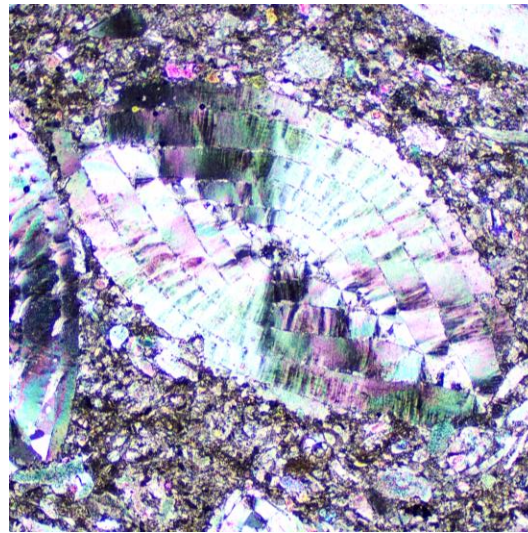
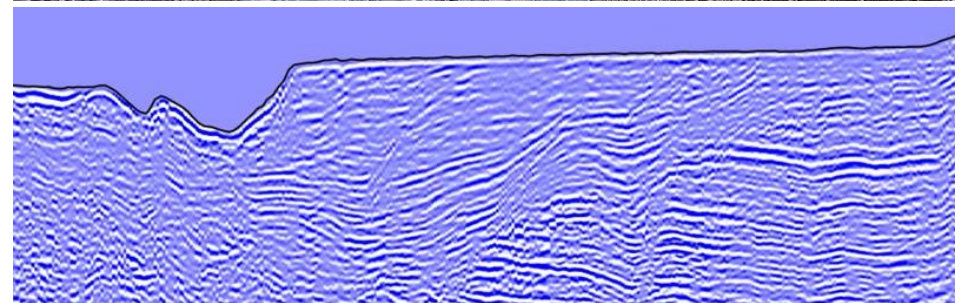
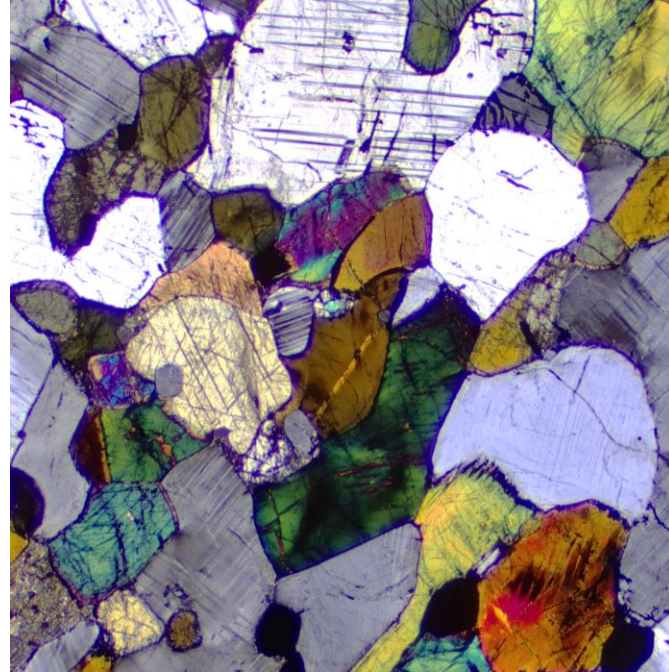
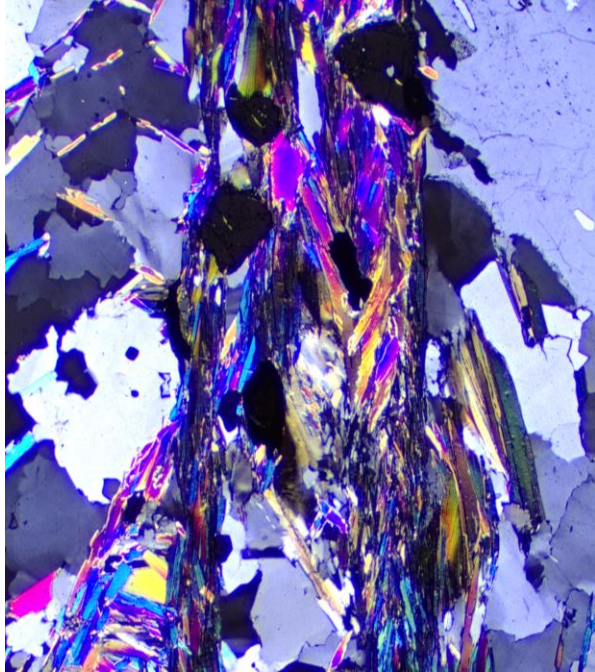
# Da dove si parte?

Si parte sempre dall'osservazione e dai dati

Alpine normal fault  
crossing Permian  
siliciclastic facies









# Mettiamo ordine tra le osservazioni

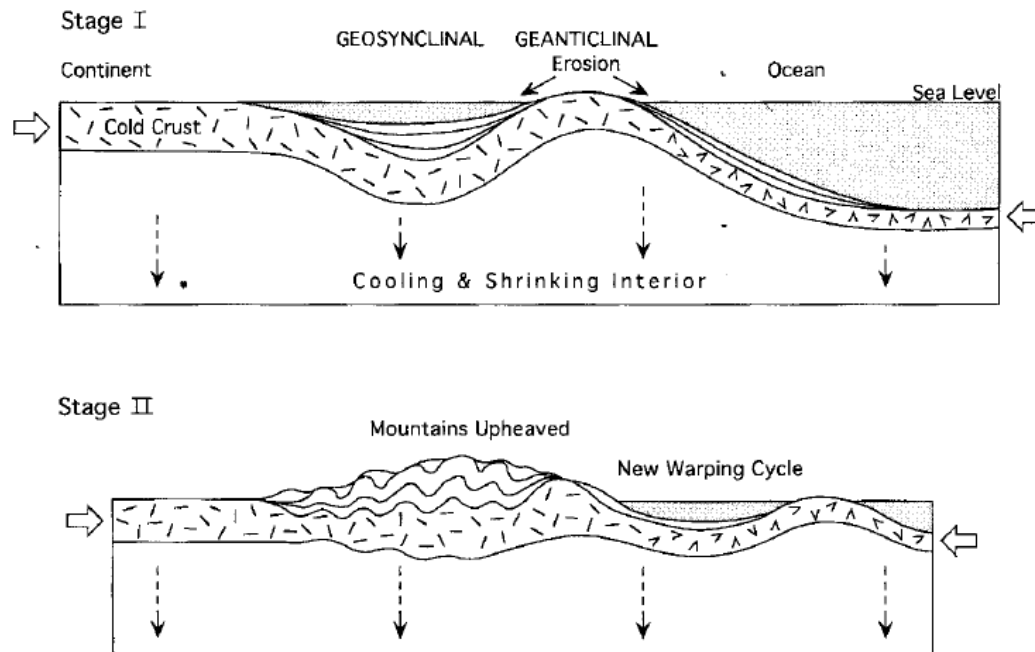
La disponibilità di dati accumulatisi nel tempo e lo sviluppo di strumenti diversi consente di mettere «ordine» e identificare una serie di domande scientifiche, proponendo risposte.

La possibilità di avere dati diversi che evidenziano problematiche distinte obbliga a trovare le soluzioni più «semplici» (anche se controintuitive) che siano in grado di spiegare con una singola teoria aspetti apparentemente distanti

Procediamo...

# Da dove si parte

- James Dana, 1847, 1873: la Terra in contrazione



The principles may perhaps be rendered more clear by means of the following figures. In fig. 1, the crust ( $ct$ ) is represented covered with water ( $oo'$ ). In fig. 2, the globe has contracted from the dotted line to  $ct'$ ;  $co$ ,  $o't'$ , are the portions free from volcanic action, (as was the case almost entirely with the parts corresponding to the continents in the Silurian period;)  $p$  is an area of water upon  $o't'$ .  $oo'$  represents the incipient oceanic depression, over which, owing to its igneous character and thinner crust, (this Journal, ii, 352,) contraction went on the most rapidly, and where, at the same time, igneous ejections and displacements (which result from contraction beneath the crust, causing a drawing down of the crust upon a diminishing nucleus) were frequent. It is evident that the depression would at first be too shallow to contain all the water; but as subsidence proceeded, and most rapidly over the oceanic areas, the capacity of the cavity would increase and tend to drain the forming continent. This result might, however, be long delayed by the eruptions and upliftings throughout the area  $oo'$ , an effect which would diminish the capacity of the oceanic basin, and so compensate for the contraction going on. The land would finally emerge; but the same causes (eruptions and upliftings over the oceanic areas) might make the water rise over it again, and occasion for ages, successive submergings and emergings of the continents. Temporary cessations of subsidence over the oceanic areas might take place from increasing tension preceding a paroxysmal relief by fractures, and this would be another cause of a rise and fall in the water level.



Fig. 2.

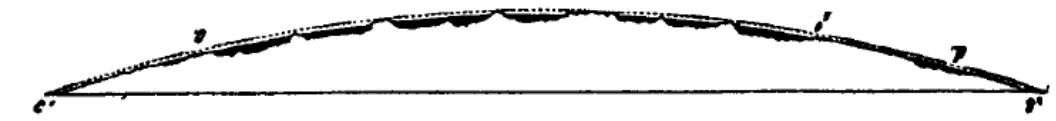
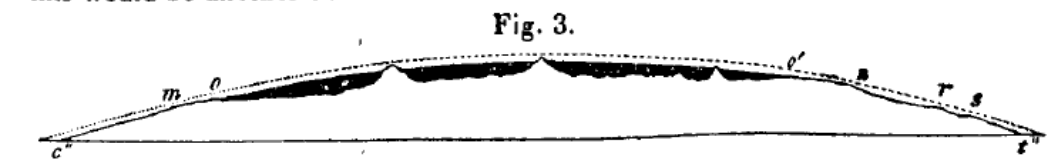


Fig. 3.

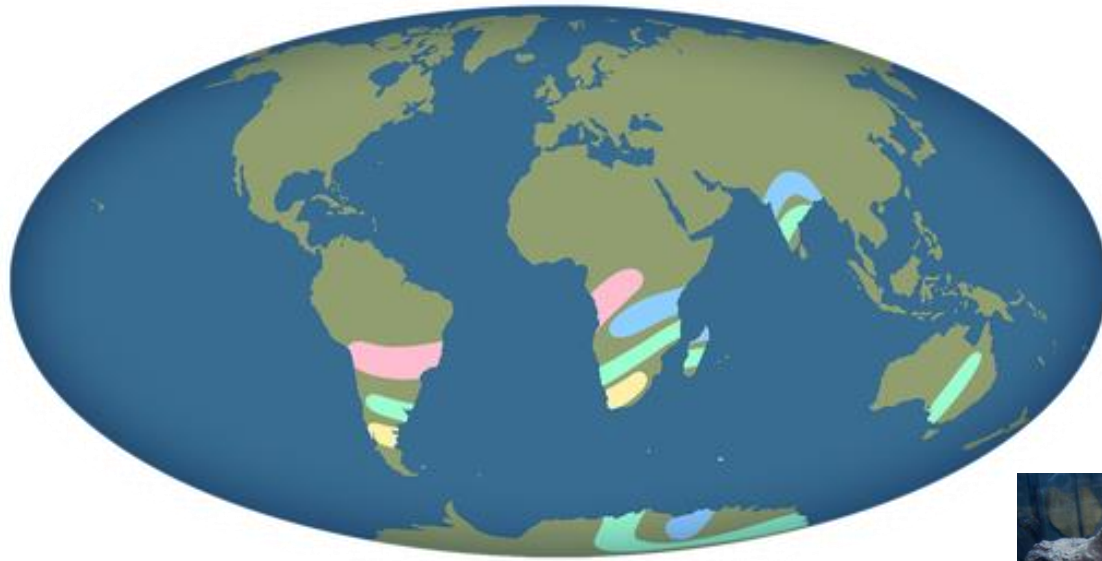



As the crust below the oceanic depression becomes thicker by cooling, the contraction, not now causing fractures and upliftings over its own area alone, would produce a tension laterally against the non-contracting area and occasion pressure, fissures, and upheavals; and thus the elevations  $m$ ,  $n$ ,  $r$ ,  $s$ , fig. 3, would result.

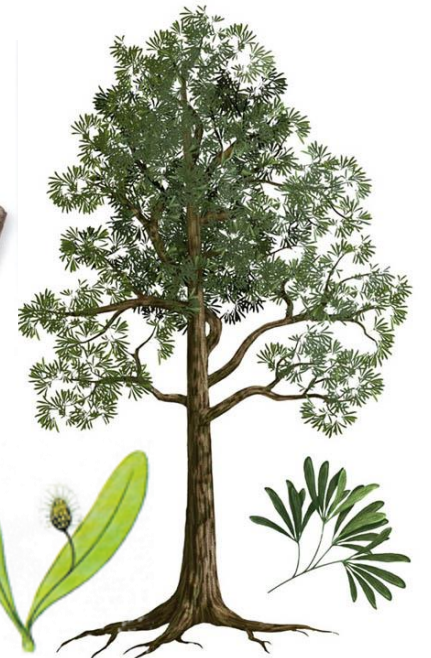


# Aggiungiamo altre osservazioni...

Iniziamo a scala globale:  
distribuzione di rocce e fossili...

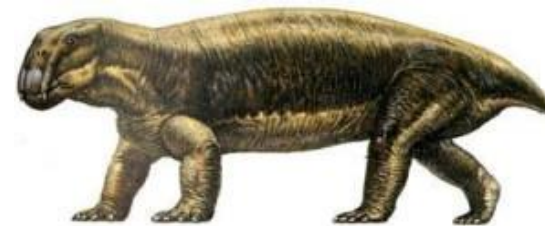


Cynognathus			Glossopteris
Lystrosaurus			Mesosaurus



Glossopteris

Cynognathus



Lystrosaurus



Mesosaurus

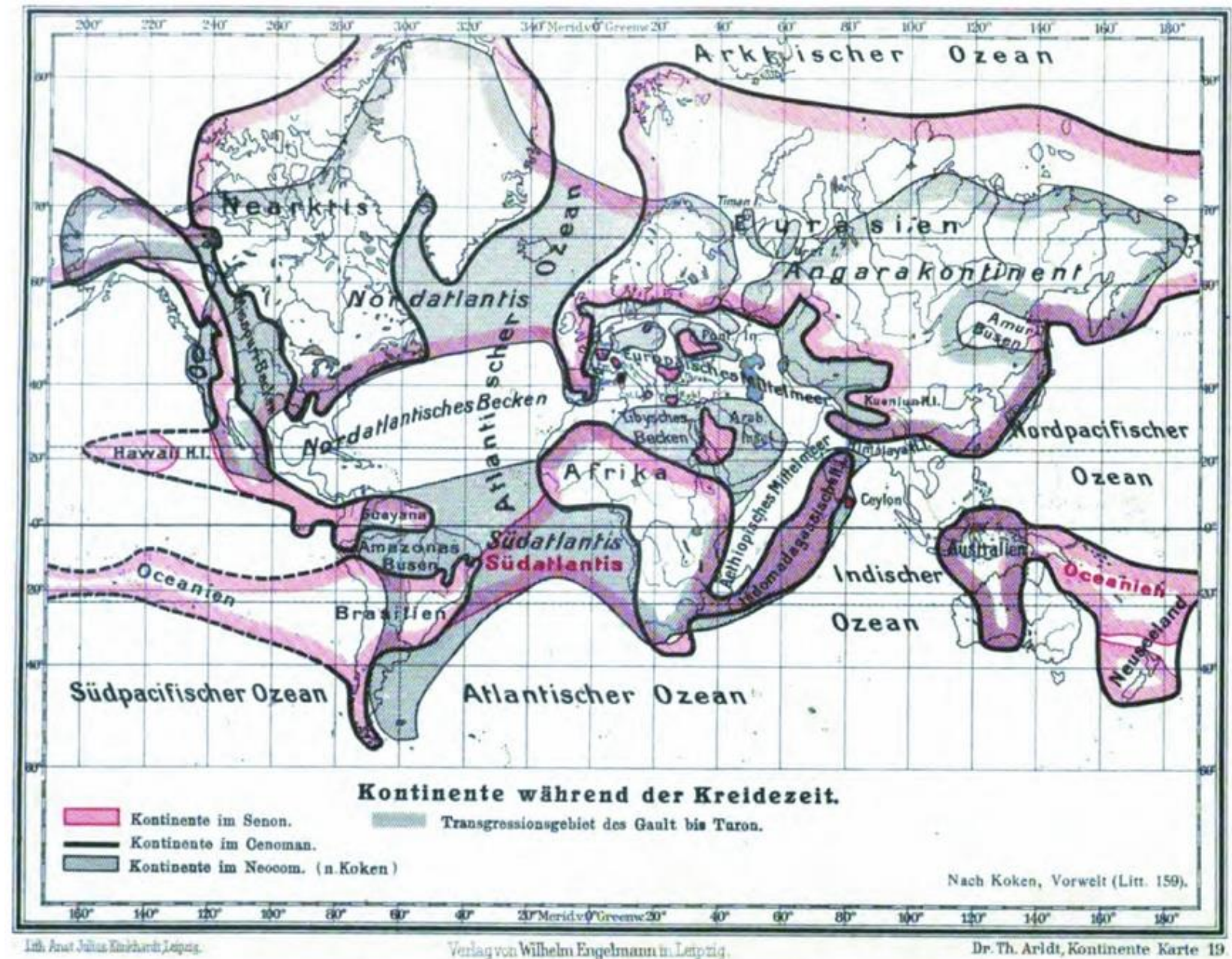
«Tettonica delle zolle»: come nasce una teoria scientifica e perché possiamo crederci

Fabrizio Berra



# Come spiegare?

Ricostruzione paleogeografica del pianeta durante il Cretacico (Arlt, 1907): i ponti continentali come spiegazione delle osservazioni





# Un po' più complicato

- Evidenze dei climi del passato



Pleistocene (circa 20.000 anni fa), Val Camonica (BS), 300 m s.l.m.



Permo-Carbonifero (circa 290 Ma), South Africa



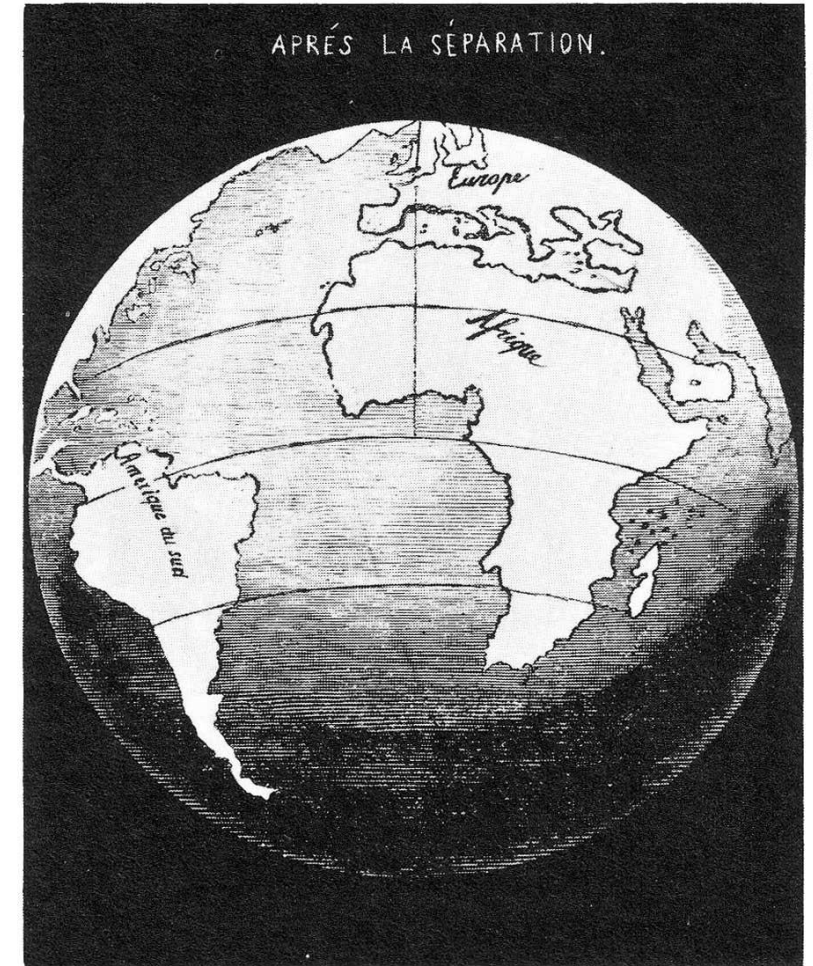
Olocene (oggi, 3200 m s.l.m.), Valle d'Aosta



# E se le forme dei continenti ci dicessero qualcosa?

Abraham Ortelius (1527-1598):  
forme dei continenti

Antonio Snider-Pellegrini (1802-  
1885): forme dei continenti e  
distribuzione dei fossili





# Un passo dopo l'altro

Eduard Suess, «Das Antlitz der Erde», 1883-1909

*Terra in contrazione*

Clarence Dutton, 1889

*Isostasia*

Frank Taylor, 1910

*Continental creep*

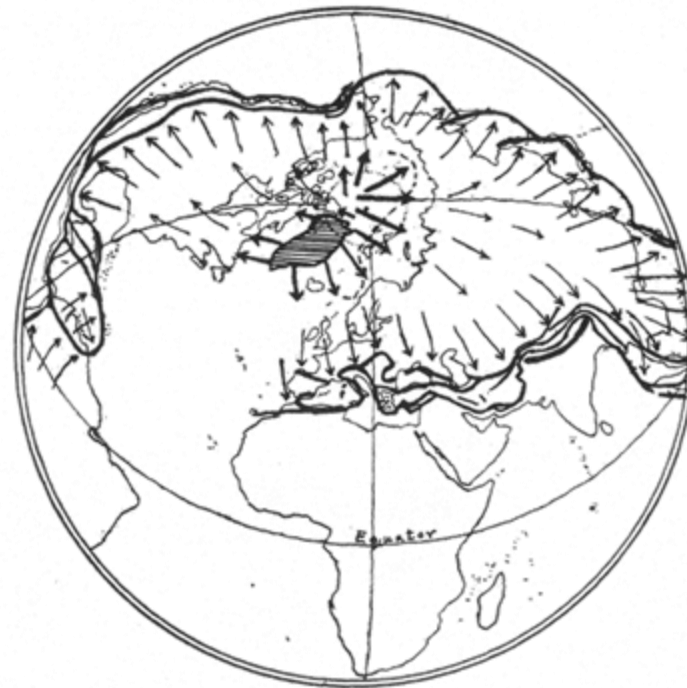
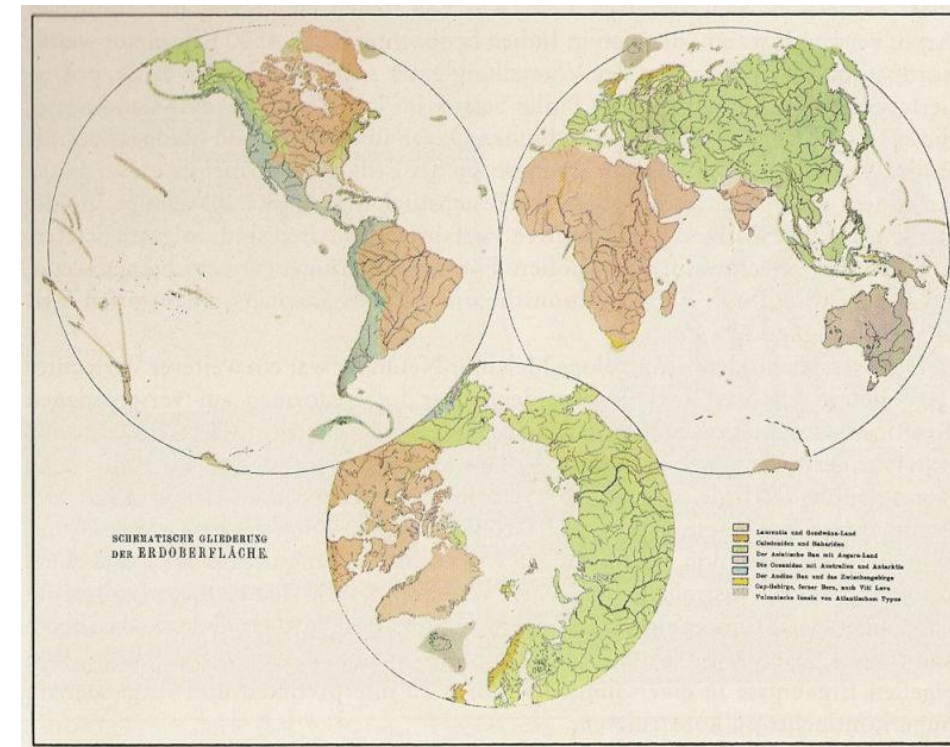
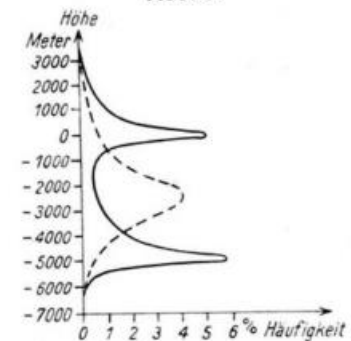


FIGURE 6.—The Landsphere



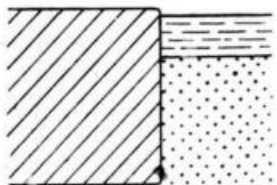
# Un'ipotesi prende forma

Abb. 8.



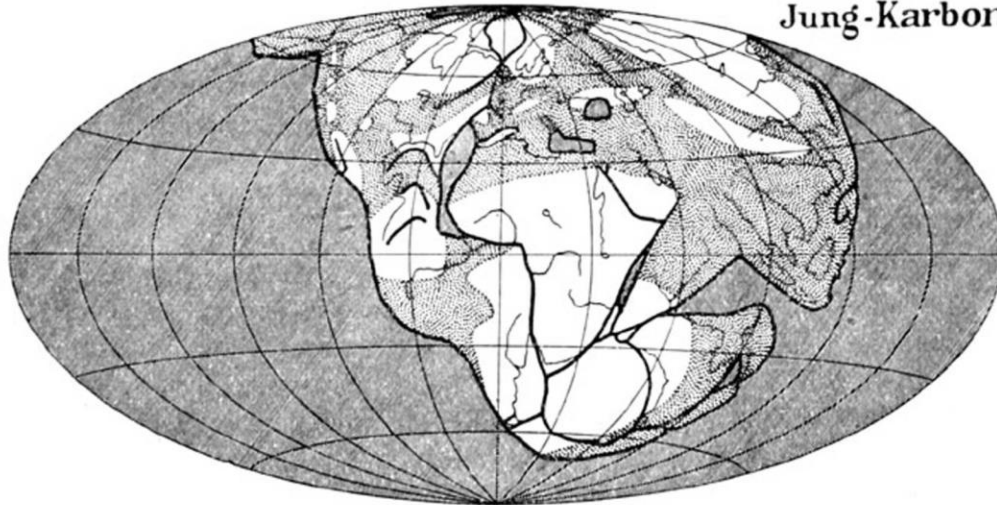
Die beiden Häufigkeitsmaxima der Höhen.

Abb. 9.

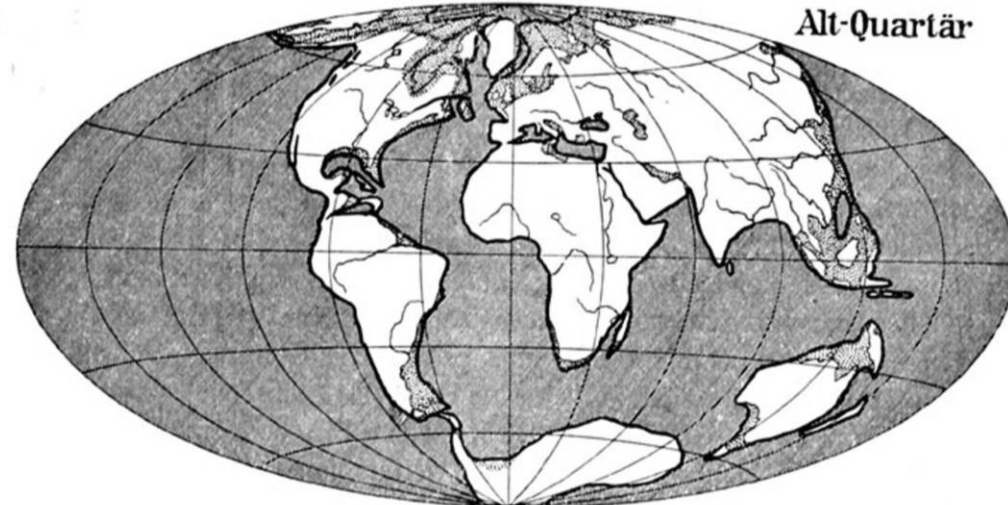


Schematischer Querschnitt durch einen Kontinentalrand.  
Horizontale Strichelung = Wasser.

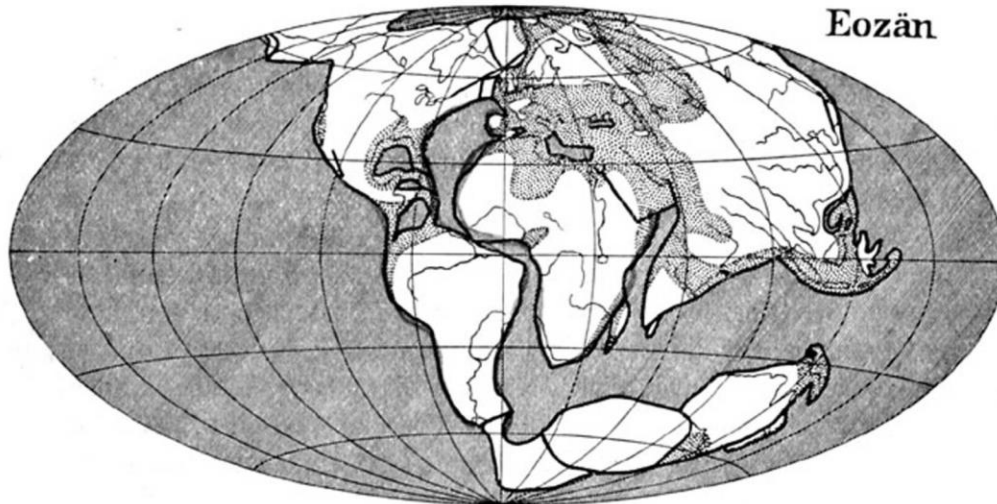
Jung-Karbon



Alt-Quartär



Eozän



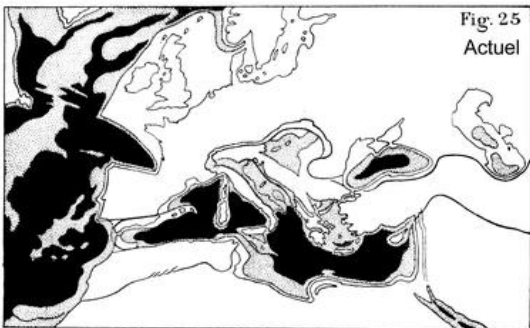
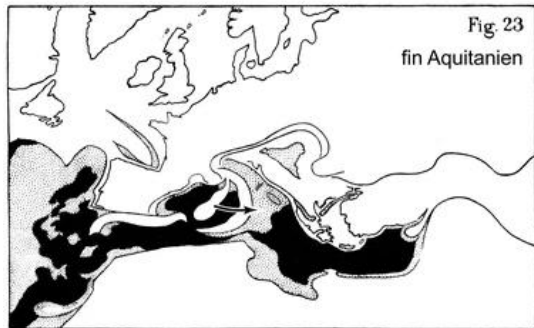
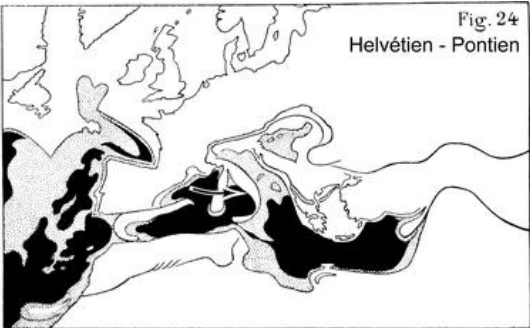
Alfred Wegener  
1912-1929



# Anche da osservazioni di terreno...

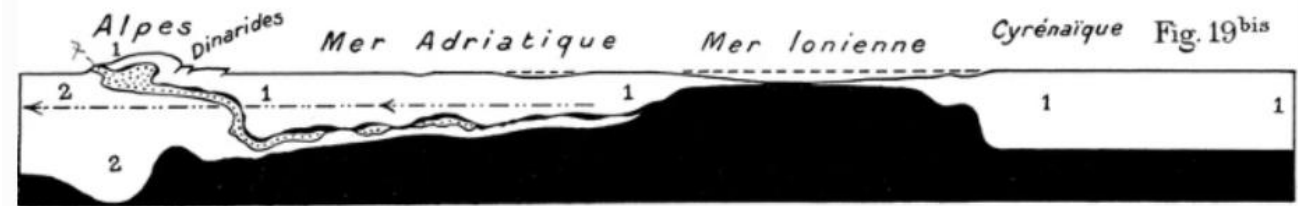
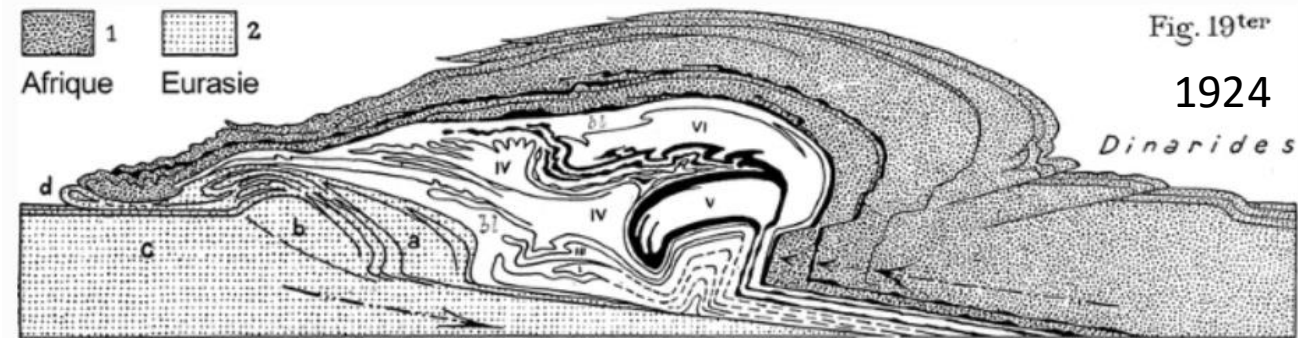
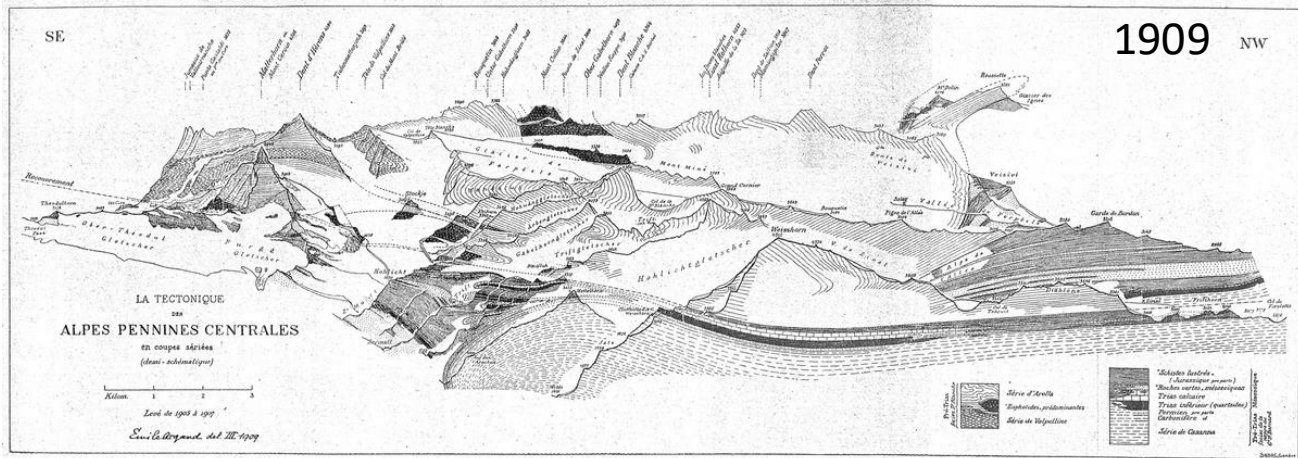
- Emile Argand, 1904-1924

«La validità di una teoria non è altro che la sua capacità di spiegare tutti i fatti noti al momento in cui viene proposta. In questo senso, la teoria della deriva dei continenti su larga scala è di straordinaria validità»



1924

1 1000 Km 2





# Quale accoglienza di questa ipotesi? Un successo?

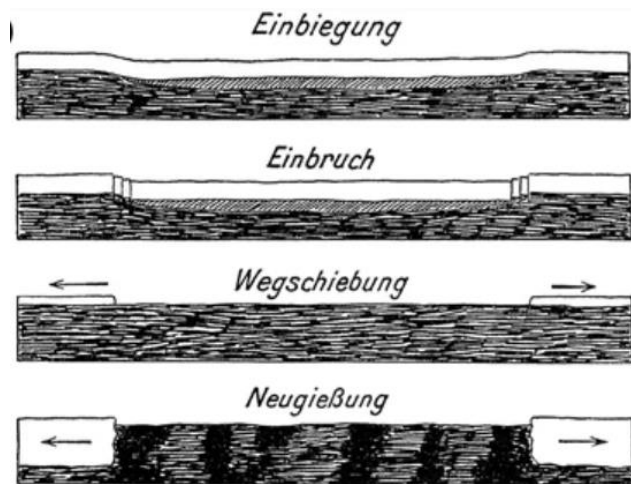
- Assolutamente no, molte critiche e pochissimi appoggi. L'ipotesi mancava di un elemento fondamentale, come si possono spastare i continenti su una crosta rigida?
- Una spiegazione alternativa: la Terra si espande!





# Manca il motore: i movimenti convettivi

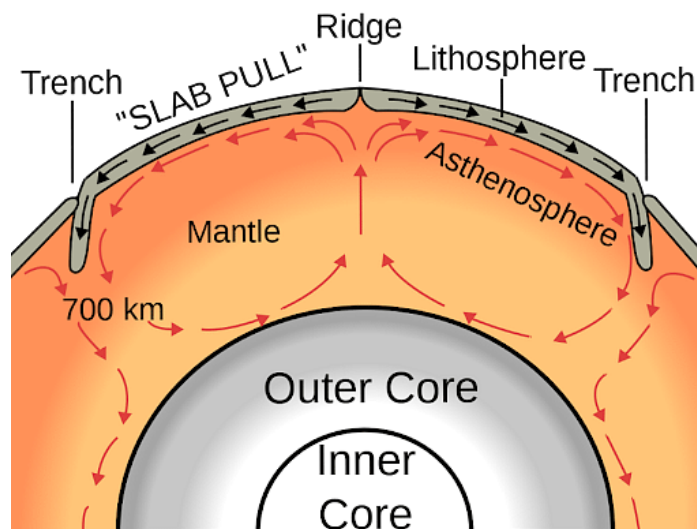
Otto Ampferer, 1906, 1925



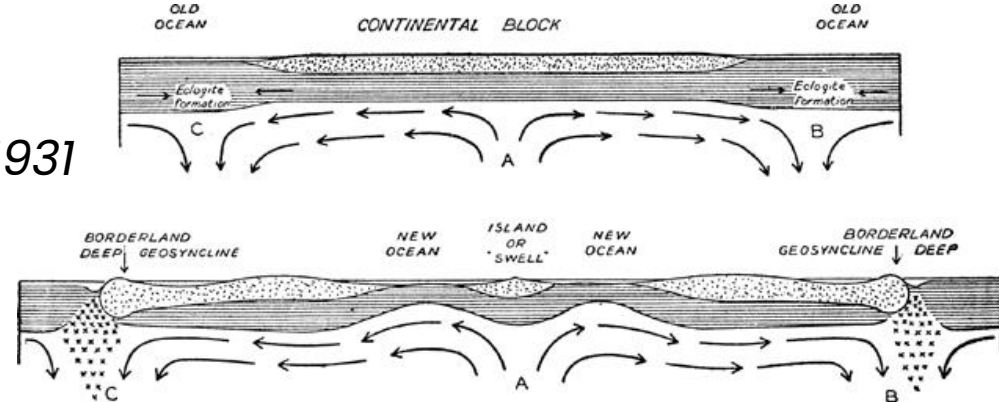
Die wichtigsten geometrisch-geologischen Möglichkeiten der Raumschaffung für die Ozeane.



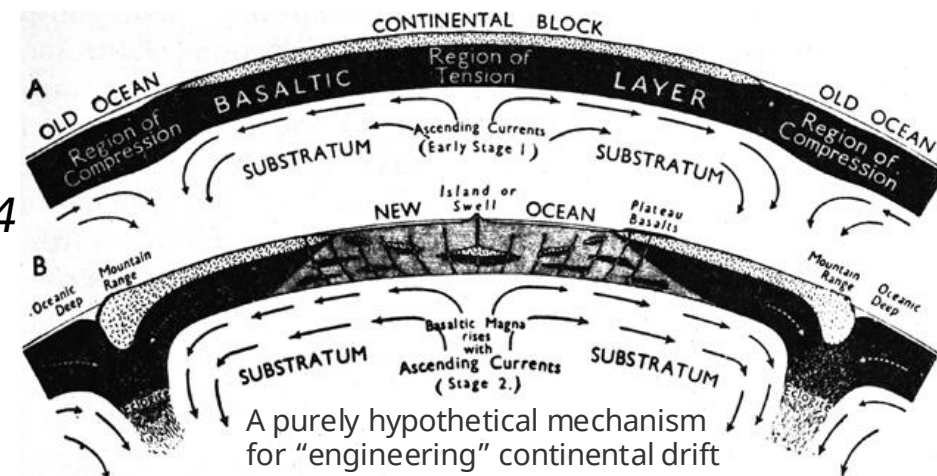
Schema von Kontinentverschiebungen durch auf- und absteigende Strömungen im Erdinnern.



1931



1944



A purely hypothetical mechanism for "engineering" continental drift



Arthur Holmes, 1929

«Tettonica delle zolle»: come nasce una teoria scientifica e perché possiamo crederci

Fabrizio Berra



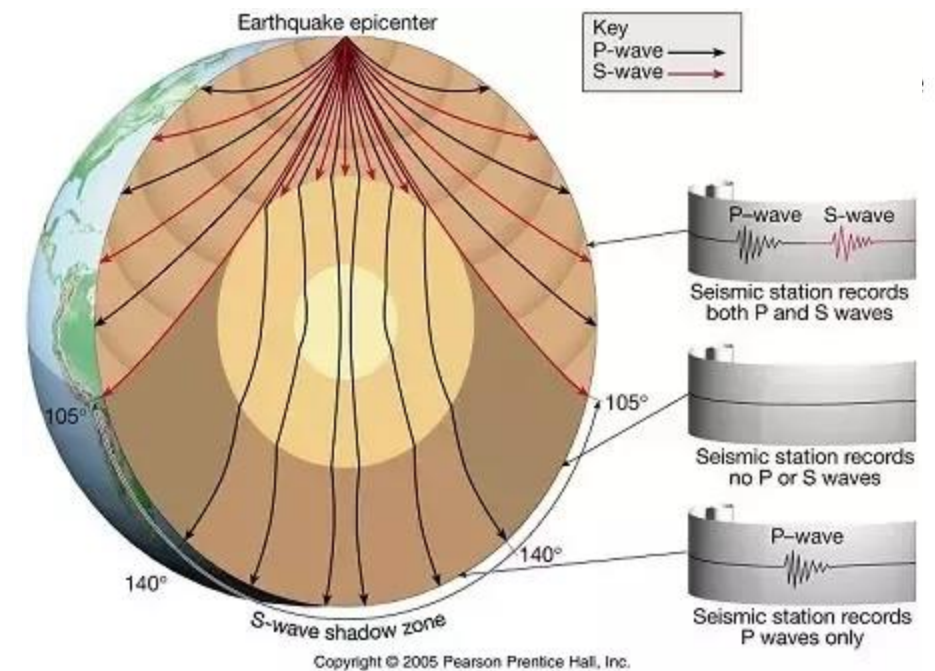
# I dati aumentano...

L'interno della Terra: da Jules Verne alla scienza

Le onde dei terremoti sono di due tipi, chiamate onde P ed onde S

Le onde S non passano attraverso i liquidi, quindi poiché non le troviamo dall'altra parte del pianeta rispetto al terremoto, significa che una parte dell'interno della Terra è liquida ma con un nucleo interno solido

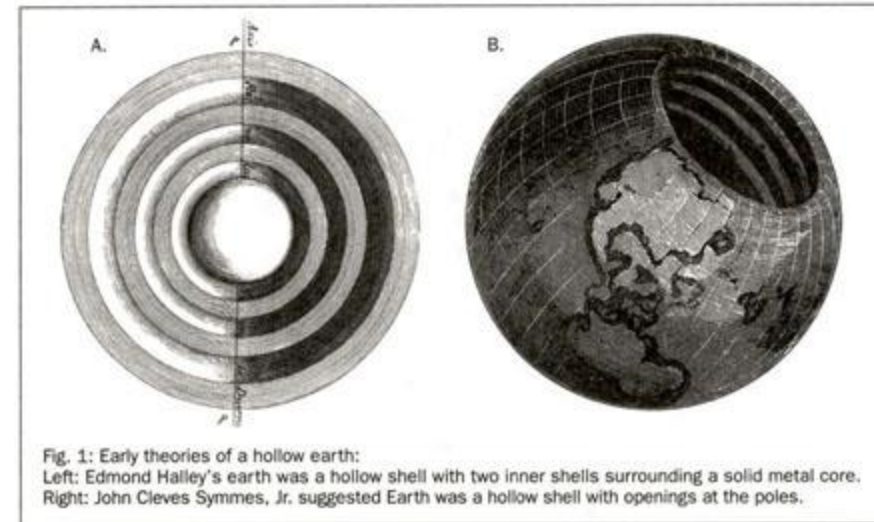
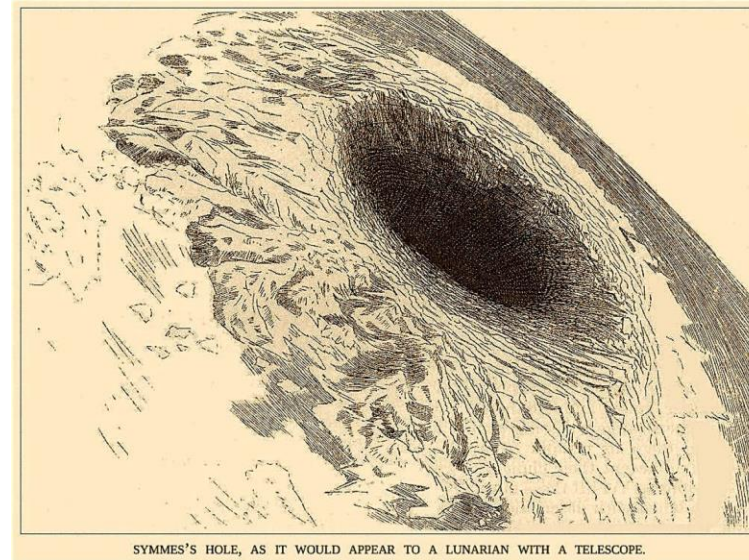
*Inge Lehmann, 1936*





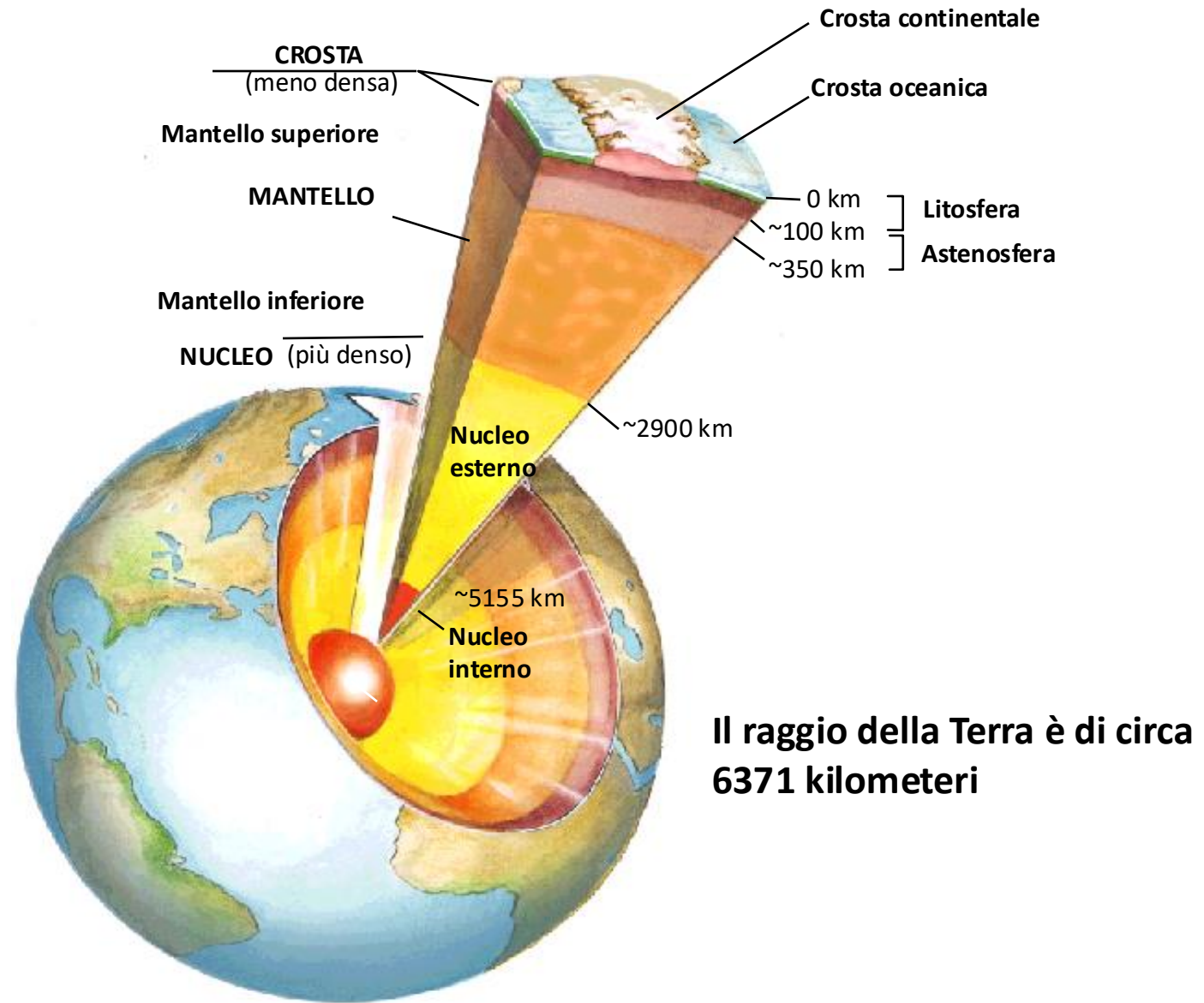
## Passiamo da così...

Edmond Halley (1692): Terra costituita da un guscio cavo (circa 800 km), due gusci concentrici e un nucleo. Atmosfere separano questi gusci, rotanti a velocità diverse, ognuno con il suo campo magnetico, per spiegare le anomalie registrate con le bussole. I gusci sono separati da atmosfere e possono essere abitati. Gas emessi da queste atmosfere creavano l'aurora boreale



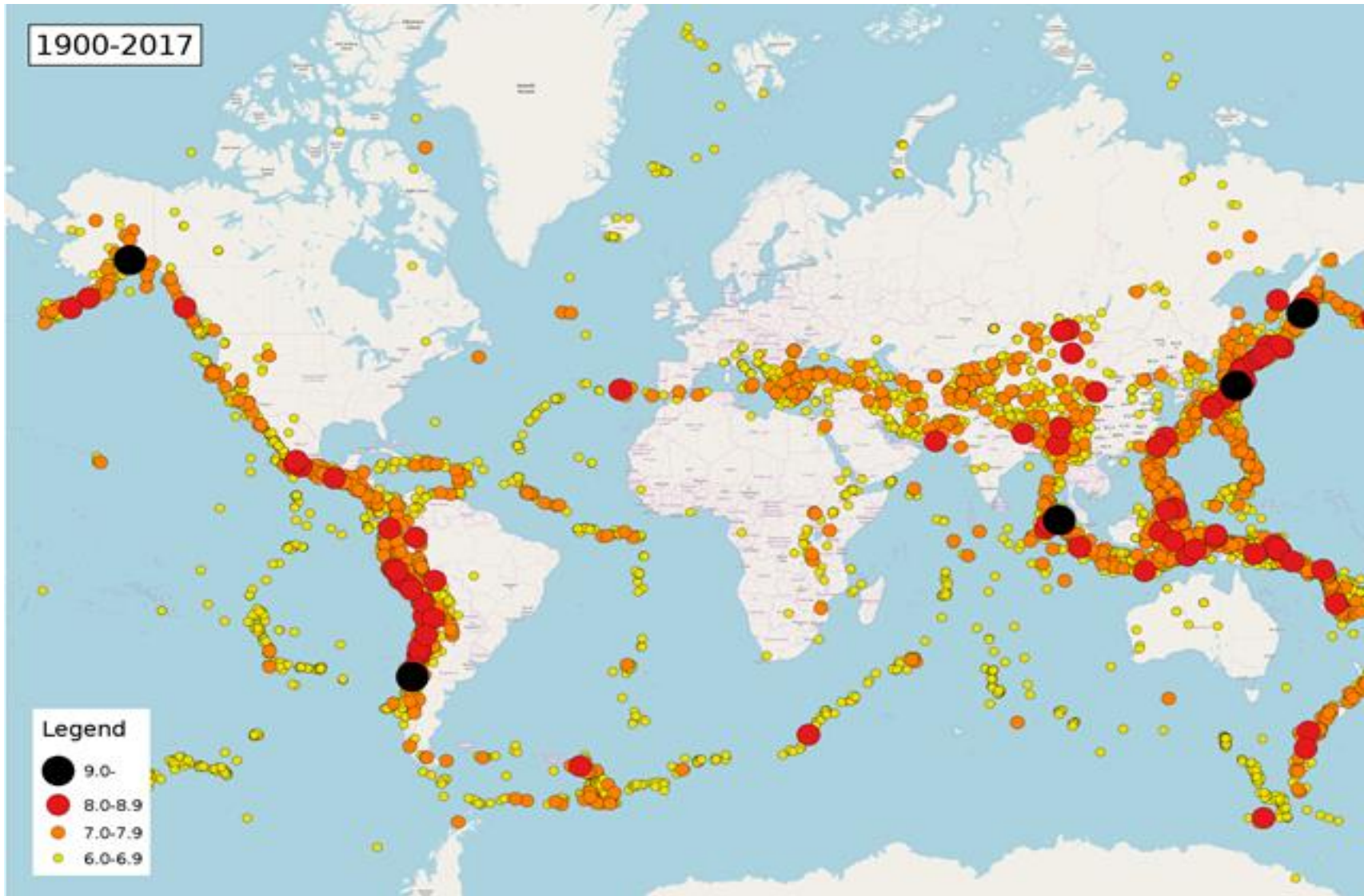


...a così!



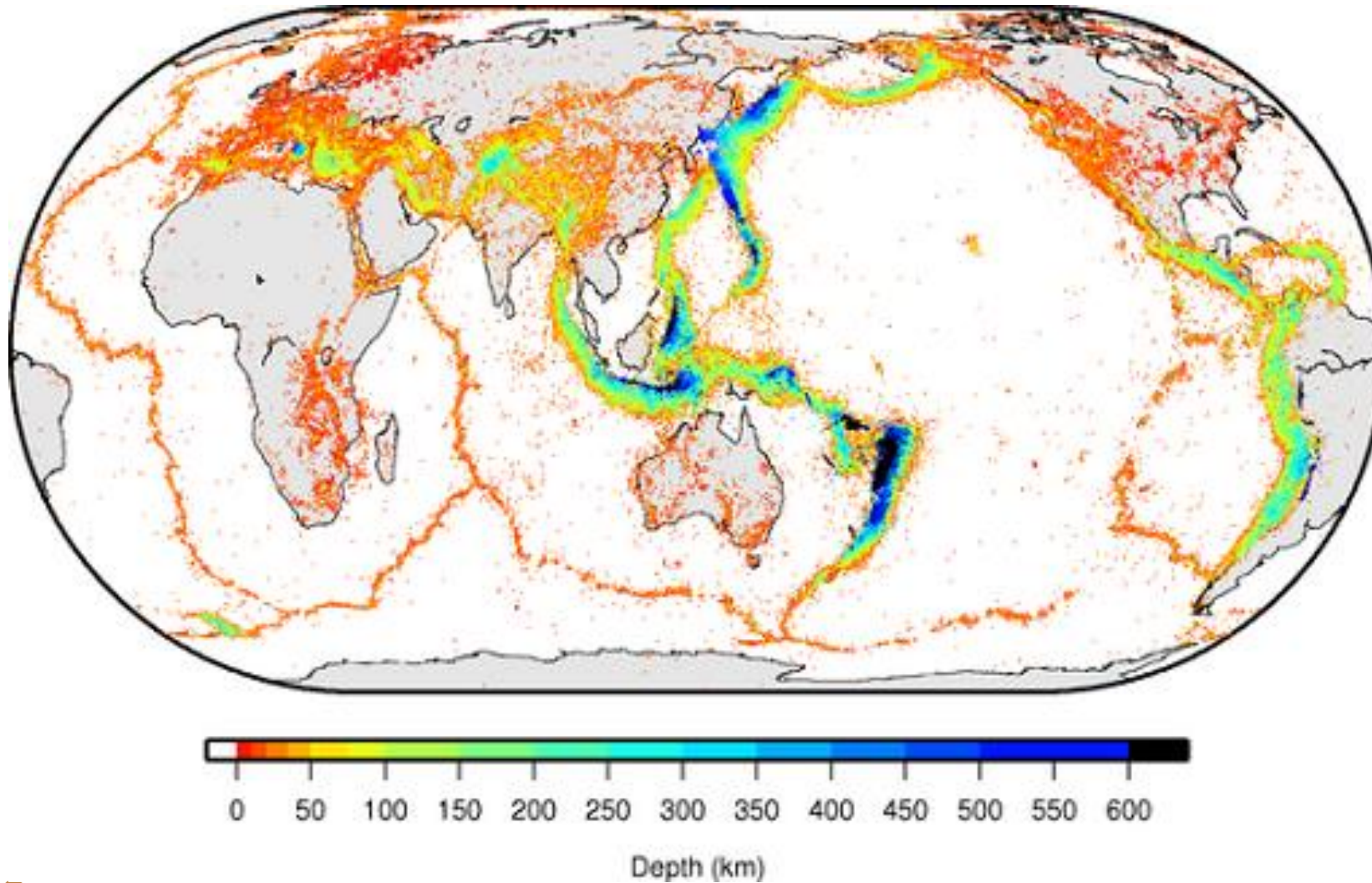


# I terremoti danno ulteriori informazioni



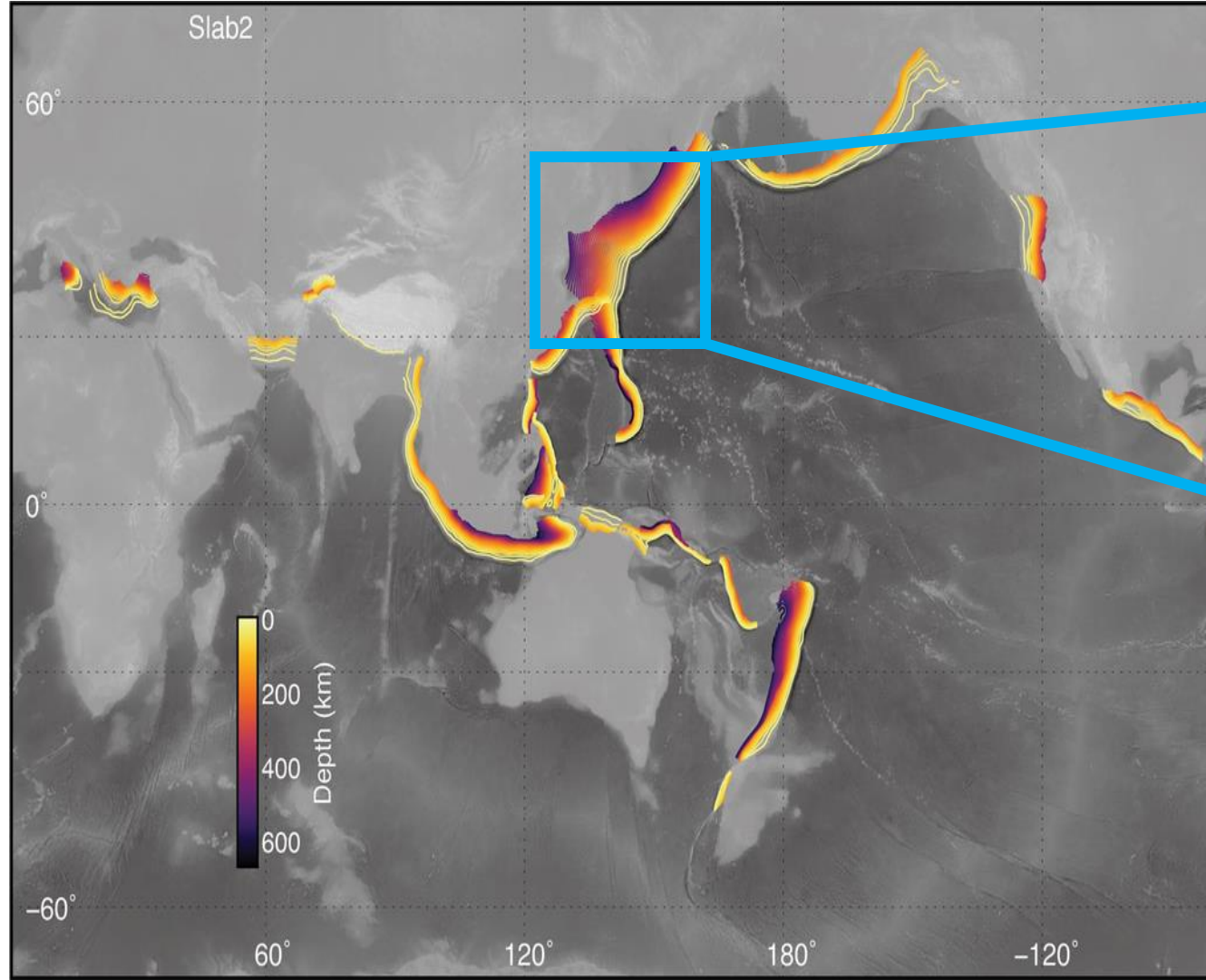


# I terremoti si sviluppano a profondità diverse, ma non «a caso»

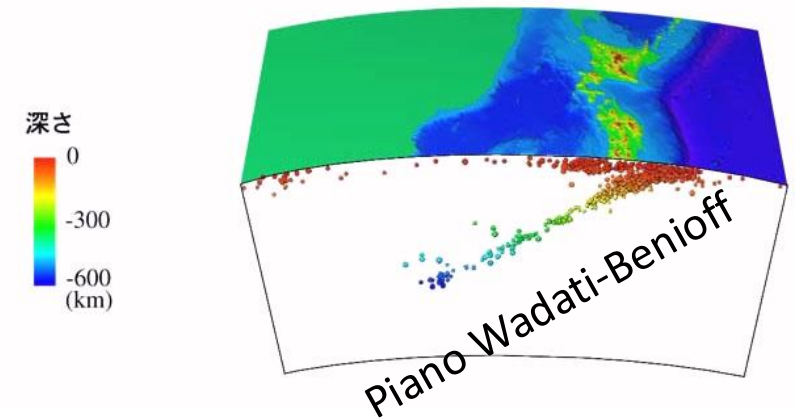
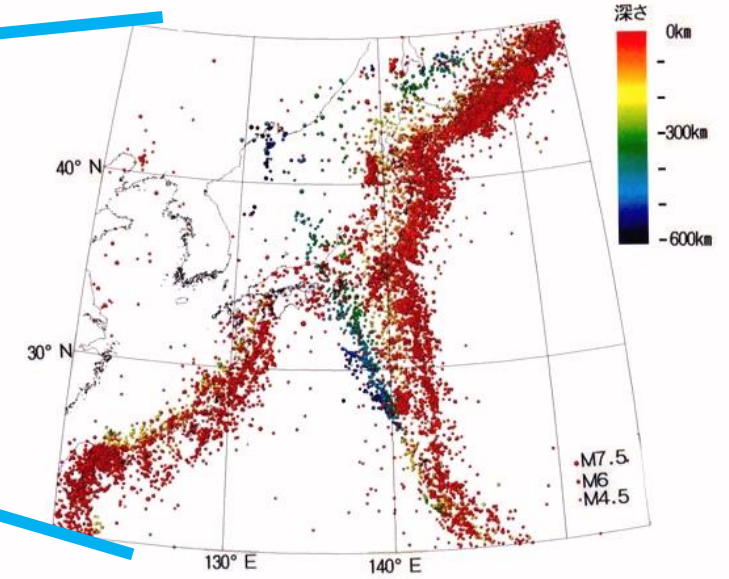




# I terremoti si sviluppano a profondità diverse, ma non «a caso»



*Hugo Benioff, 1949*



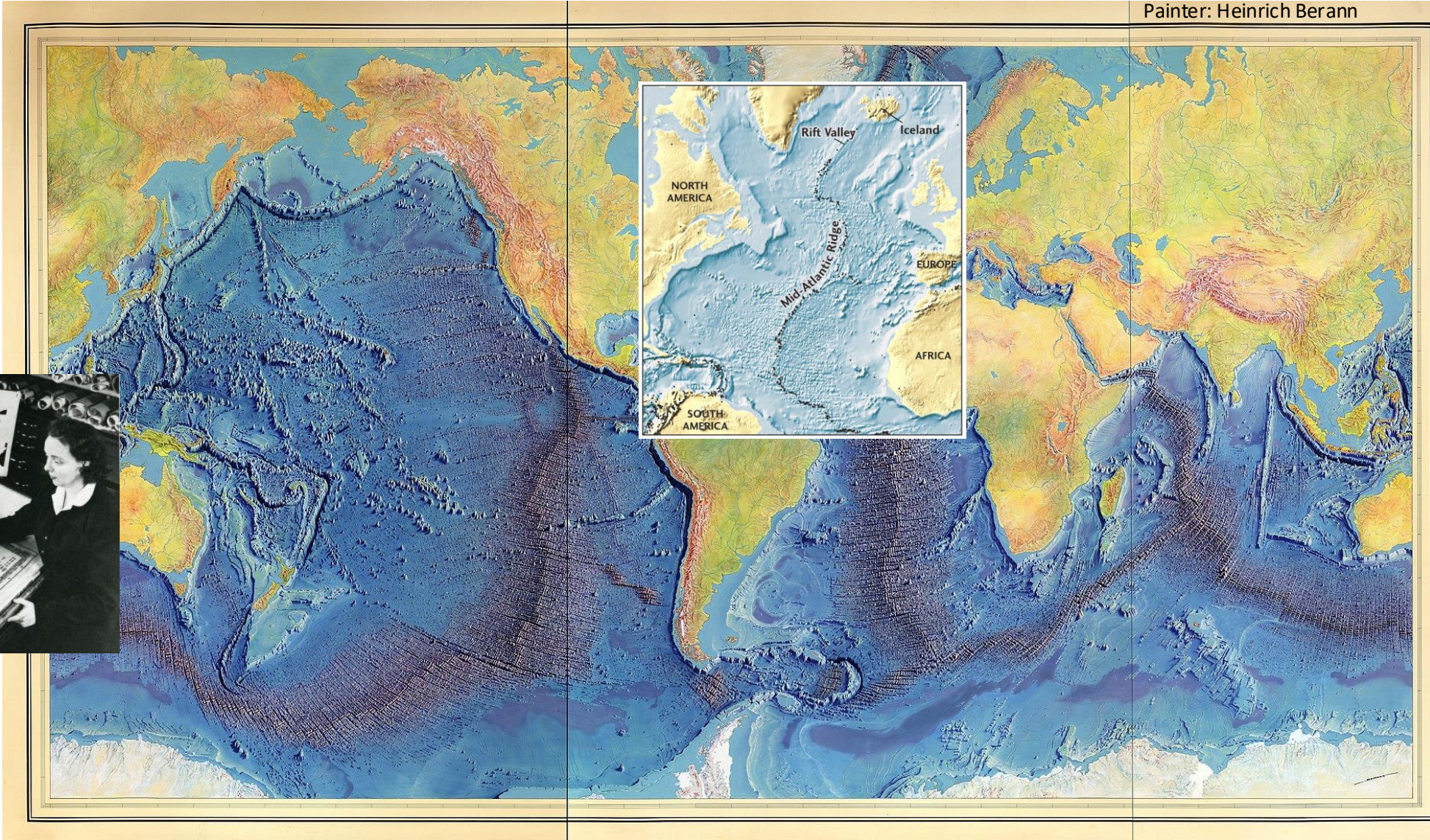


# La carta dei fondali oceanici

1872: scoperta  
della dorsale  
oceanica

1953: prima  
mappa dei fondali  
oceanici

Painter: Heinrich Berann



Marie Tharp evidenzia il  
legame tra dorsali  
oceaniche e terremoti

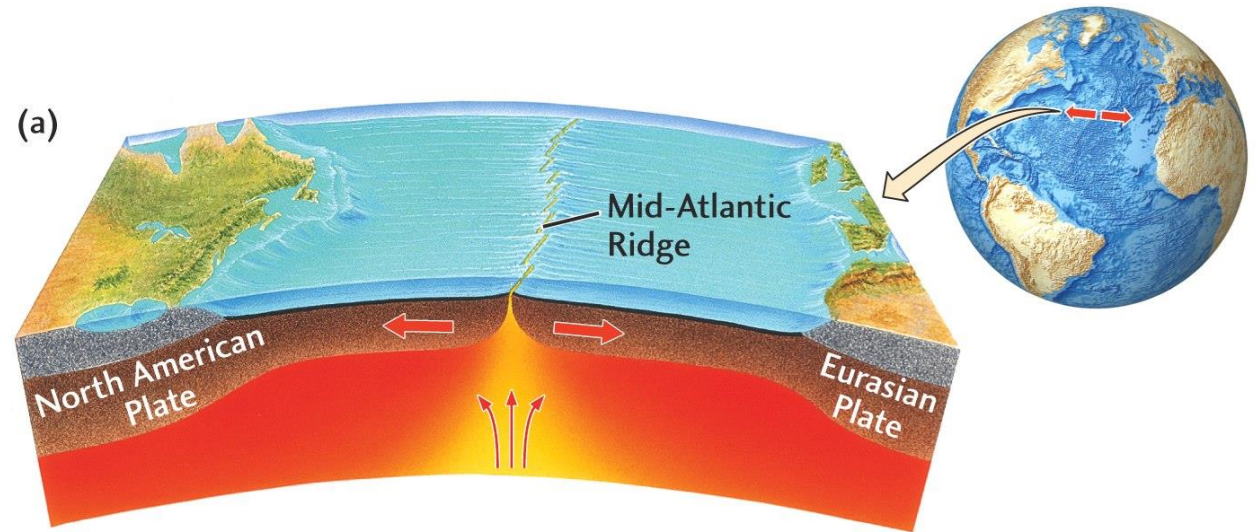


# Un geologo in guerra: Harry Hess e l'espansione delle dorsali oceaniche

Osservazioni: perché gli oceani hanno così pochi sedimenti antichi se avessero la stessa età dei continenti (4,5 miliardi di anni)? Perché sui fondali oceanici non ci sono sedimenti più vecchi di 180 milioni di anni?

I continenti non si spostano improvvisamente o si muovono in modo indipendente, ma sono «trasportati» passivamente dal movimento delle placche, «sprofondando» nelle fosse oceaniche. Ecco perché la crosta oceanica è molto più giovane dei continenti

1960-1962



«Tettonica delle zolle»: come nasce una teoria scientifica e perché possiamo crederci

Fabrizio Berra

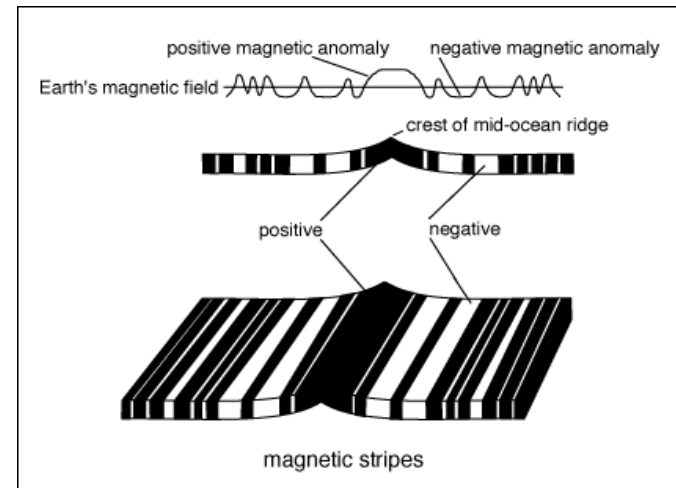


# Il paleomagnetismo e l'età degli oceani

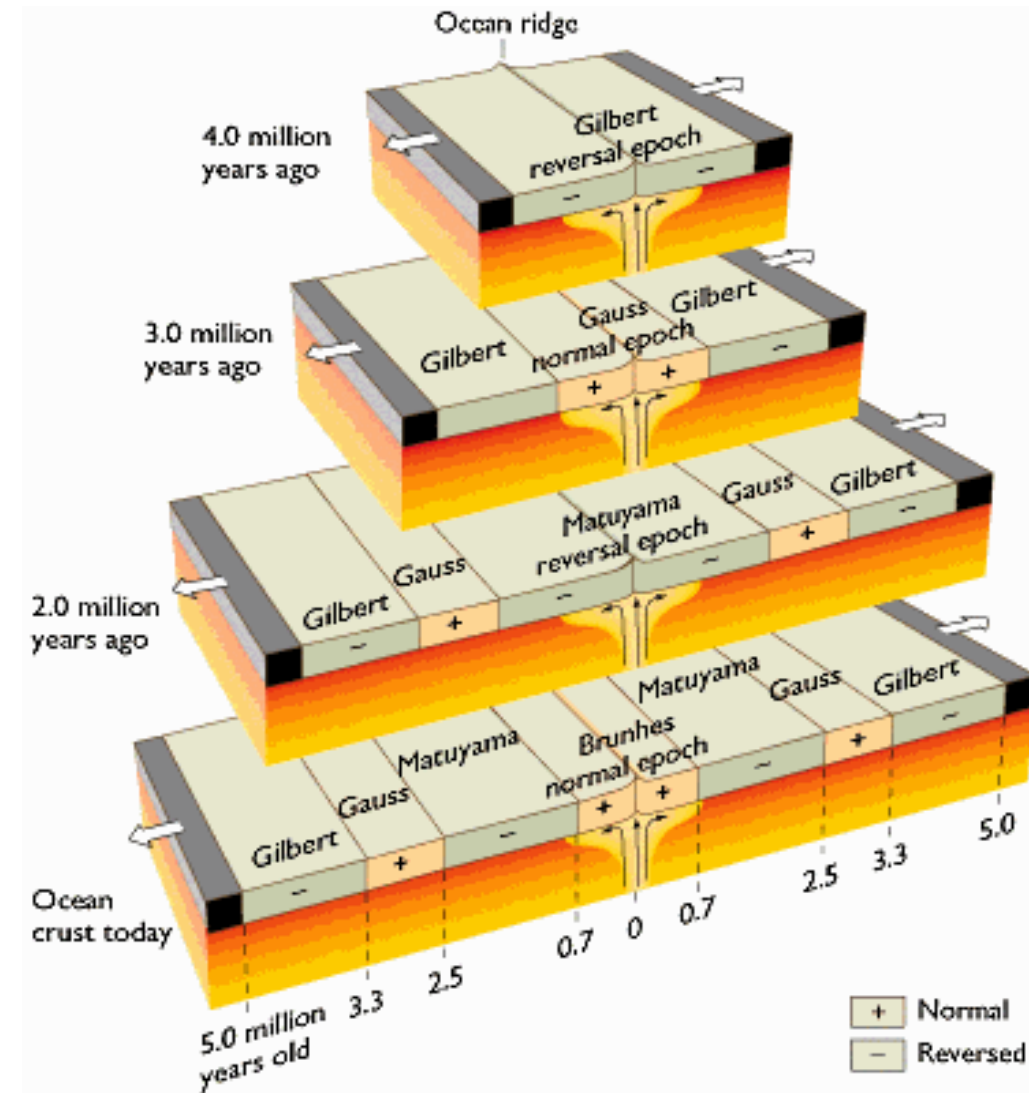
1963

## Vine–Matthews–Morley hypothesis

Frederick John Vine e  
Drummond Hoyle Matthews



Lawrence Whitaker Morley



APEI GEO

«Tettonica delle zolle»: come nasce una teoria scientifica e perché possiamo crederci

Fabrizio Berra

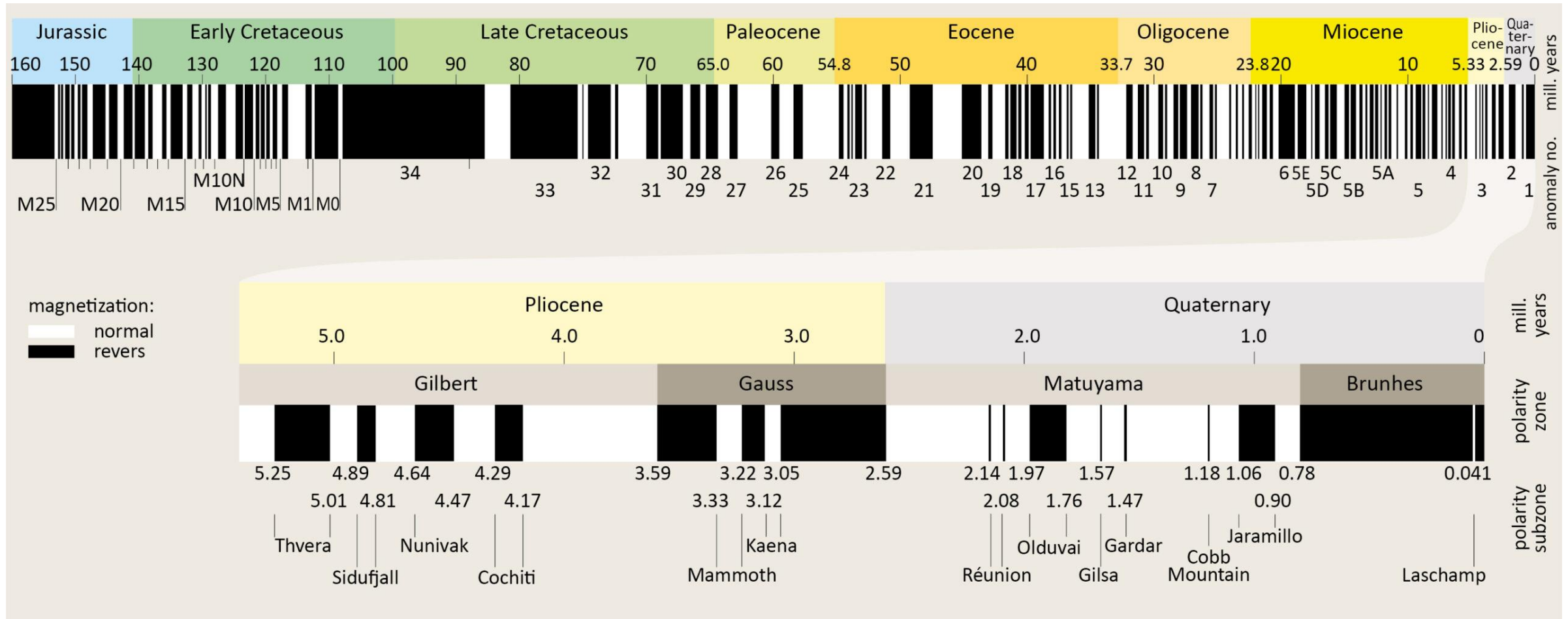


# Il «codice a barre» degli oceani

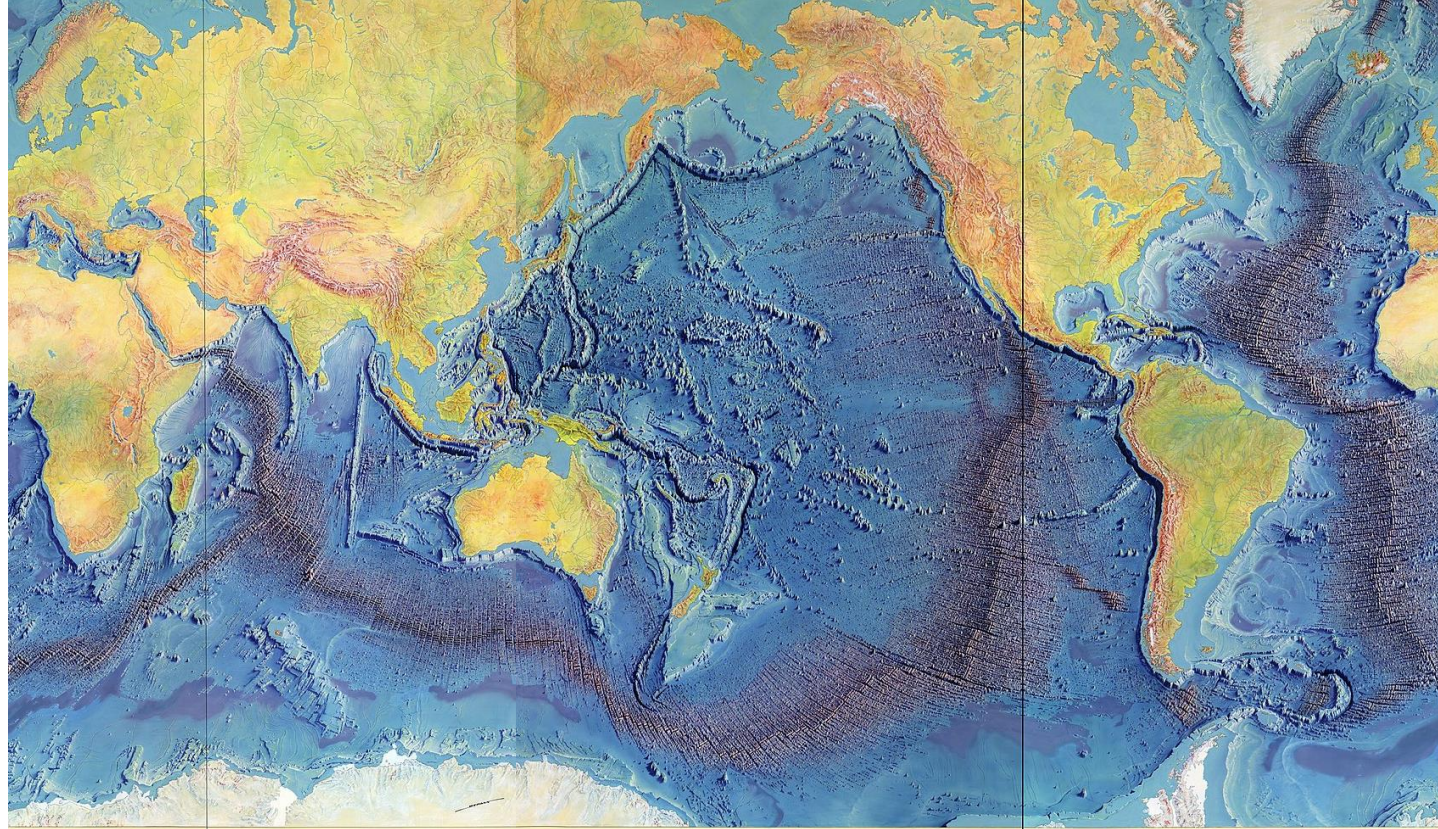




# Cosa possiamo capire dei fondali oceanici?

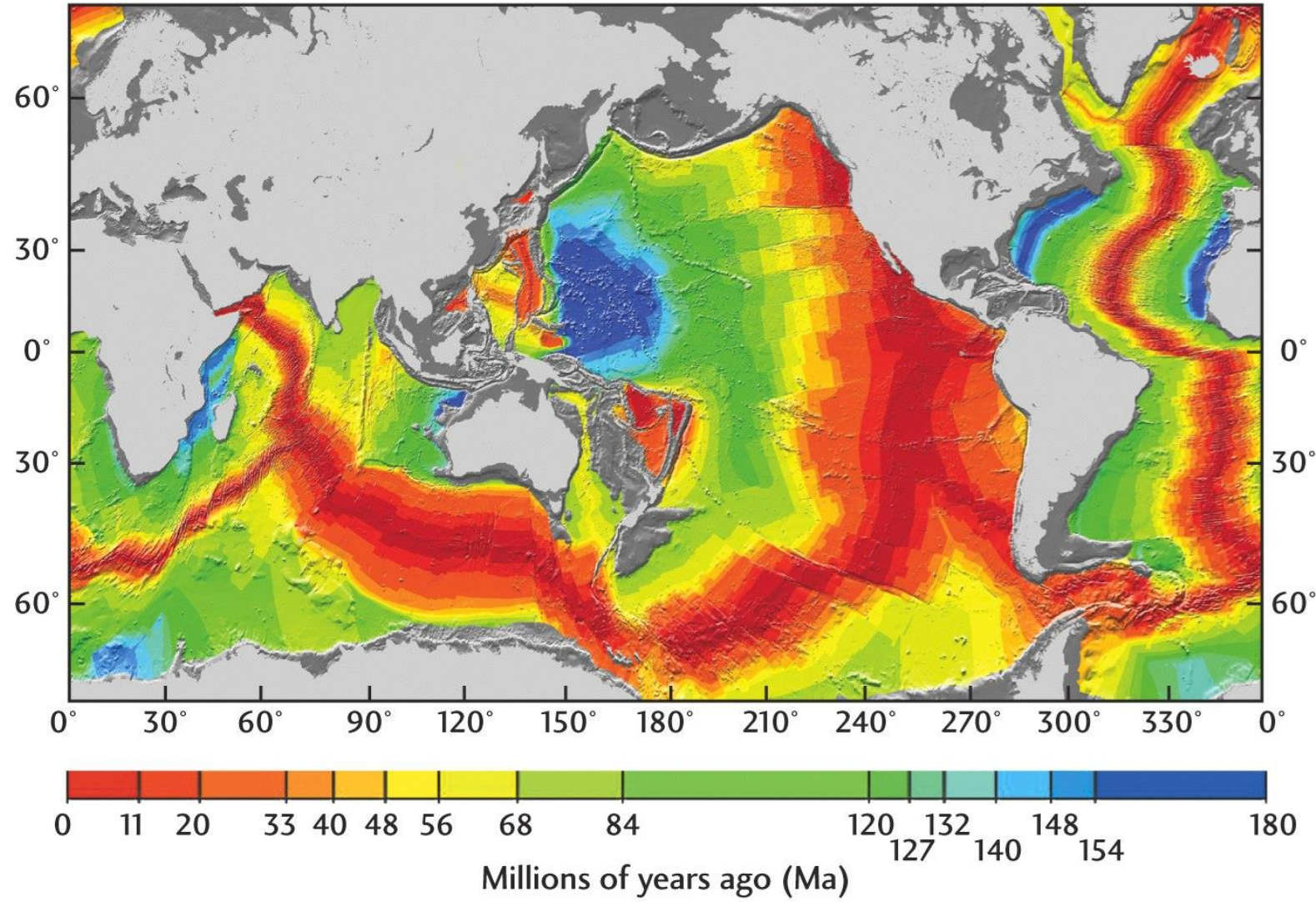


# Abbiamo uno strumento per mappare le età dei fondali oceanici!

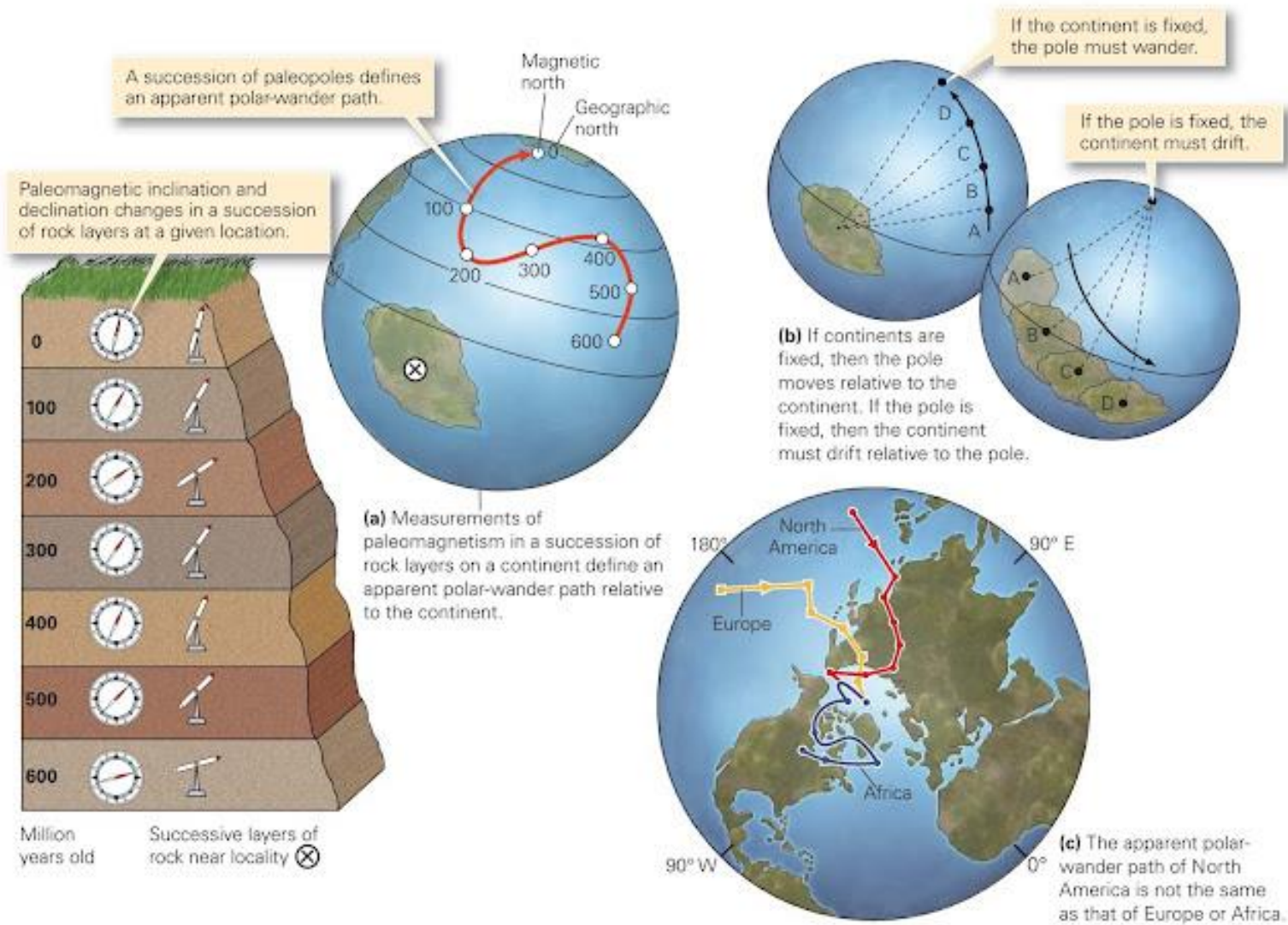




# Abbiamo uno strumento per mappare le età dei fondali oceanici!



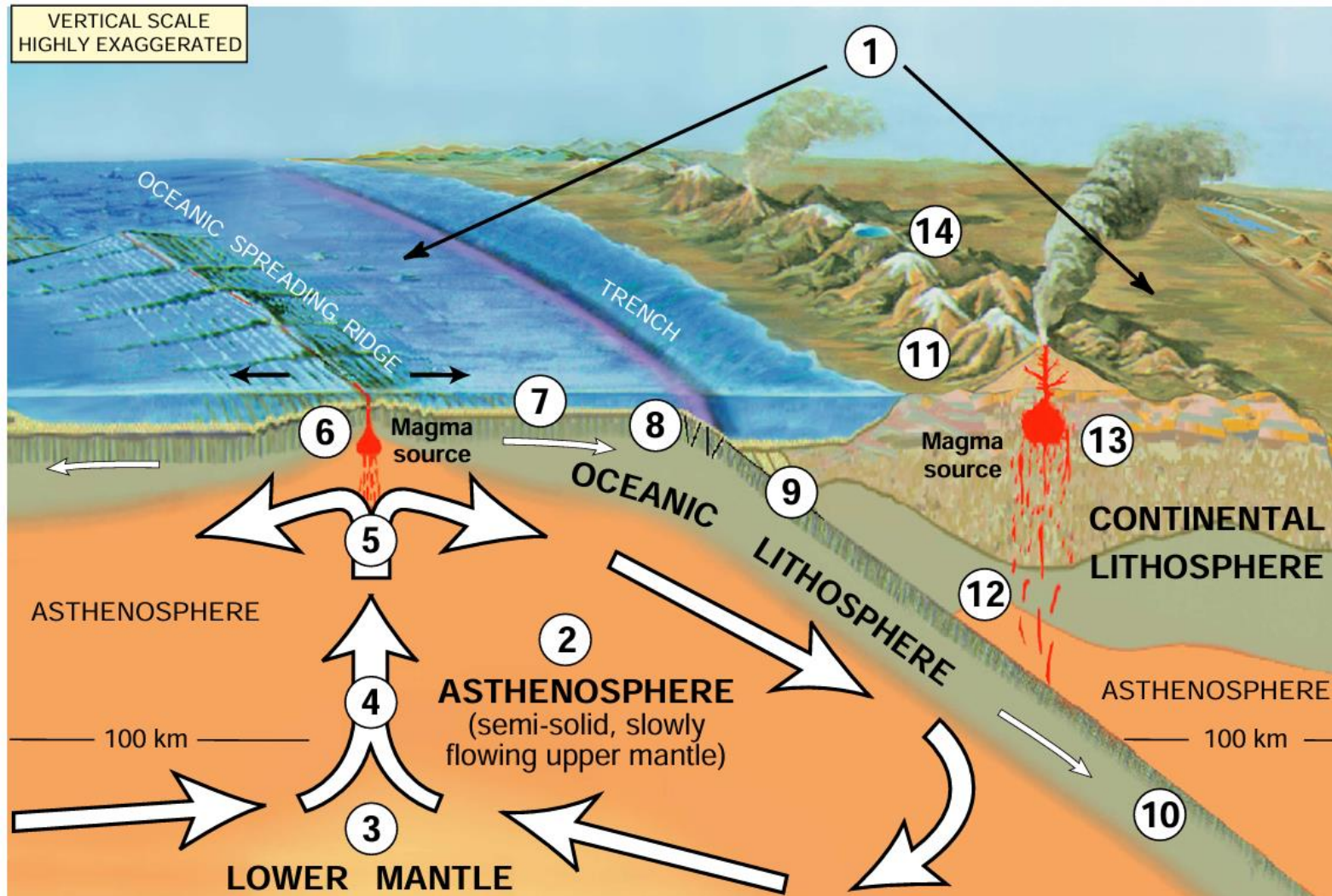
# Paleomagnetismo e migrazione dei poli: un altro elemento importante



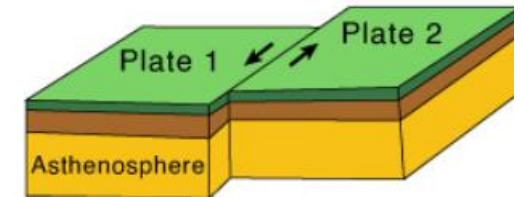


# Torniamo all'inizio: diventa una teoria credibile?

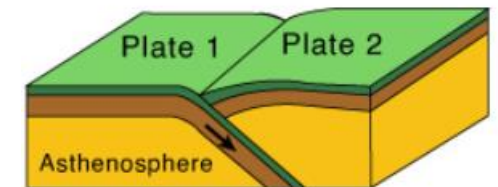
## Sì, se spiega le osservazioni



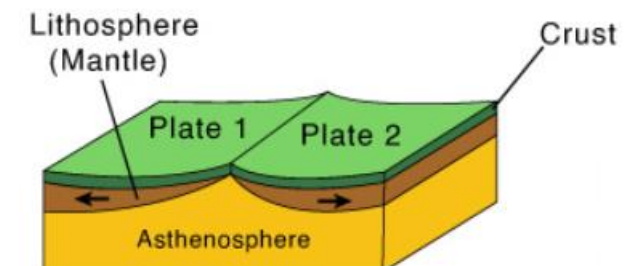
③ Transform  
Plate Boundary



② Convergent  
Plate Boundary



① Divergent  
Plate Boundary



## Due tipi di evidenze: 1) geologiche

- Complementarietà di alcuni limiti continentali.
- Somiglianze stratigrafiche e petrografiche tra continenti.
- Analogie paleontologiche su sponde lontane di continenti per intervalli di tempo definiti.
- Indicatori geologici di cambiamenti paleoclimatici nella storia della Terra che non possono essere spiegati da semplici tendenze al riscaldamento o al raffreddamento globale.
- Distribuzione definita di aree sismiche, vulcani, orogeni.



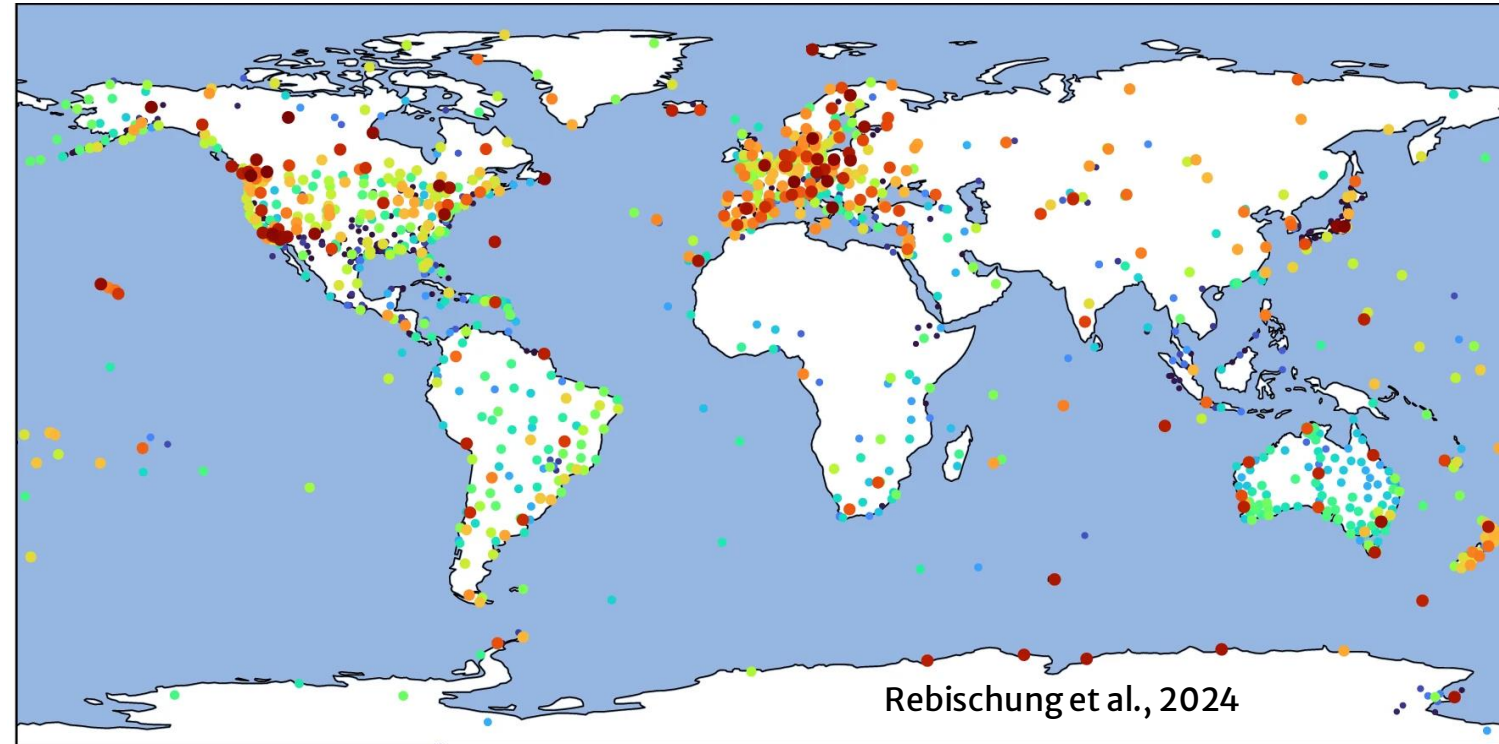
## Due tipi di evidenze: 2) geofisiche

- Dati paleomagnetici dimostrano percorsi divergenti di migrazione dei poli su diversi continenti
- Paleomagnetismo nella crosta oceanica conferma l'ipotesi dell'espansione dei fondali oceanici
- Risoluzione dei meccanismi focali dei terremoti identifica piani di subduzione
- Movimenti delle placche spiegabili con rotazioni rigide attorno a poli fissi.

# Basi solide per una teoria importante...

L'abbondanza di dati diversi e integrabili limita la libertà di speculazione perché le teorie hanno condizioni più limitanti da rispettare

Stazioni GPS



Time series length [yr]



# Basi solide per una teoria importante...

L'abbondanza di dati diversi e integrabili limita la libertà di speculazione perché le teorie hanno condizioni più limitanti da rispettare

TEORIA:  
insieme di norme e  
precetti che servono di  
guida alla pratica  
(Garzanti)



▲▲▲ Convergent boundary    — Ridge    — Transform    ← Absolute plate motions    ↔ Relative plate motions (5.5 cm per year)

**«Tettonica delle zolle»: come nasce una teoria scientifica e perché possiamo crederci**

**Fabrizio Berra**

## ...e utile!

La geologia nasce dalla puntiforme osservazione delle rocce, con un metodo analitico-descrittivo, alla ricerca per via induttiva di possibili esplicazioni.

*«Un Géologue est essentiellement un lithoclaste, ou rompeur de pierre, et à peine résiste-t-il au plaisir d'écorner les monuments des arts pour mieux déterminer la nature des substances dont ils sont faits» Déodat de Dolomieu, 1794*

Ma la geologia si «nutre» di tutte le discipline scientifiche piegandole ai propri bisogni: è una scienza giovane, che si è evoluta in fretta e ha imparato tanto.

*«La geologia è una grande applicazione di tutte le scienze fisiche, naturali e matematiche» Antonio Stoppani, 1862*

Lo sviluppo della geologia ha cambiato il suo ruolo e funzione: la geologia si è trasformata da una scienza esplicativa ad una scienze predittiva, con un ruolo fondamentale ma ancora trascurato per la vita di tutti i giorni.

*«La geologia!... I più credono ancora consista la scienza del geologo nel saper distinguere le diverse pietre... Eppure io credo prossimo il giorno in cui sarà vergogna di ignorare i principi della geologia, come lo è al presente, per qualunque persona colta, l'essere digiuno degli elementi della geografia e della storia» Antonio Stoppani, 1871*

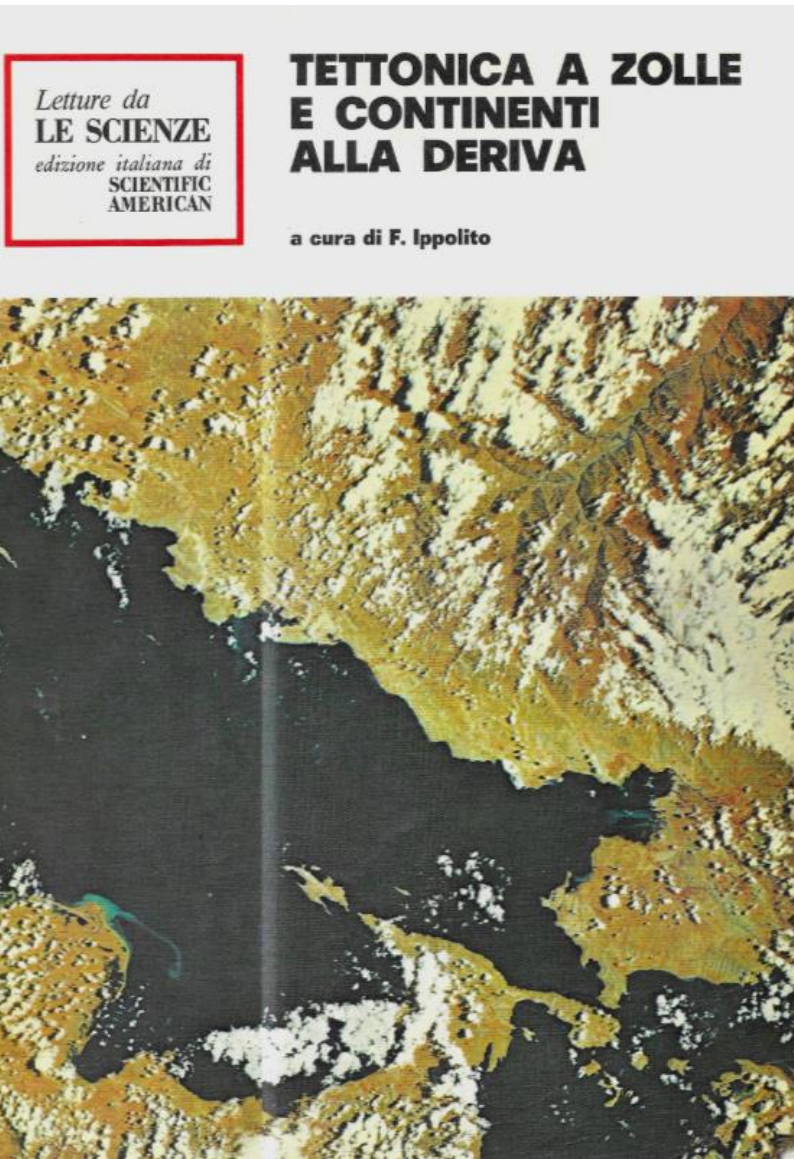


**«Tettonica delle zolle»: come nasce una teoria scientifica e perché possiamo crederci**  
**Fabrizio Berra**



# In sintesi

- 1596 Prima ipotesi sul fatto che i continenti siano mobili
- 1858 Prime correlazione di rocce e fossili simili in continenti diversi
- 1872 Primo riconoscimento della dorsale Medio Atlantica
- 1896 Scoperta della radioattività (l'interno della Terra è caldo)
- 1897–1911 Prime ipotesi sulla struttura interna della Terra
- 1906 Richard Oldham riconosce lo stato liquido del nucleo esterno
- 1912-1929 Alfred Wegner propone la migrazione dei continenti
- 1929 Arthur Holmes suggerisce la convezione come meccanismo per lo spostamento dei continenti
- 1949 Hugo Benioff interpreta la distribuzione in profondità dei terremoti (ispirato da Kiyoo Wadati, 1935)
- 1953 Marie Tharp riconosce le valli assiali delle dorsali oceaniche
- 1962 Harry Hess ipotizza l'espansione delle dorsali oceaniche
- 1963 Vine e Matthews spiegano le anomalie magnetiche dei fondali oceanici
- 1970 Maturazione della teoria della Tettonica delle Placche**

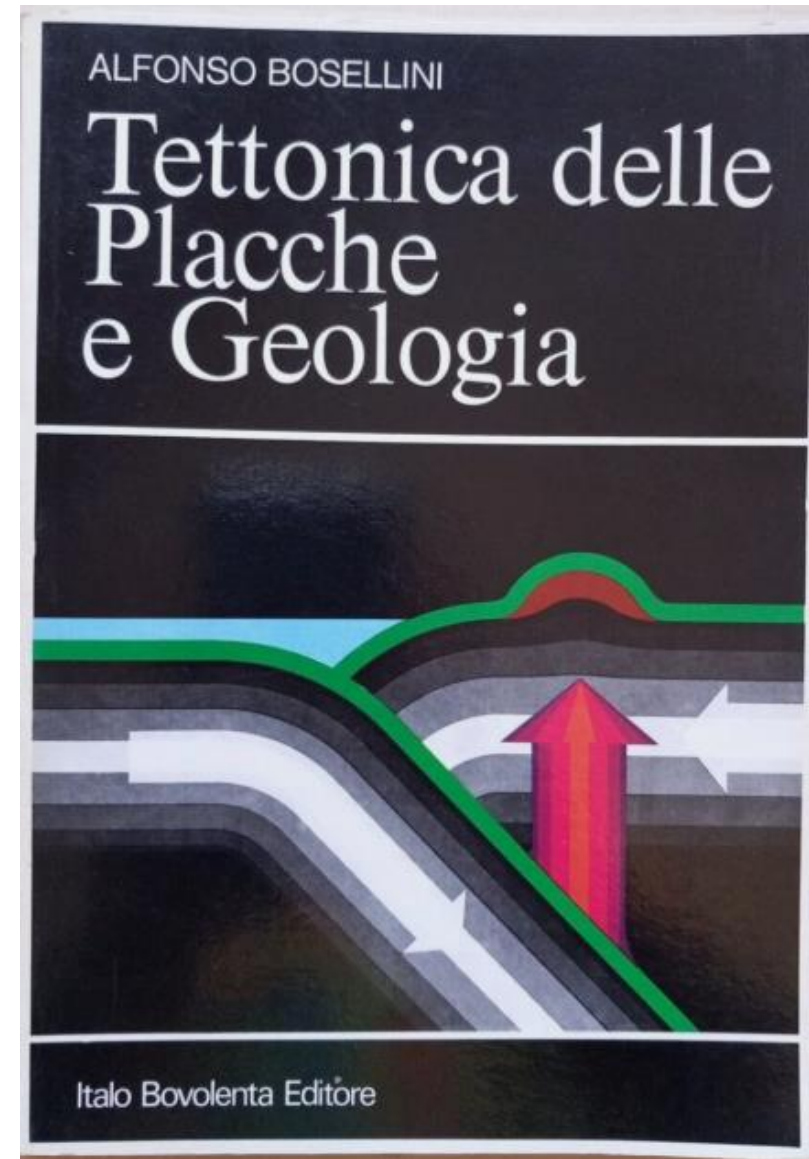


1974



**Come tradurre in  
italiano  
"plate tectonics"?**

**Placche o zolle?  
"a" o "delle"?**



1978

**«Tettonica delle zolle»: come nasce una teoria scientifica e perché possiamo crederci**

**Fabrizio Berra**

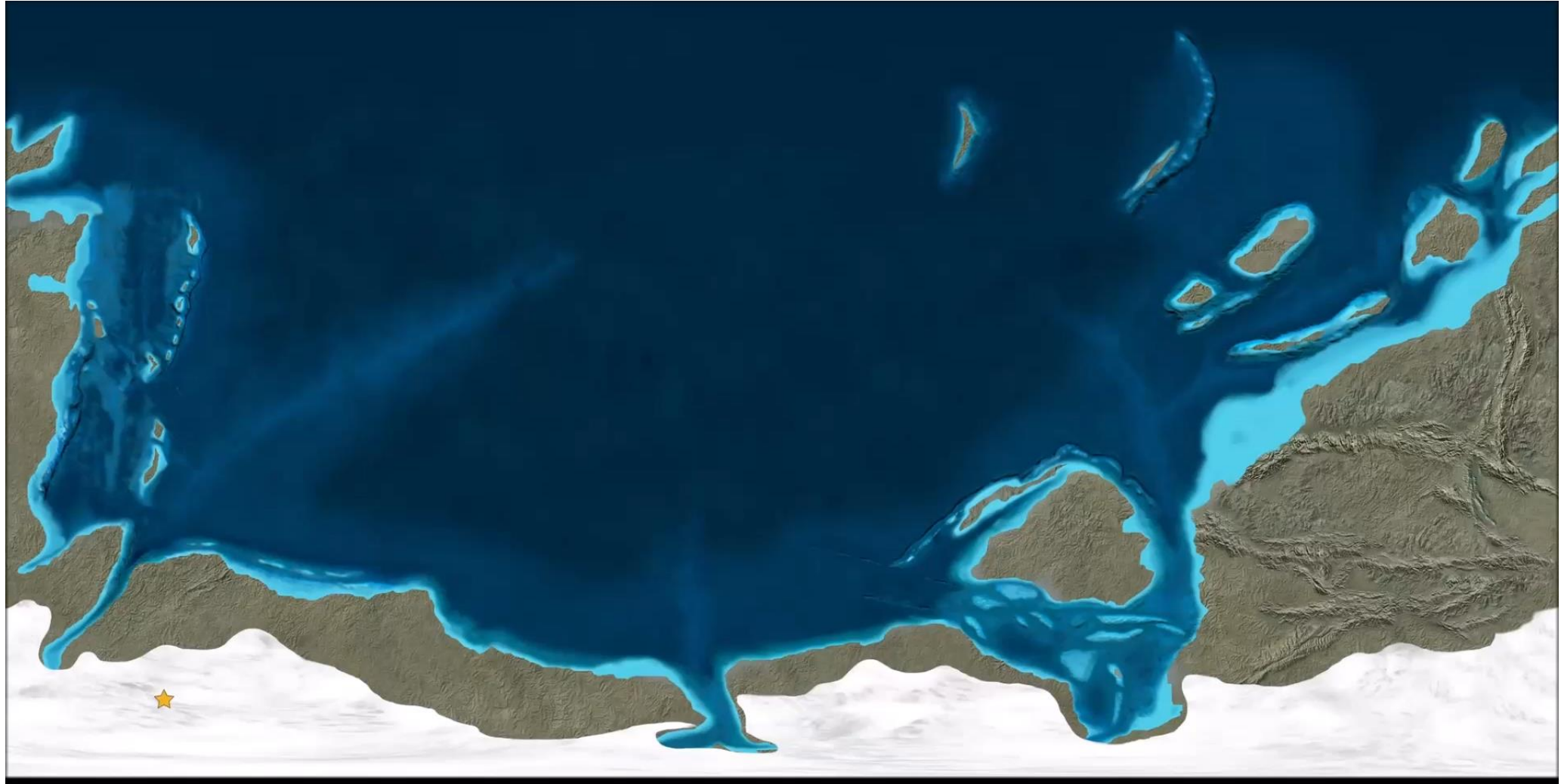


# Come si evolvono le scienze: un insegnamento dalla geologia

- Concezione tradizionale: «**scienza**» intesa come «**accumulazione progressiva e lineare** di nuove acquisizioni».
- La scienza sarebbe sarebbe costituita anche da **momenti rivoluzionari**, caratterizzati da cambi del modello di riferimento o paradigma  
(Thomas Kuhn "La struttura delle rivoluzioni scientifiche", 1962)
- Paradigma: I) indirizza la ricerca sui fatti rilevanti da studiare; II) Porta alla formulazione di ipotesi che spieghino i fenomeni; III) Porta alla individuazione delle tecniche di ricerca più adeguate
- Importanza dello sviluppo tecnologico!

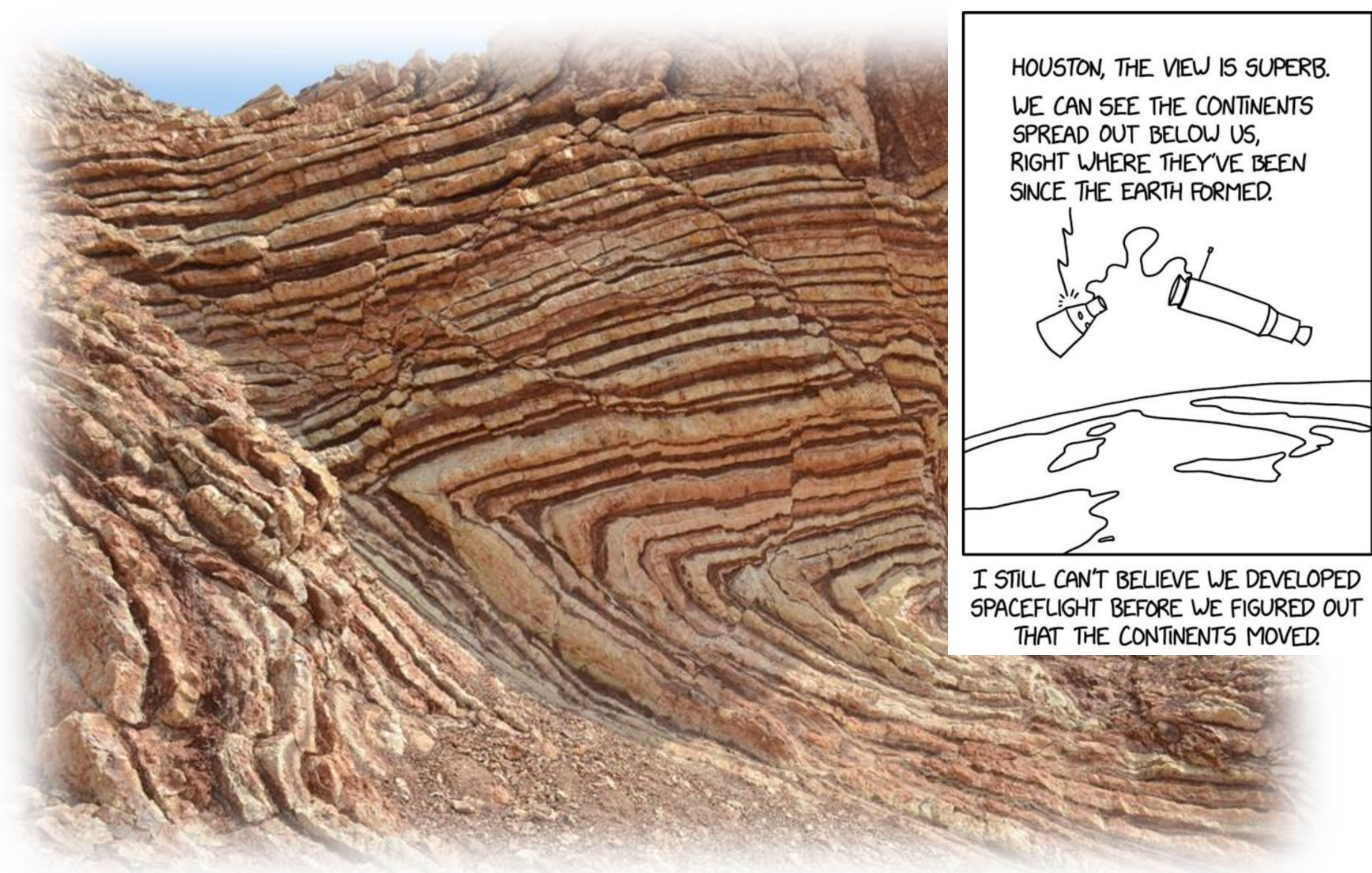
# E (quasi) tutto ha un senso

Carte paleogeografiche <https://deeptimemaps.com/>

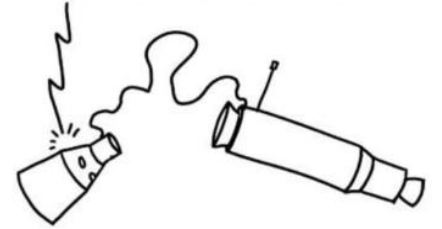




## Torniamo all'inizio...



HOUSTON, THE VIEW IS SUPERB.  
WE CAN SEE THE CONTINENTS  
SPREAD OUT BELOW US,  
RIGHT WHERE THEY'VE BEEN  
SINCE THE EARTH FORMED.



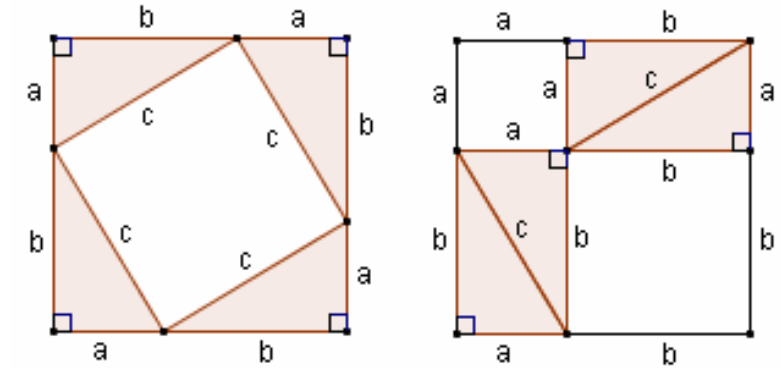
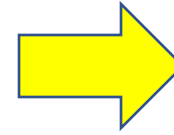
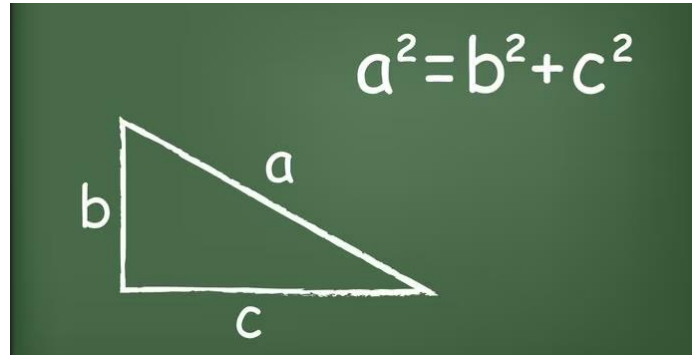
I STILL CAN'T BELIEVE WE DEVELOPED  
SPACEFLIGHT BEFORE WE FIGURED OUT  
THAT THE CONTINENTS MOVED.



# Qualche considerazione finale

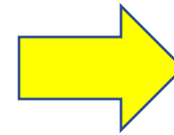
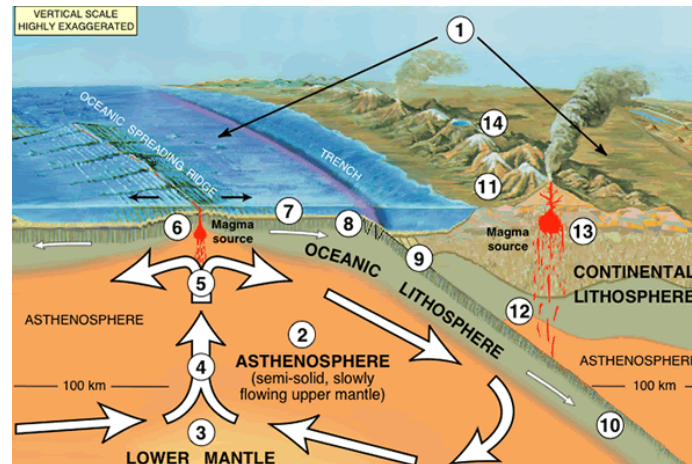
## Teorema

Definito una volta per tutte...



## Teoria

Modello in evoluzione attorno a concetti di base acquisiti





# Un pensiero a questi pionieri della Tettonica delle Placche

È grazie alla curiosità e visione di chi ha avuto la consapevolezza di anteporre la forza dei dati al pensiero comune che oggi abbiamo uno strumento per comprendere la distribuzione delle risorse naturali, capire i rischi e fare previsioni sul futuro prossimo di un pianeta in perenne cambiamento e abitato da una specie particolarmente infestante...

*«Una volta eliminato l'impossibile ciò che rimane, per quanto improbabile, dev'essere la verità»*

Sherlock Holmes

*«Nella scienza abbiamo soprattutto bisogno di immaginazione. Non tutto è matematica, non tutto è logica, ma è piuttosto poesia e bellezza»*

Maria Montessori



# Per approfondire...

La geografia della Terra nel tempo geologico: <http://www.scotese.com/climate.htm>

Capire il passato della Terra: <https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/D8JW8CMM>

Leggere la tettonica globale del pianeta, esplorando continenti e oceani <https://www.geomapapp.org/>

Materiale didattico per insegnanti (USGS): <https://volcanoes.usgs.gov/about/edu/dynamicplanet/>



Un saggio alla portata di tutti per scoprire come funziona la Terra e come la geologia ci svela i suoi segreti ([on-line e nelle librerie](#))

[Qui trovate una pagina per la didattica delle Scienze della Terra](#)

[Qui trovate materiale per attività pratiche in aula](#)

<https://science4earth.unimi.it/>

