



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# Fisica Terrestre

Tettonica delle placche

Stefano parolai- [stefano.parolai@units.it](mailto:stefano.parolai@units.it)

# Argomenti del corso

Il corso è suddiviso in diverse unità didattiche.

In particolare:

- Introduzione alla materia (docente: Prof. S. Parolai)
- Teoria delle placche (docente: Prof. S. Parolai)
  - Esercitazioni in aula (docente: Prof. S. Parolai)
- Terremoti (docente: Prof. G. Costa)
  - Matrici (docente: Prof. G. Costa)
  - Equazioni del moto armonico e teoria delle onde (docente: Prof. G. Costa)
  - Esercitazioni in aula (docente: Prof. G. Costa)
- Gravimetria (docente: Prof. G. Costa)
- Magnetismo (docente: Prof. S. Parolai)
- Geotermia (docente: Prof. S. Parolai)

# Indice

- Tettonica delle placche: cosa è?
- Tettonica delle placche: struttura interna della Terra
- Tettonica della placche: quando nasce?
- Tettonica delle placche: cosa dice?
- Terronica delle placche: il territorio italiano
- Tettonica delle placche: calcolo dei movimenti reciproci delle placche e diagrammi di velocità

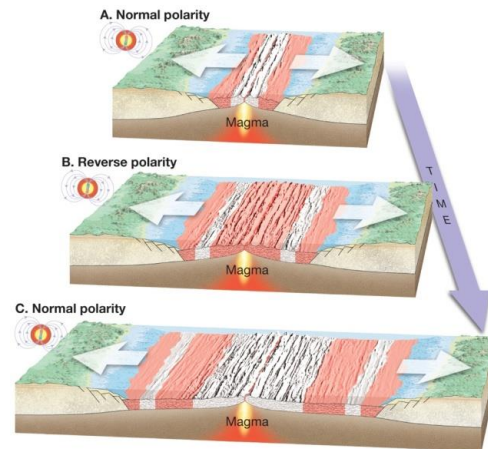
# Tettonica delle placche: cosa è?



# Tettonica delle placche: cosa è?

Le discipline della geofisica che si occupano della componente solida del globo sono:

Tettonofisica e geodinamica



**Tettonica: Studio delle forze all'interno della terra** che danno luogo ai **continenti**, ai **fondali oceanici**, alle **catene montuose**, ai **terremoti** e alla loro distribuzione, e ad altri fenomeni superficiali a grande scala

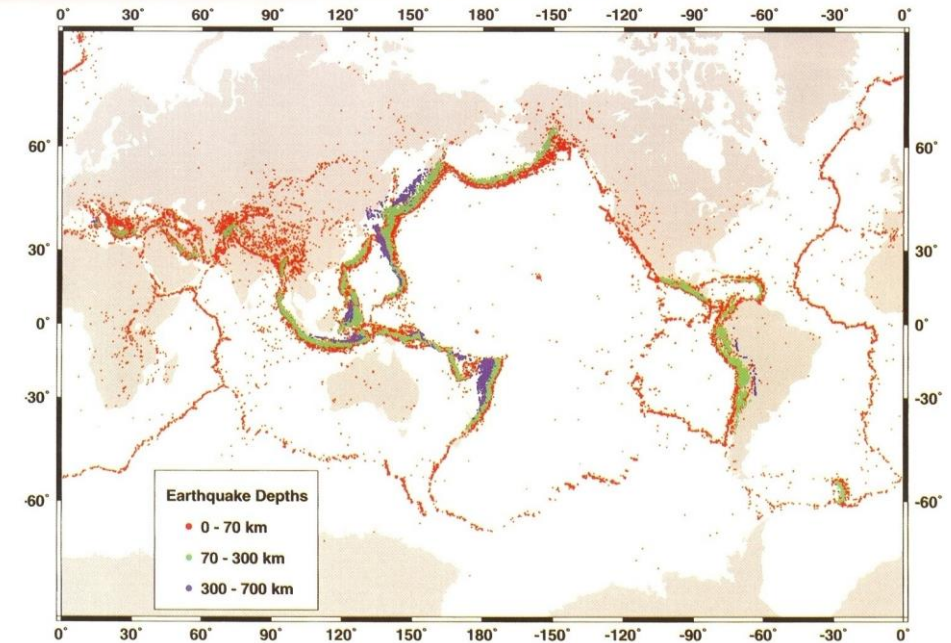
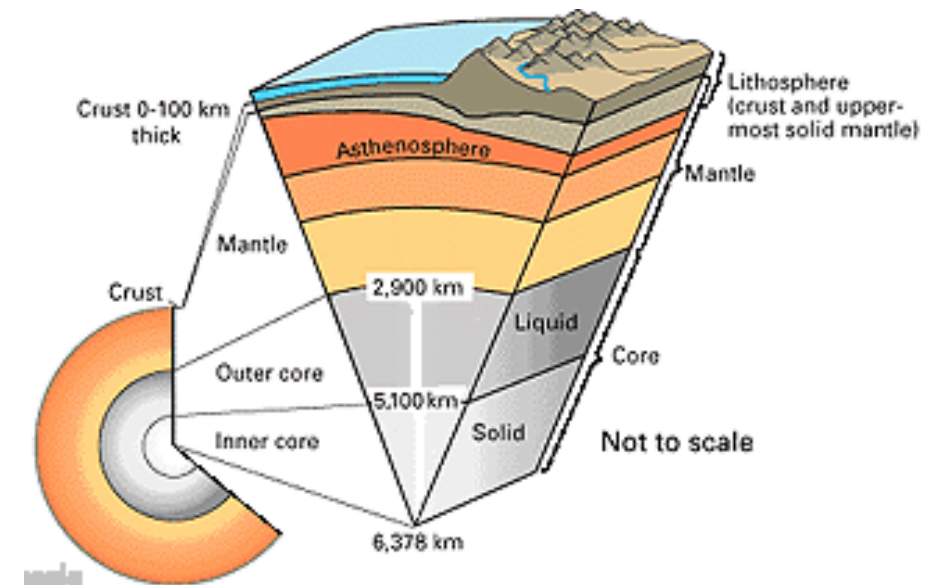


Figure 2.2. The global distribution of both shallow and deep seismicity for well-located earthquakes with magnitude > 5.1. The shallow seismicity closely delineates plate boundaries. Based on Engdahl et al. (1998).

# Tettonica delle placche: cosa è?

La terra, da un punto di vista della composizione chimica è costituita da tre strati visti come gusci concentrici: **crosta, mantello e nucleo**, mentre dal punto di vista della reologia abbiamo **litosfera, astenosfera e mesosfera**

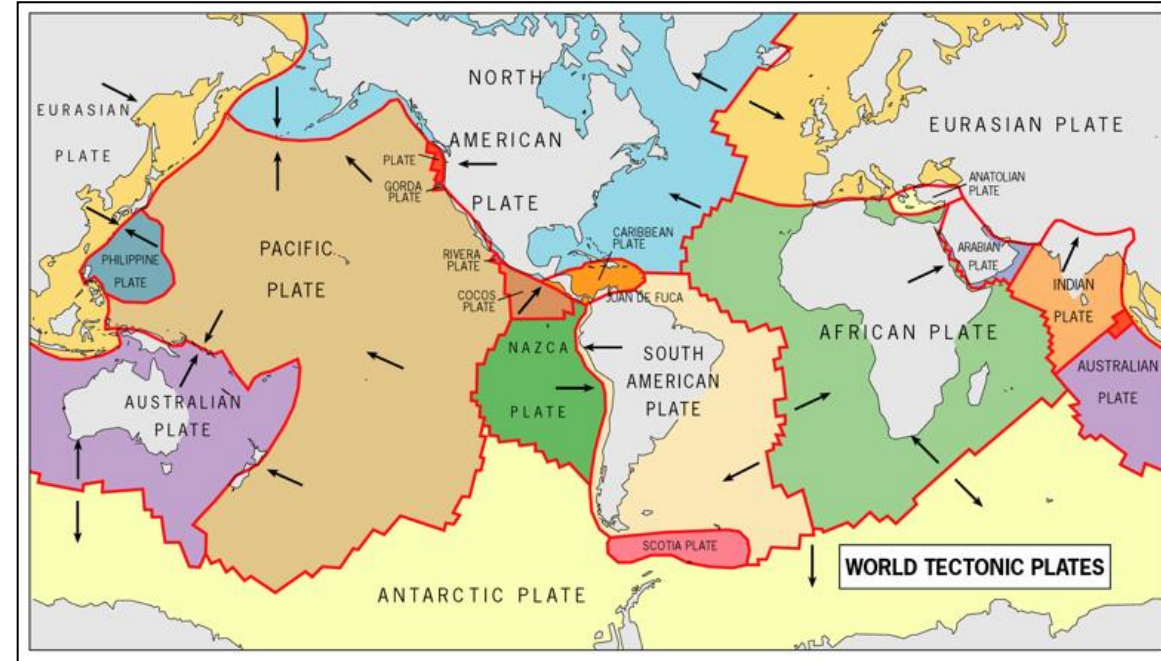


# Tettonica delle placche: cosa dice?

La terra, da un punto di vista della composizione chimica è costituita da tre strati visti come gusci concentrici: **crosta, mantello e nucleo**, mentre dal punto di vista della reologia abbiamo **litosfera, astenosfera e mesosfera**

**Nuovo materiale si crea** in corrispondenza delle dorsali medio oceaniche e forma placche rigide. L'area della superficie della terra rimane costante quindi l'espansione dei fondali oceanici deve essere **bilanciata da un riassorbimento di materia**

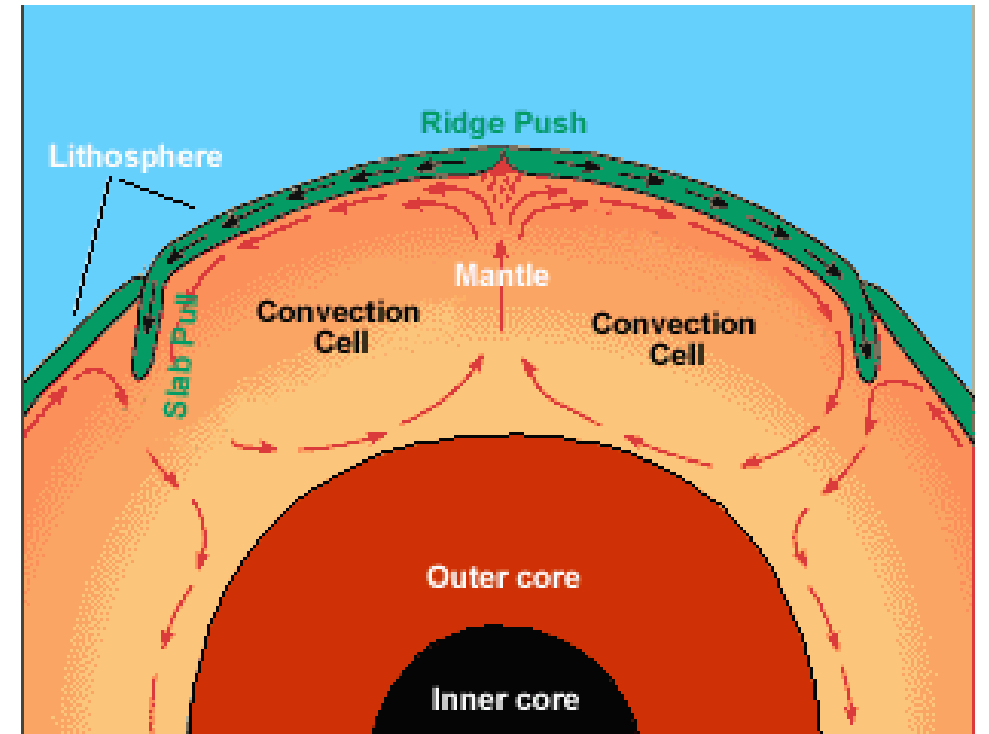
La litosfera è divisa in porzioni rigide (quelle di maggiori dimensioni sono una dozzina, ma ne esistono molte altre di più piccole dimensioni) dette **placche** che “galleggiano” sull'astenosfera



# Tettonica delle placche: cosa dice?

I **movimento** relativi tra le placche avvengono solamente **lungo i bordi**

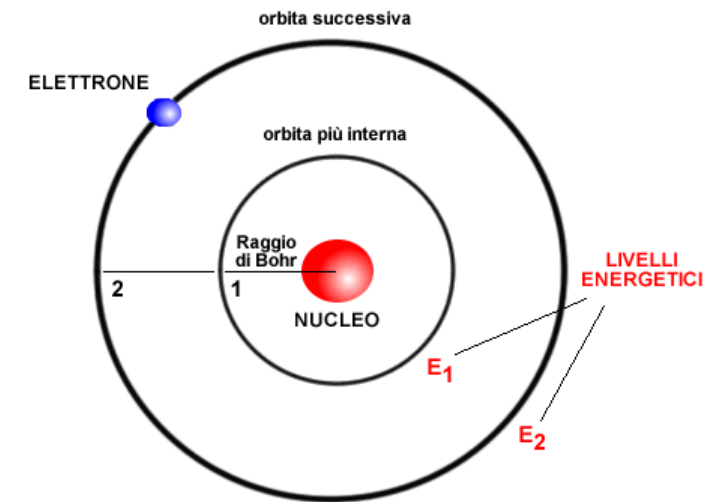
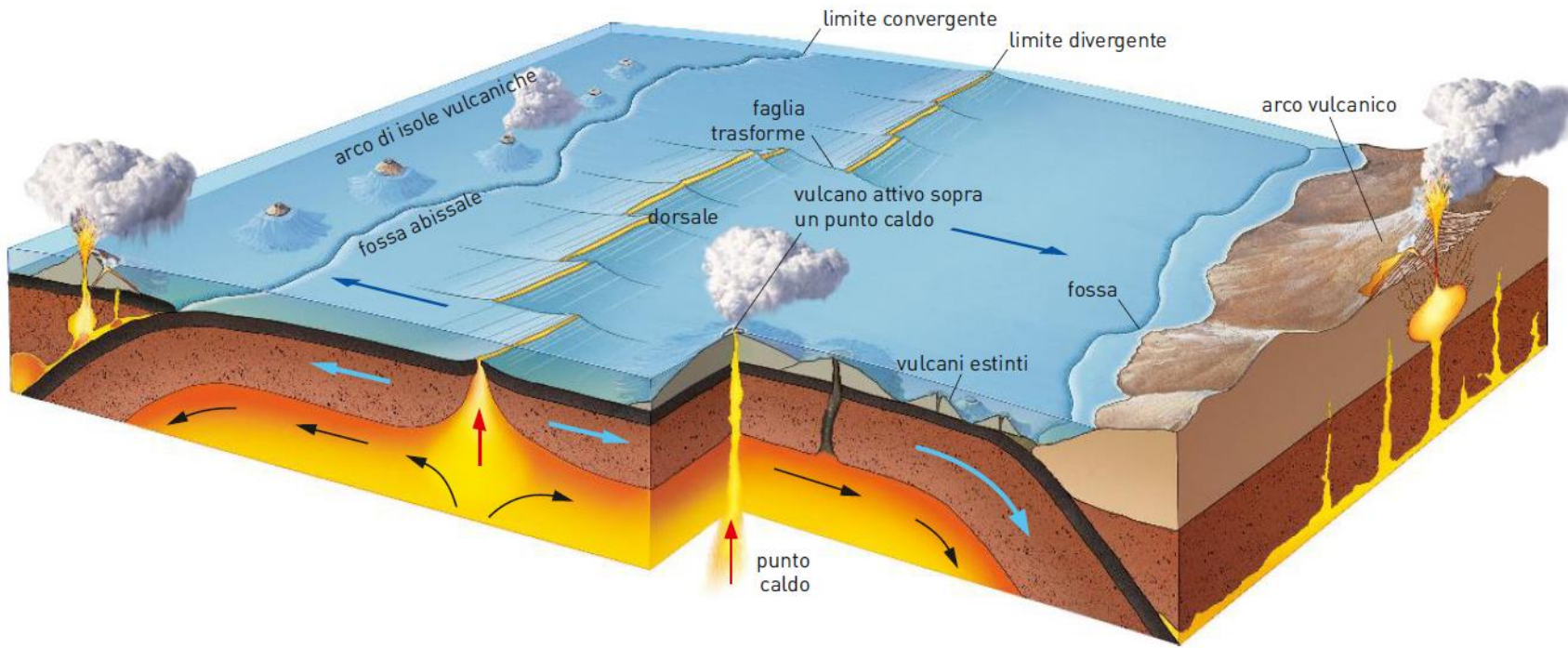
Il movimento è innescato da **correnti convettive** che risalgono dal centro della terra





# Tettonica delle placche: cosa è?

Teoria tettonica delle placche : scienze geologiche/geofisiche = Teoria atomo di Bohr : fisica



WWW.ANDREAMININI.COM

Teoria tettonica delle placche:

semplice

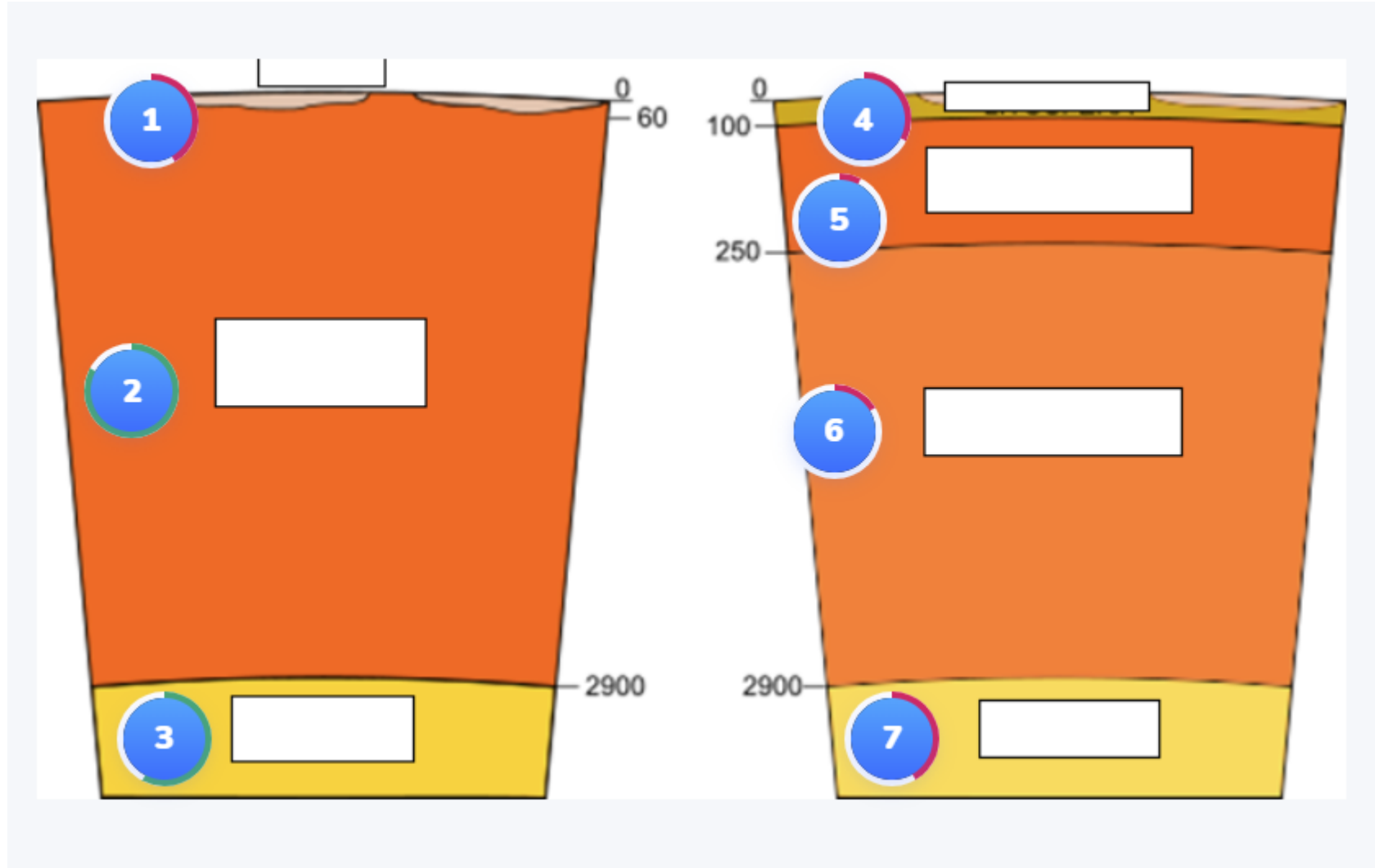
elegante

capace di spiegare un gran numero di esperimenti ed osservazioni

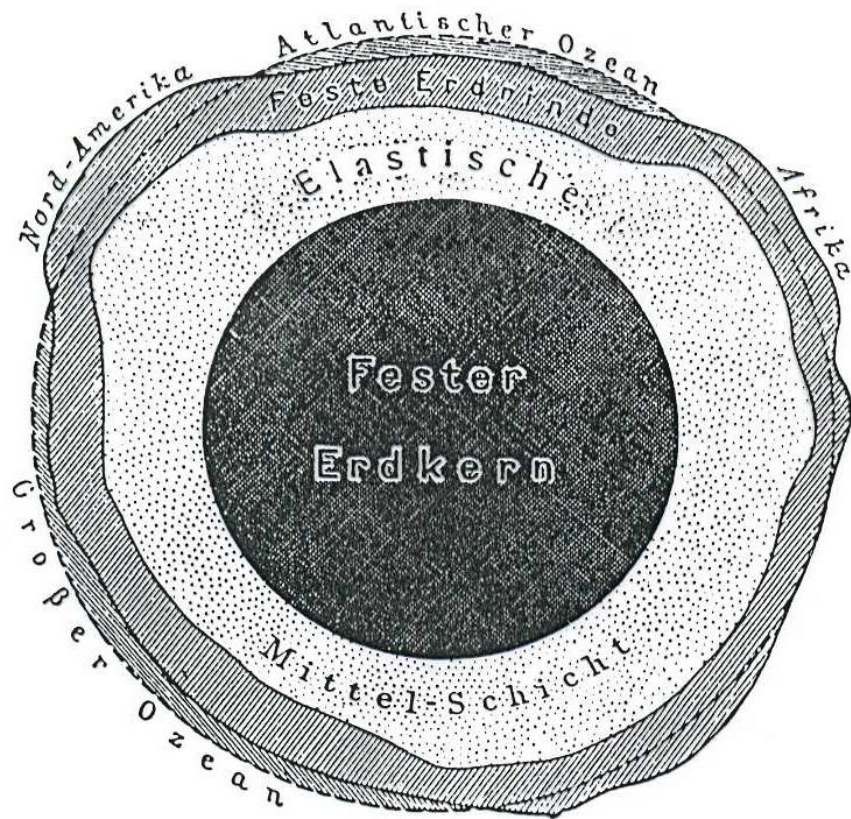
# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

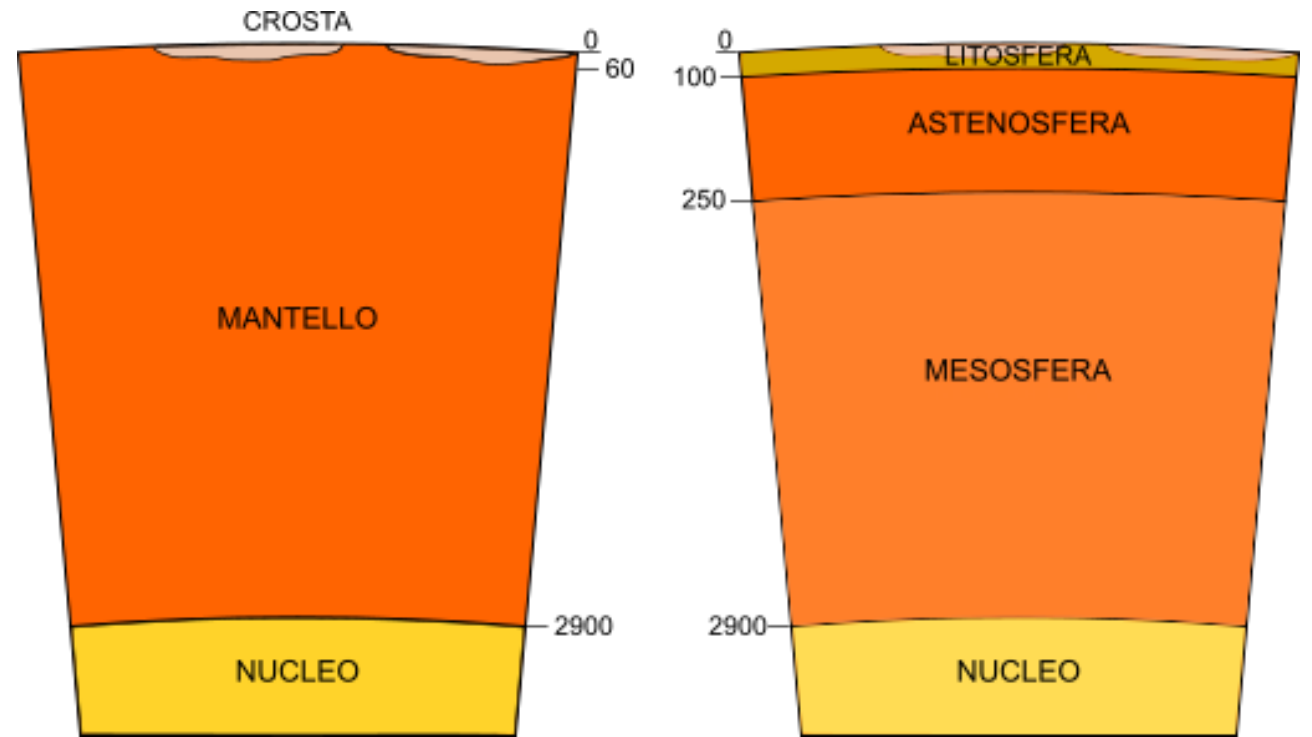
Da sondaggio



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



Schizzo dell'interno della Terra pubblicato a Berlino nel 1902 (H.Kramer). La Terra ha tre strati: una crosta solida, un mantello elastico e un nucleo solido.



Composizione

Reologia

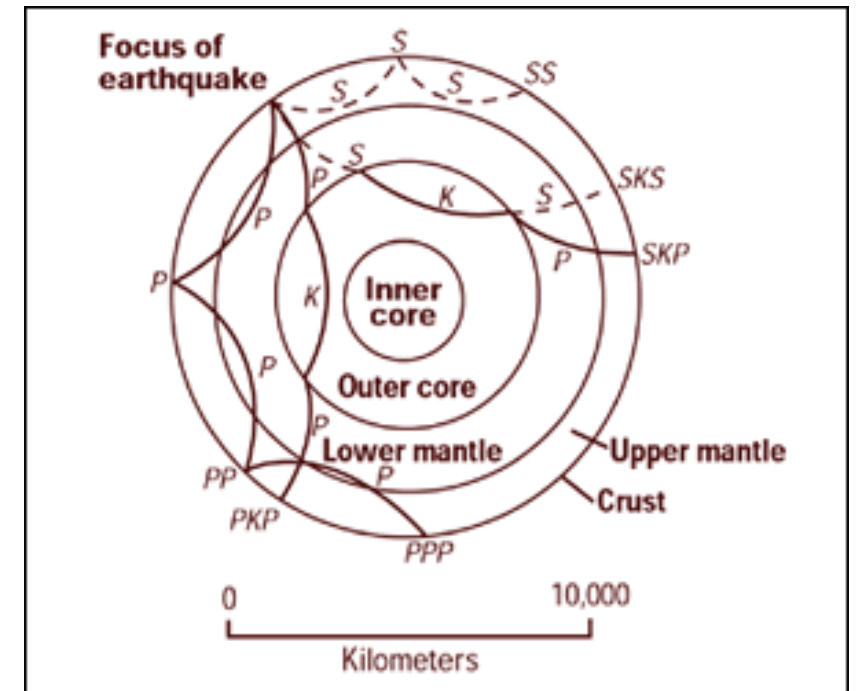
Struttura della terra in funzione della composizione chimica e della reologia dei materiali.



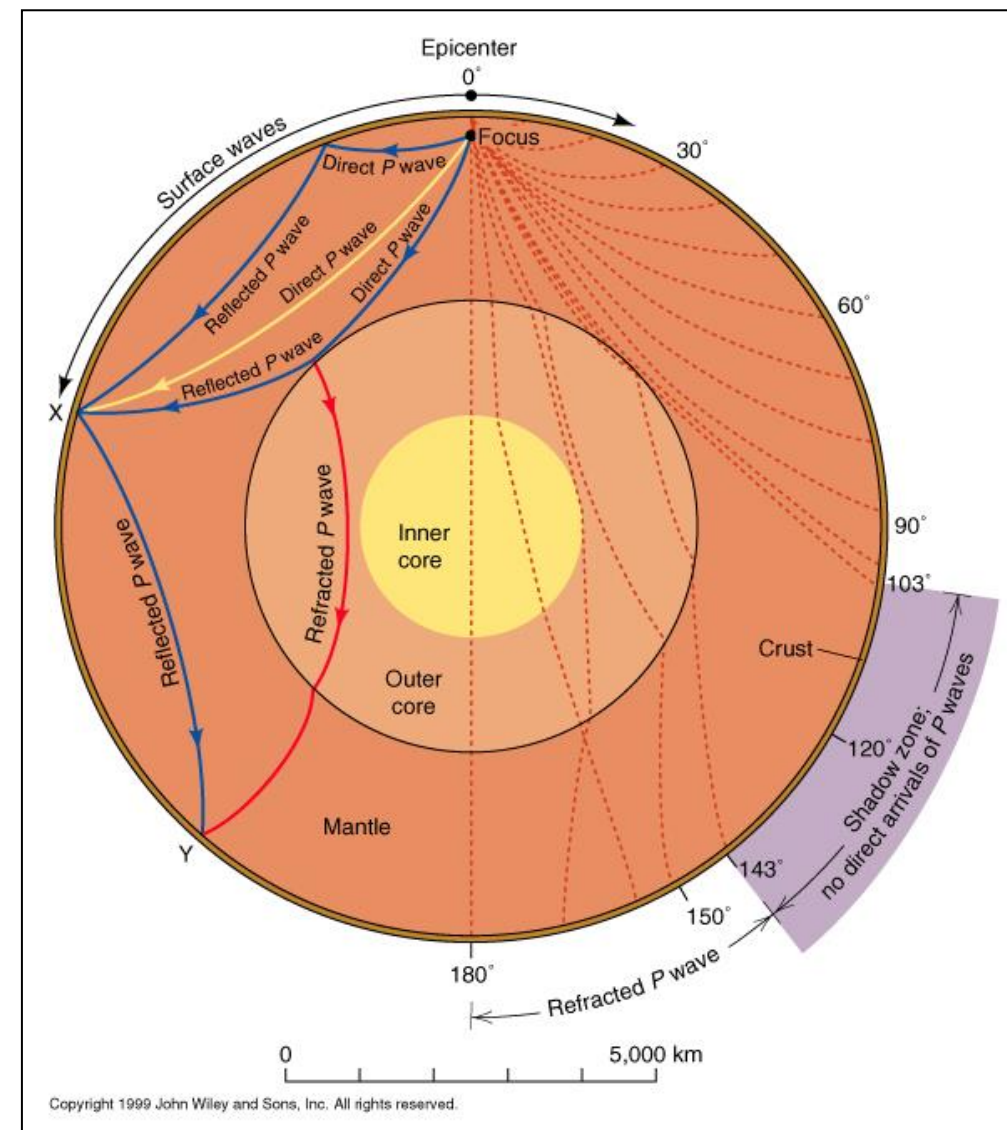
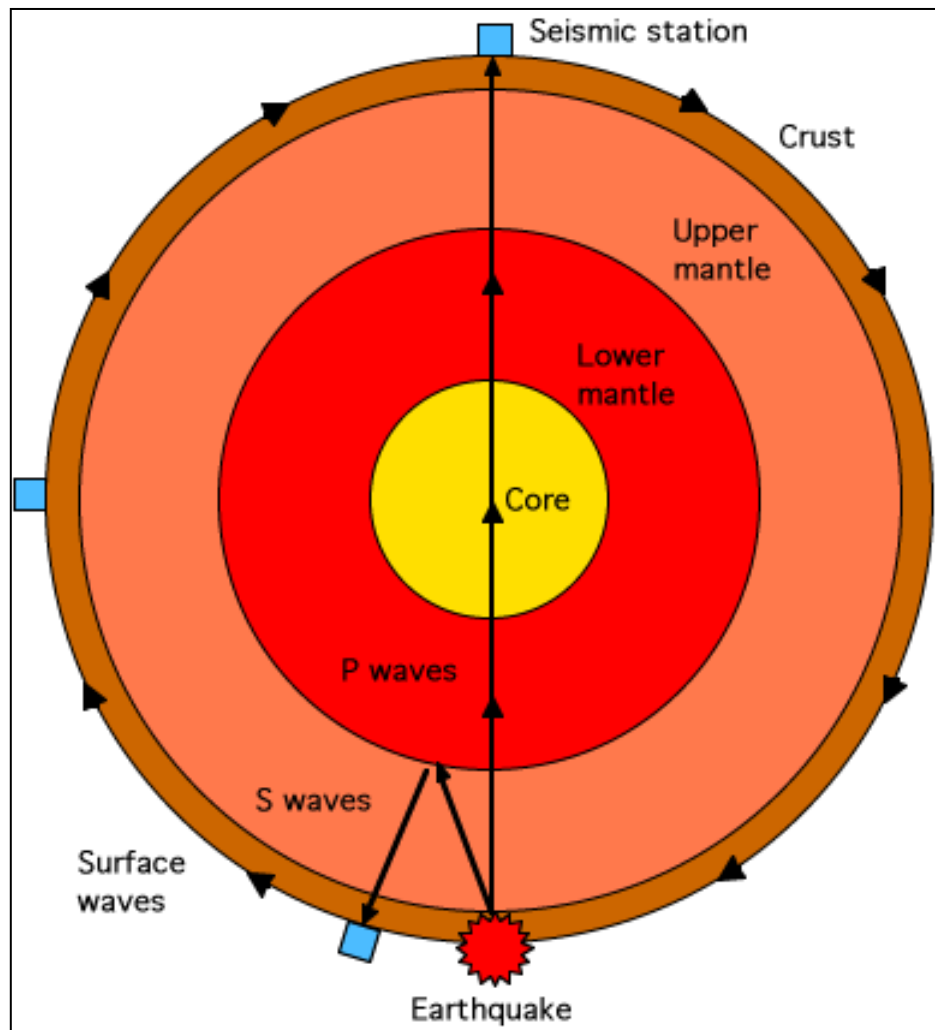
# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Come conosciamo la struttura interna della Terra?

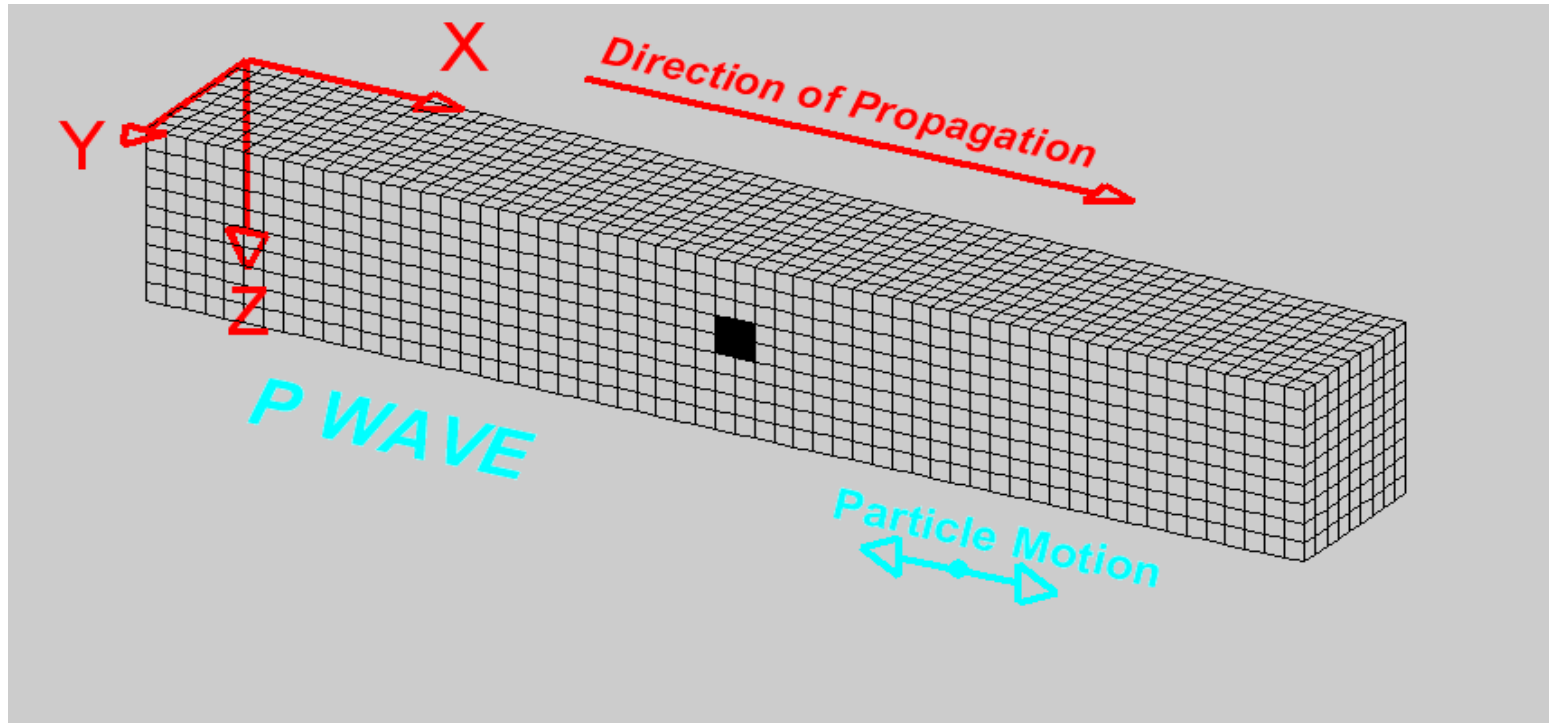
Grazie alle indagini geofisiche: sismica/sismologia, gravimetria, magnetismo, geo-elettrica, geodesia



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

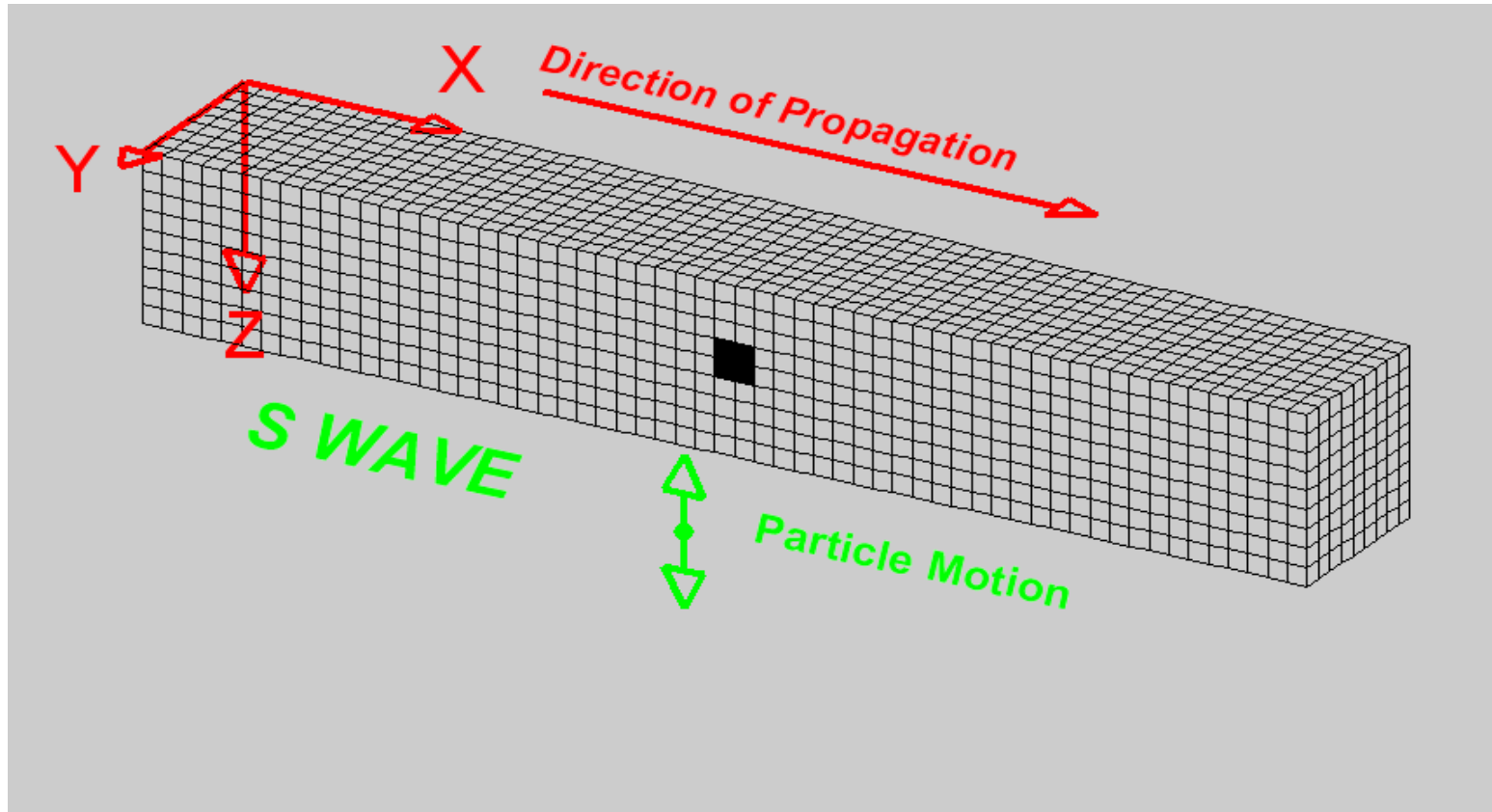


# Onde di Volume– Onde P



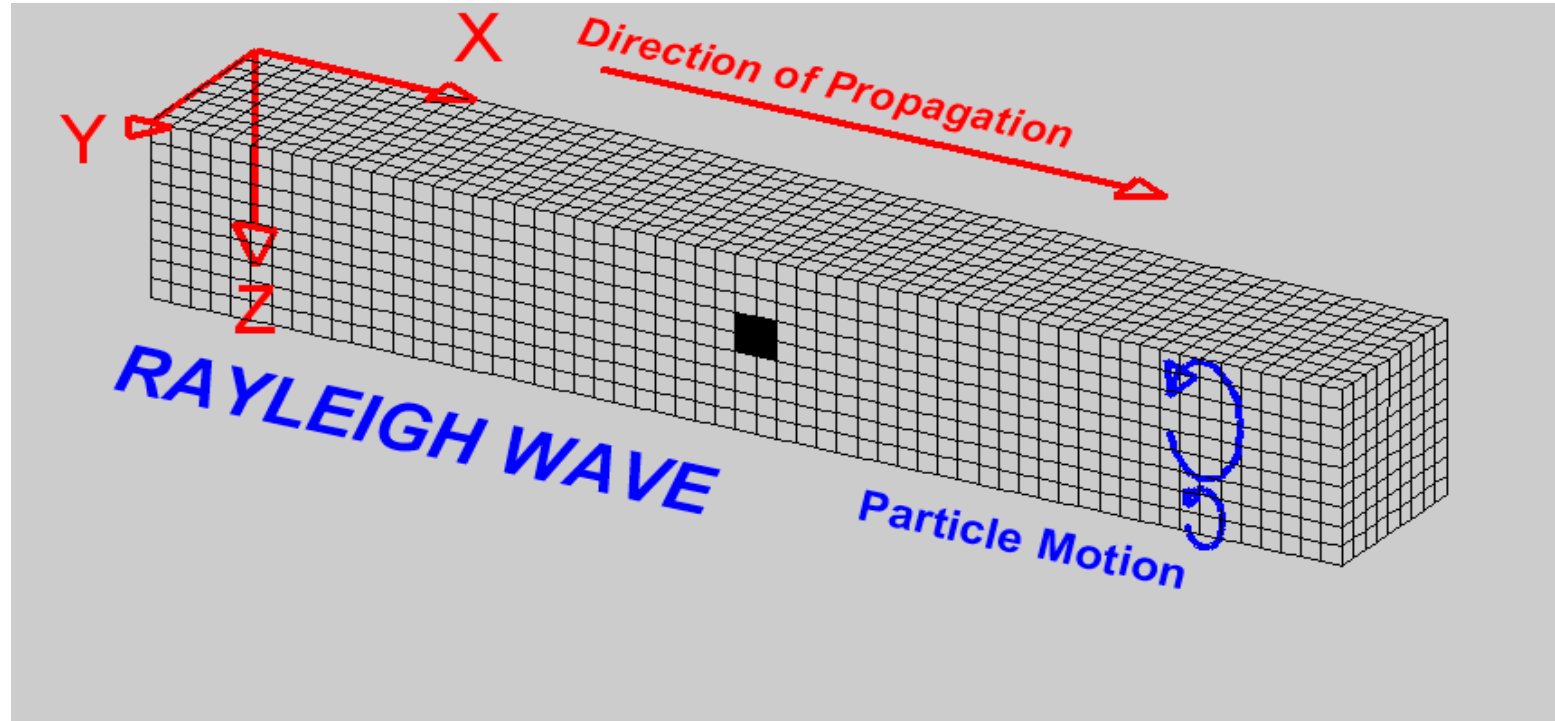
Il moto delle particelle consiste in una alternanza di compressioni e dilatazioni parallele alla direzione di propagazione (polarizzazione longitudinale)  
Il materiale torna nella forma originaria dopo il passaggio della perturbazione

# Onde di Volume – Onde S



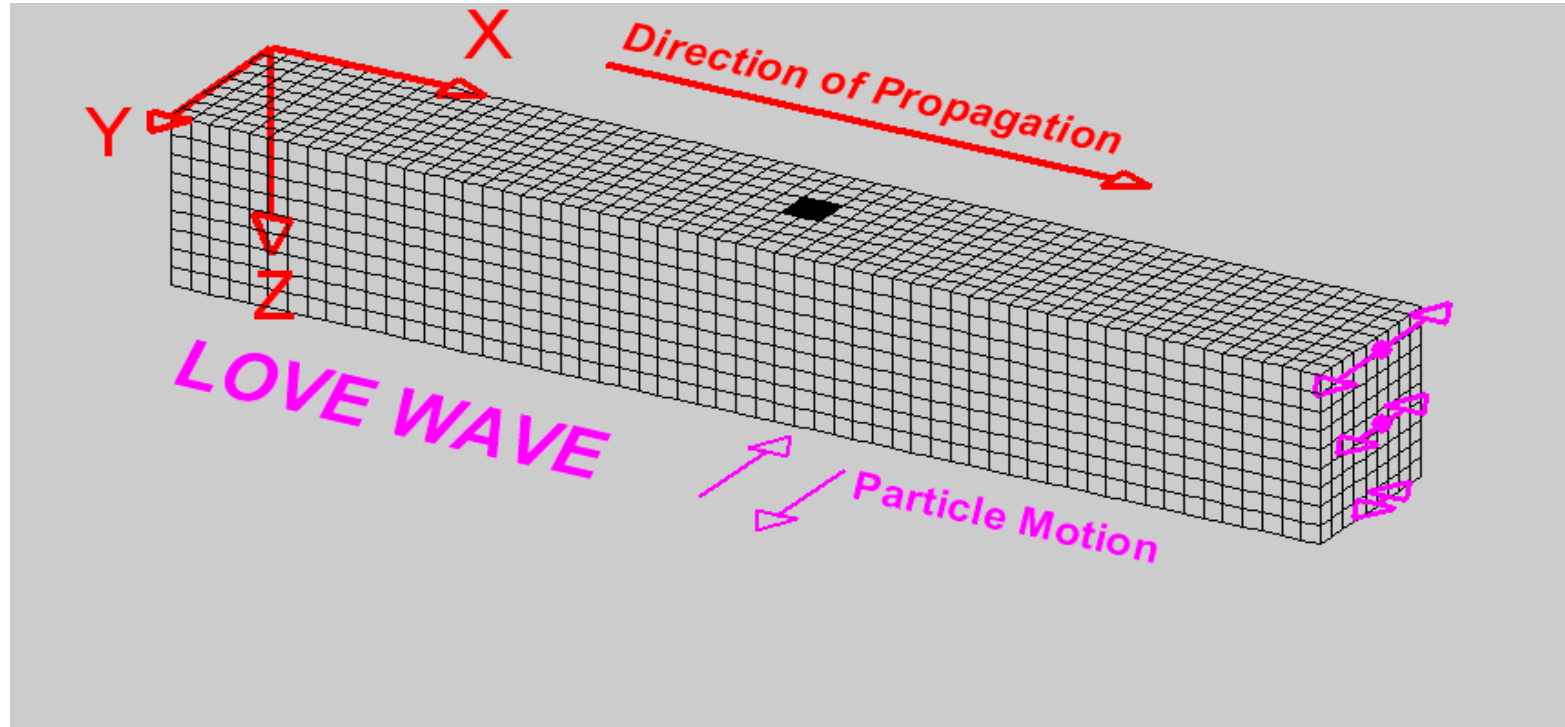
Il moto delle particelle consiste in una alternanza di moti trasversali perpendicolari alla direzione di propagazione.

# Onde Superficiali- Onde di Rayleigh



Il moto delle particelle è ellittico (in mezzo omogeneo retrograde) nel piano vertical e e parallel alla direzione di propagazione. L'ampiezza diminuisce con la profondità

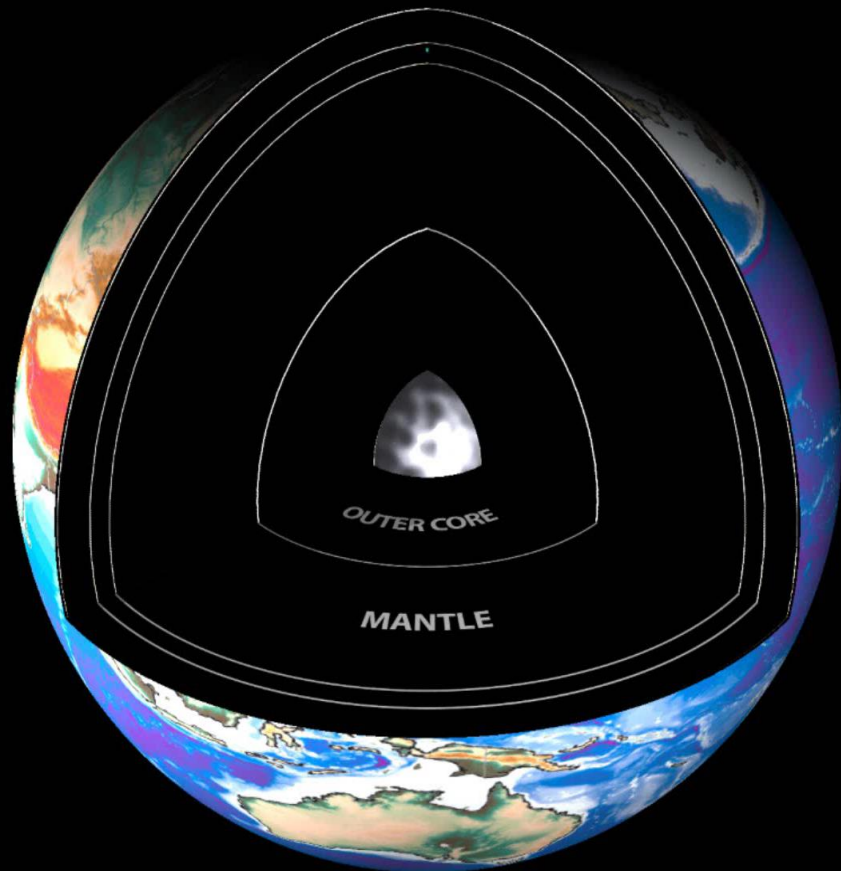
# Onde di Superficie: Onde di Love



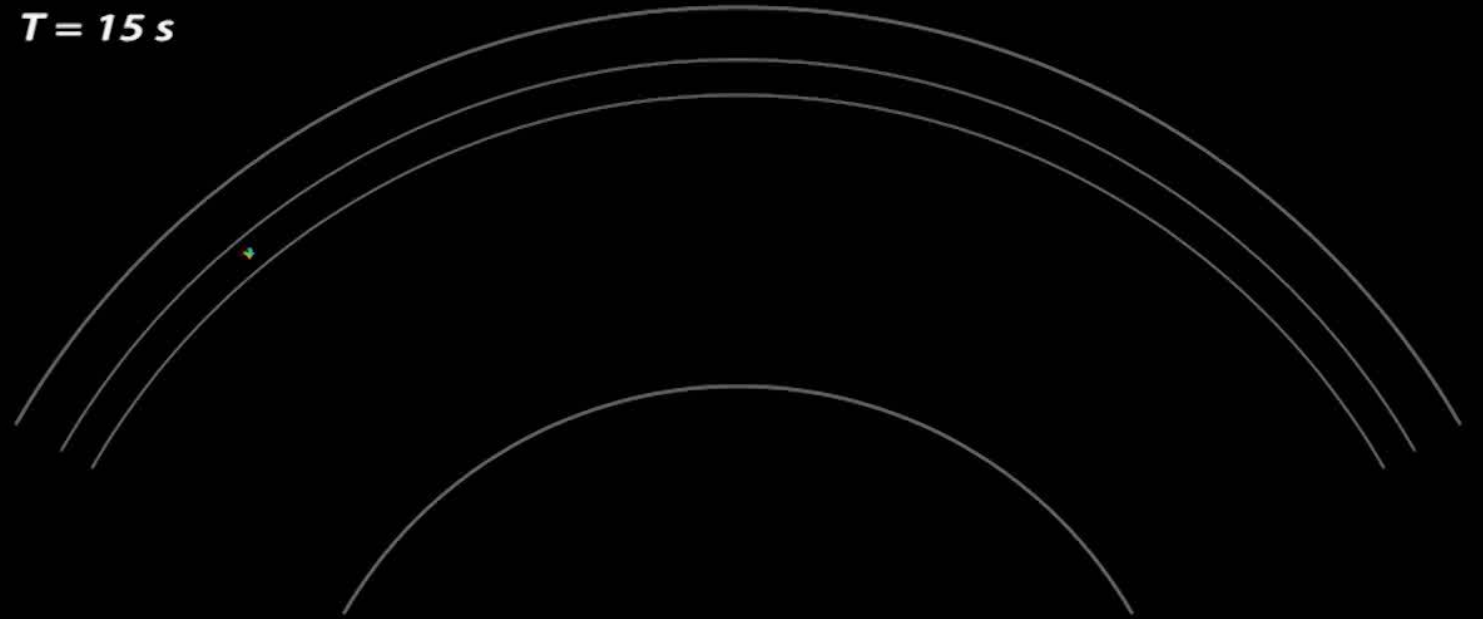
Il moto delle particelle è trasversale alla direzione di propagazione e sul piano orizzontale l'ampiezza diminuisce con la profondità.



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



*Phases: S, ScS (60°)*  
*Depth: 500 km*  
*T = 15 s*

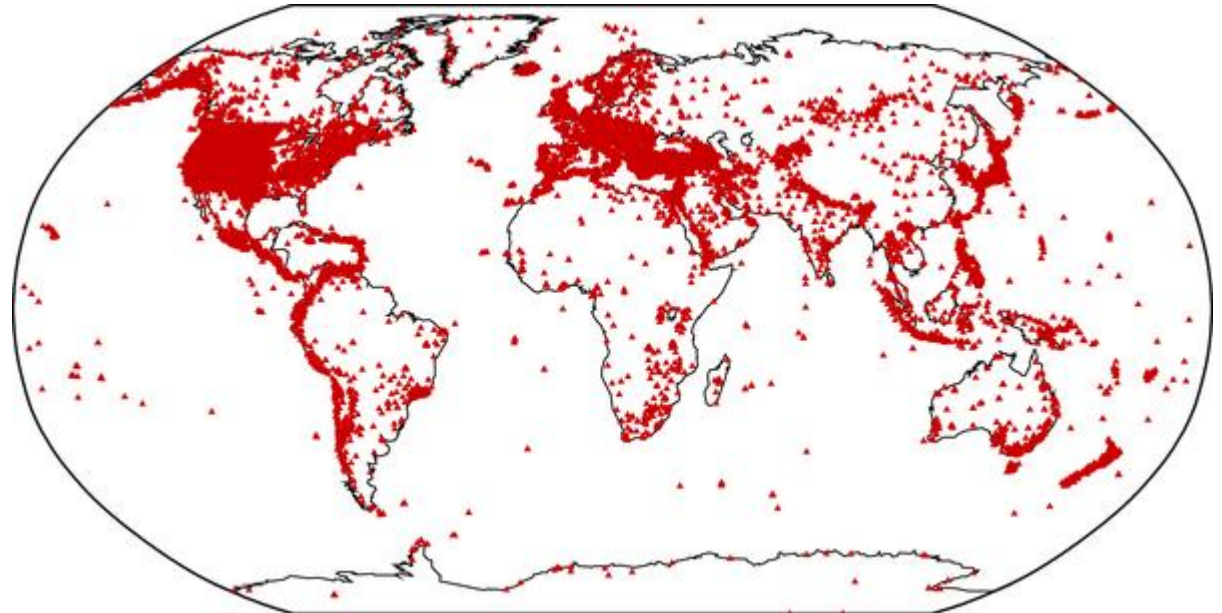
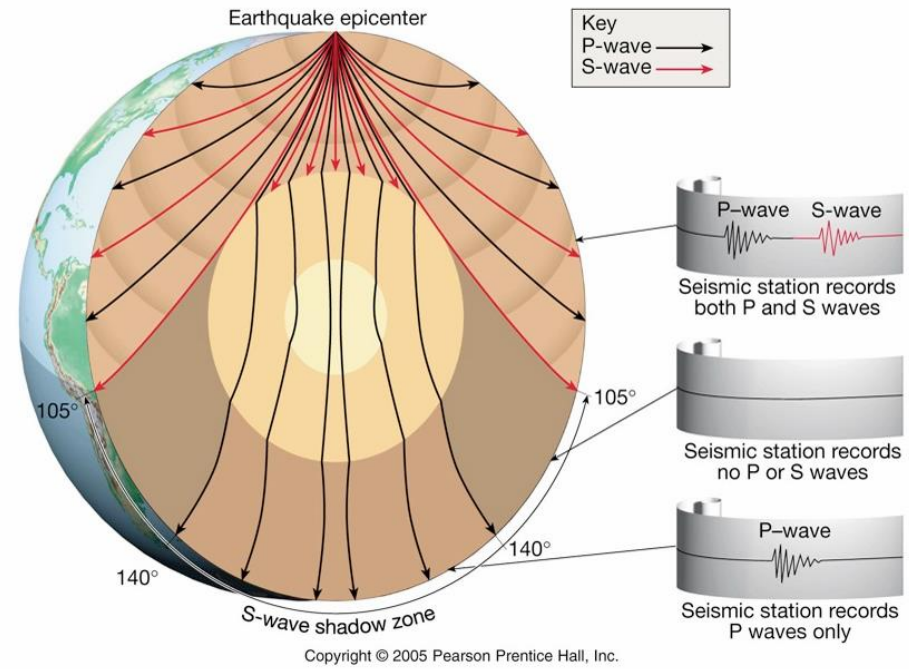


<http://web.utah.edu/thorne>



Abb. 1: Ernst von Rebeur-Paschwitz, dem 1889 in Potsdam die weltweit erste Fernaufzeichnung eines Erdbebens gelang

Fig. 1: Ernst von Rebeur-Paschwitz, who successfully completed the world's first remote recording of an earthquake in 1889 in Potsdam

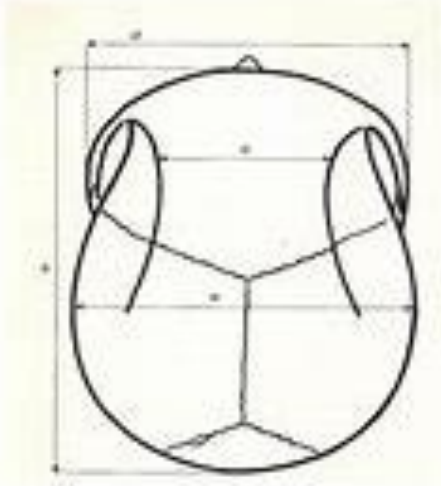




## Cranio umano visto dall'alto

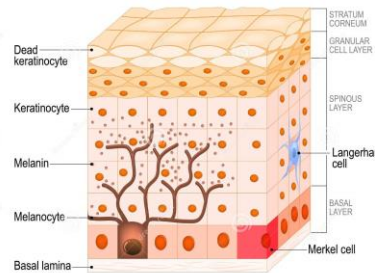
I diametri antropometrici:

- a) lunghezza antero-posteriore
- b) larghezza cranica massima
- c) larghezza frontale minima
- d) larghezza bizigomatica

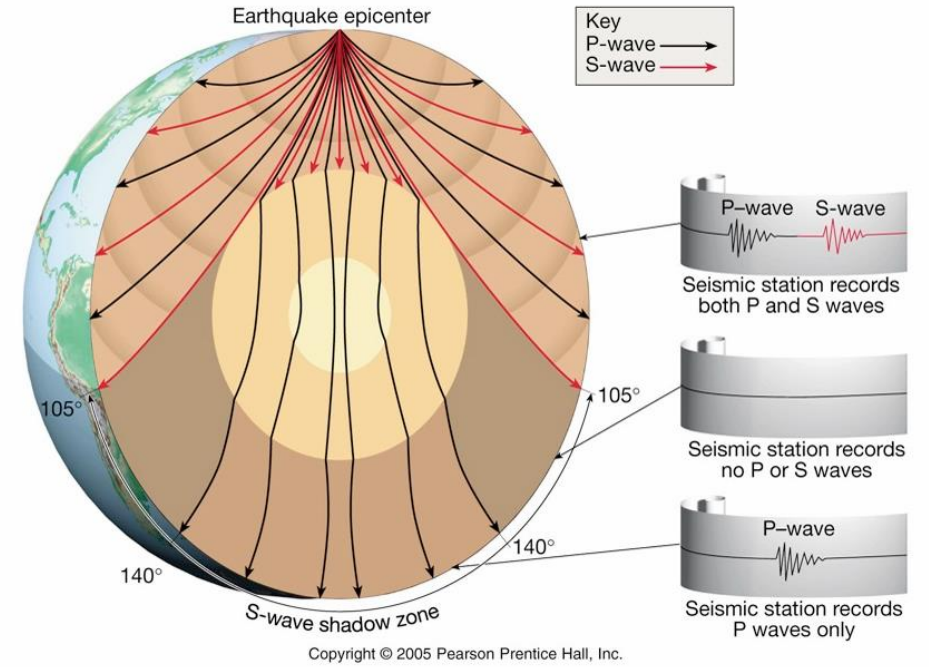


Raggio circa 9 cm  
Epidermide 0.1 cm  
**Rapporto 90**

## EPIDERMIS



dreamstime.com ID 13896077 © Designua



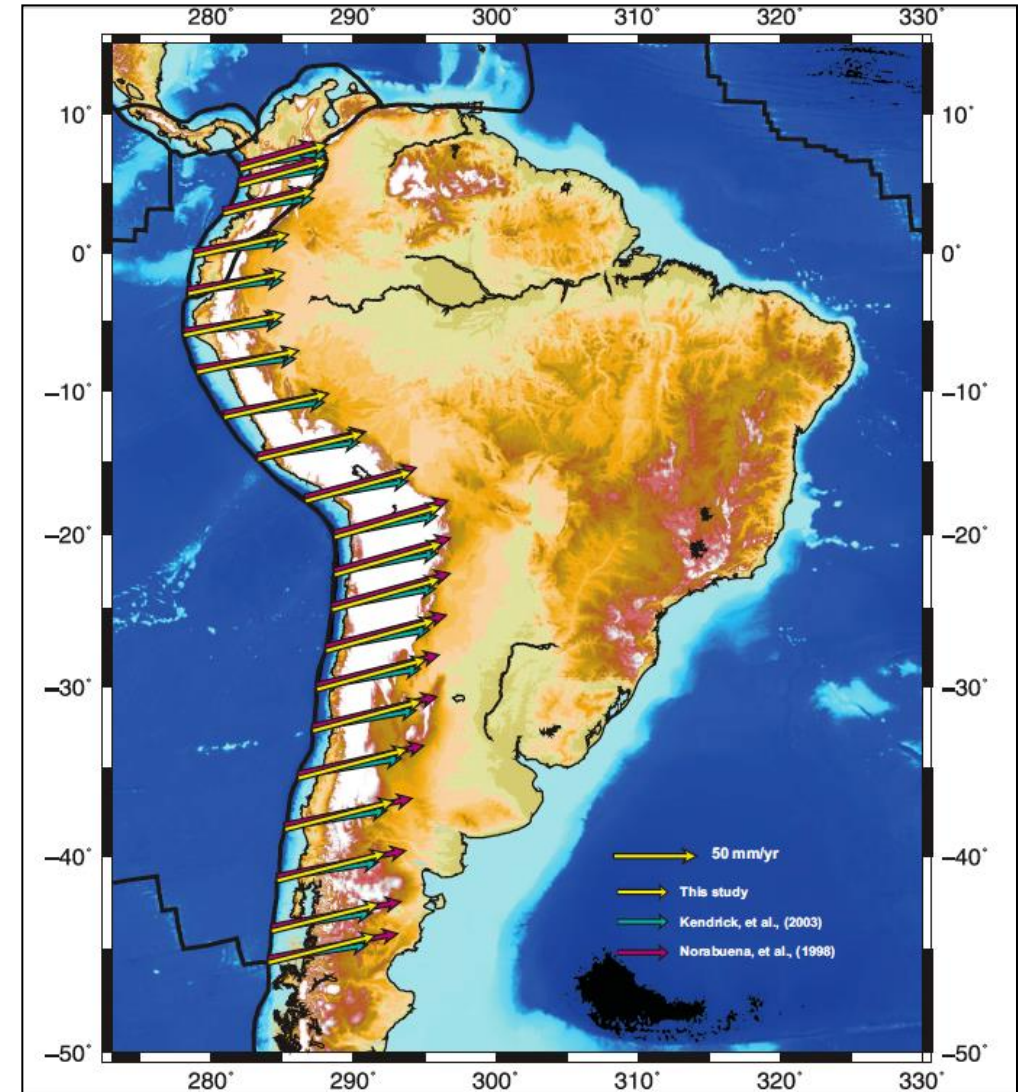
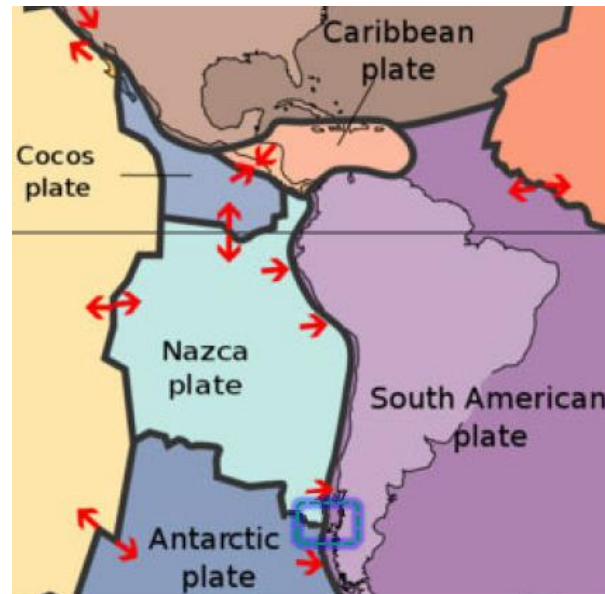
Raggio 6372 km  
Pozzo superprofondo Kola 12 Km  
**Rapporto 531!!!!**



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Le misure GPS, attraverso una rete di sensori, danno informazioni sulle velocità della crosta superficiale in un sistema di riferimento globale o in relazione ad un punto assunto come noto/fisso

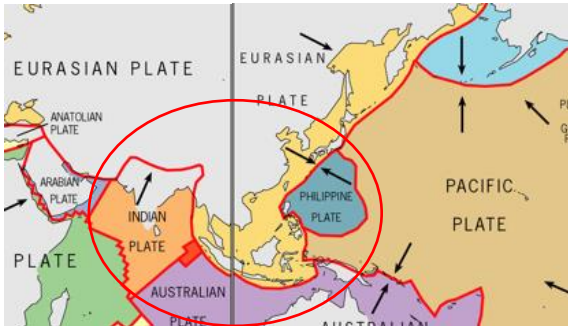
Danno quindi informazioni sulle deformazioni in funzione del tempo



Villegas, 2009: convergenza placche Natza e Sud Americana

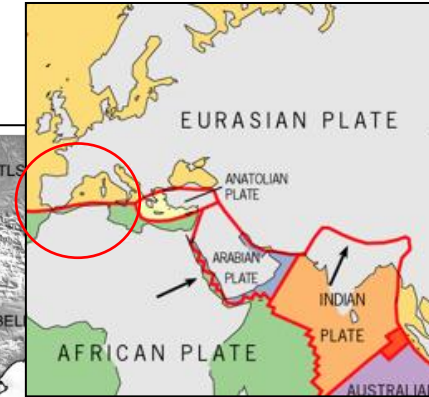
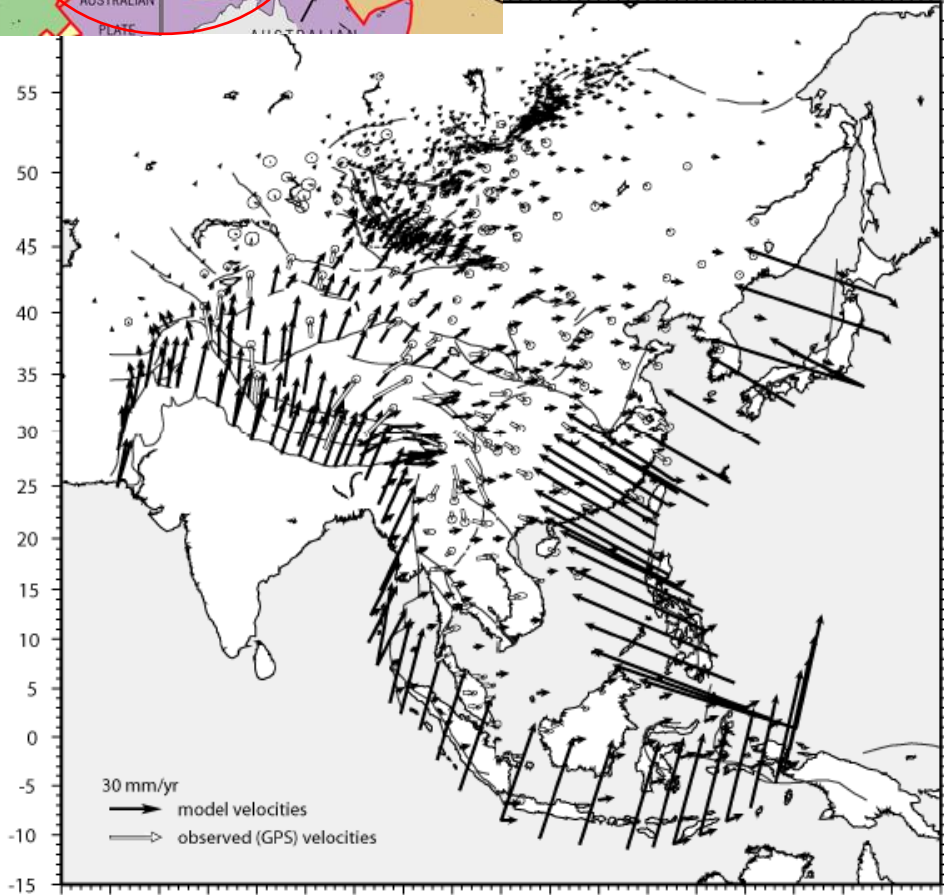


# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

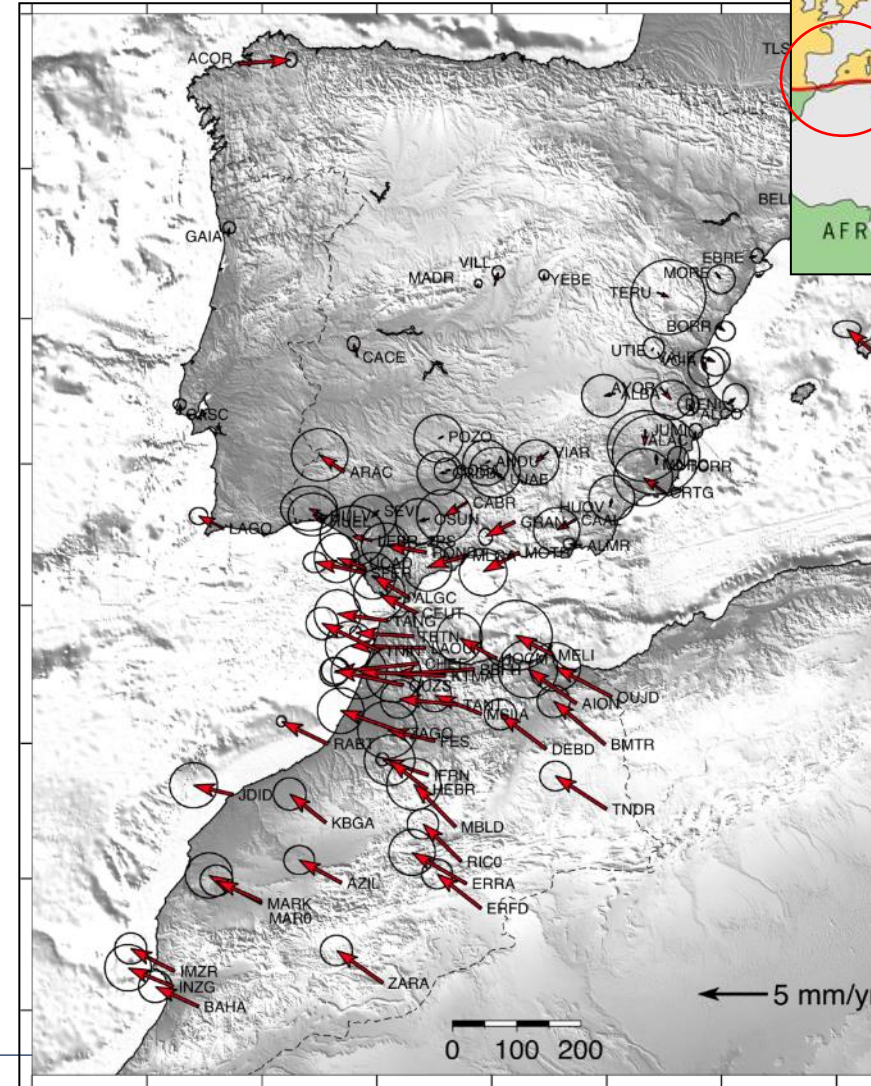


Campo di velocità a  
larga scala in Asia  
(confronto dati reali  
e modello)

110 120 130 140 150



Mediterraneo  
occidentale



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Osservazioni e campioni presi sulla superficie

Studio dei terremoti e della propagazione delle onde sismiche

Analisi geochemiche di campioni provenienti dalla Terra e dai meteoriti

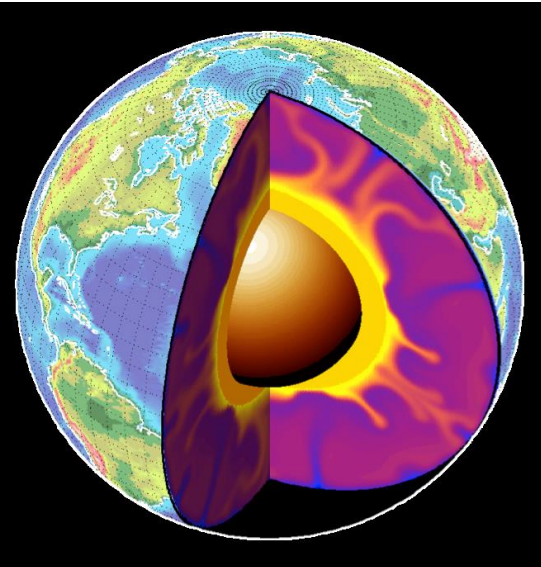
Misura e analisi del campo gravimetrico e magnetico

Esperimenti sui minerali ad alte pressioni e temperature

Modelli numerici della dinamica dei flussi interni alla Terra

Primi principi (“ab initio”) calcolo delle proprietà dei materiali

Esperimenti in laboratorio di meccanica dei fluidi

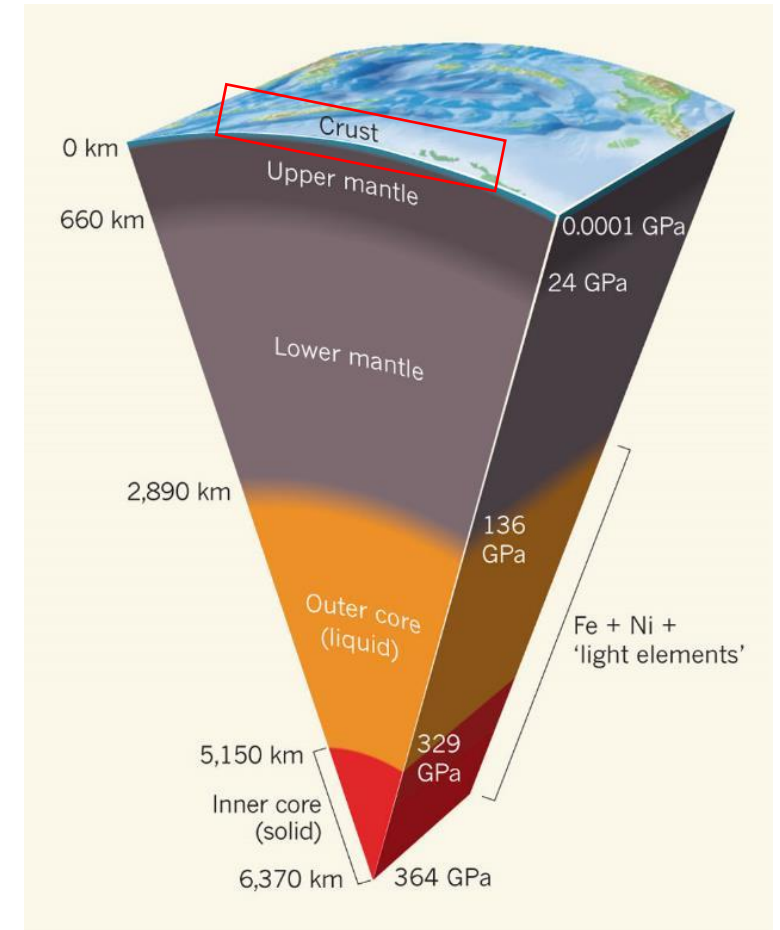


Individuazione dei geo-neutrini:  
“geoscienze delle particelle”

# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

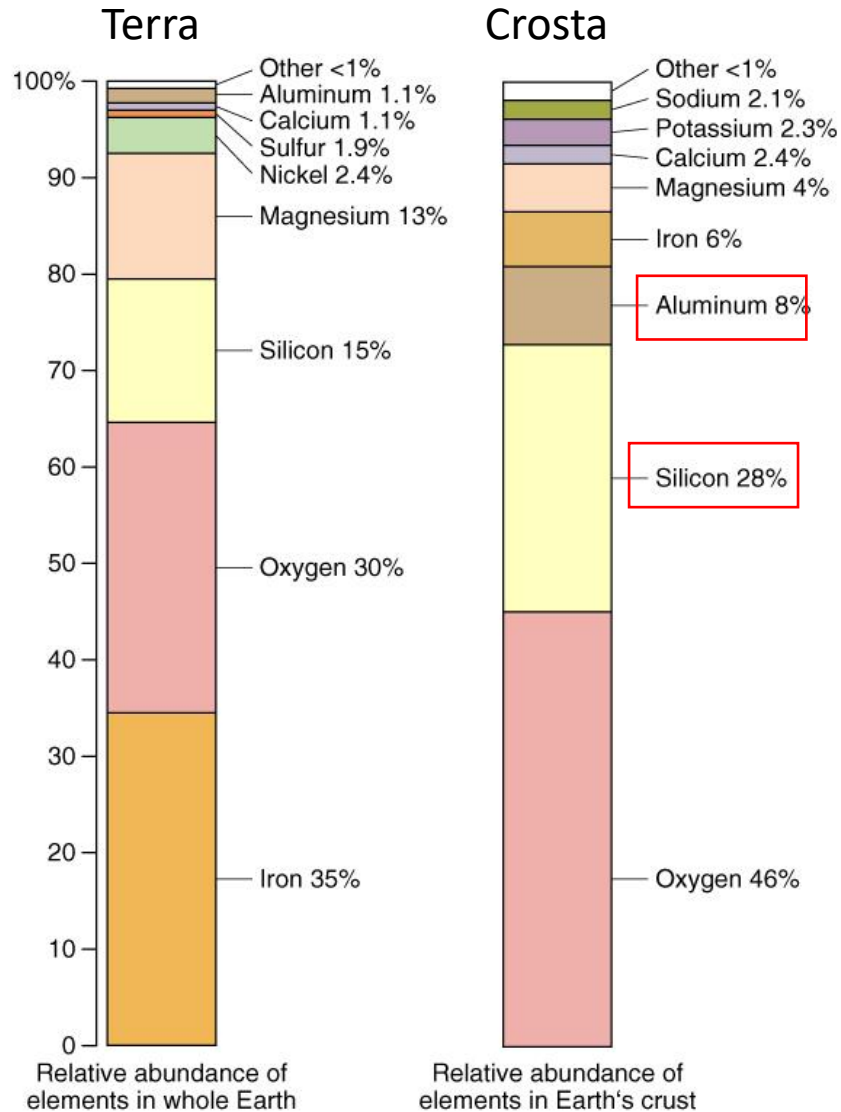
## Composizione:

**Crosta** (ricca di silicio e alluminio, identificata da J.Milne, Lord Reyleig, Lord Rutherford)



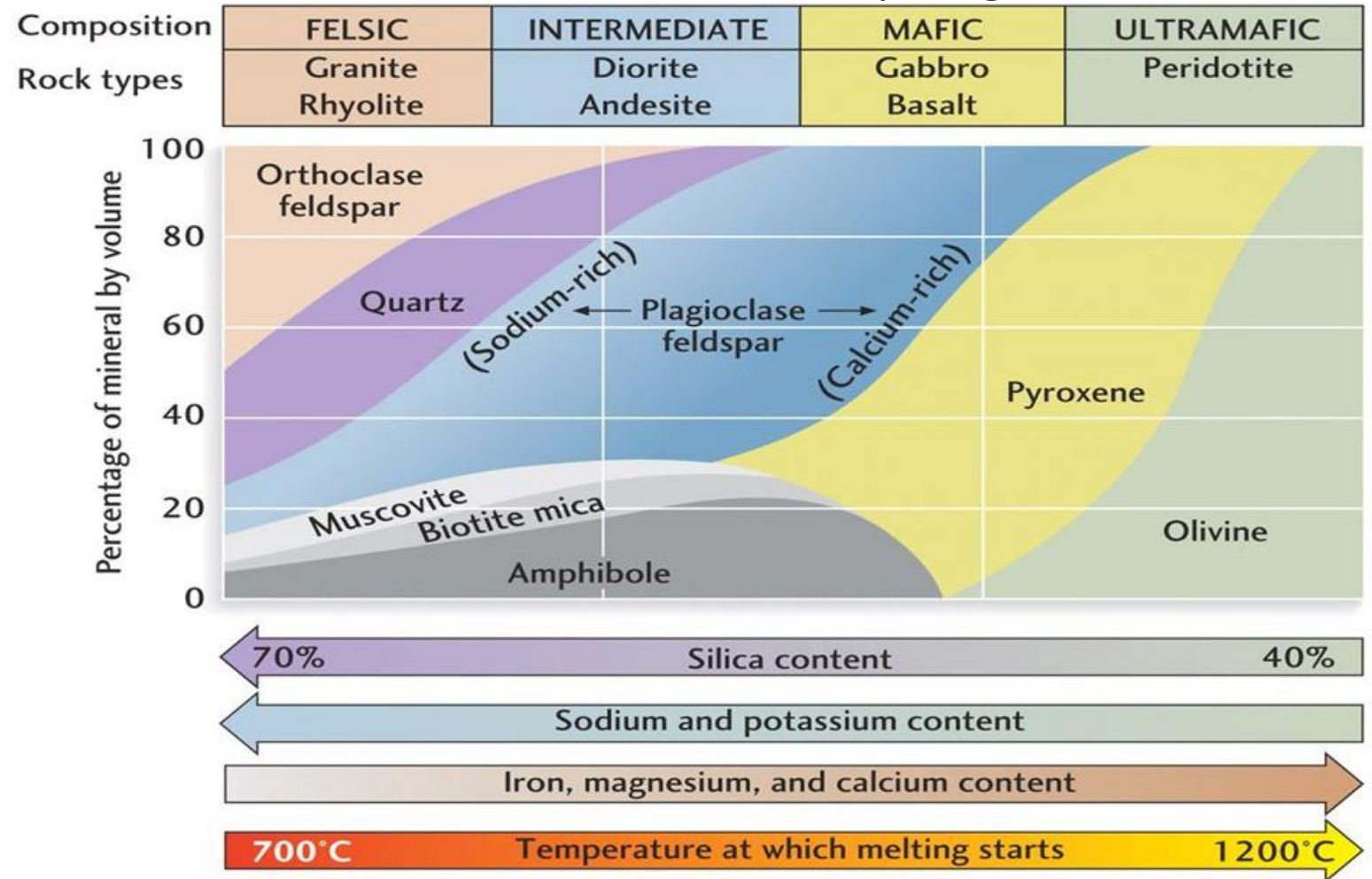


# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

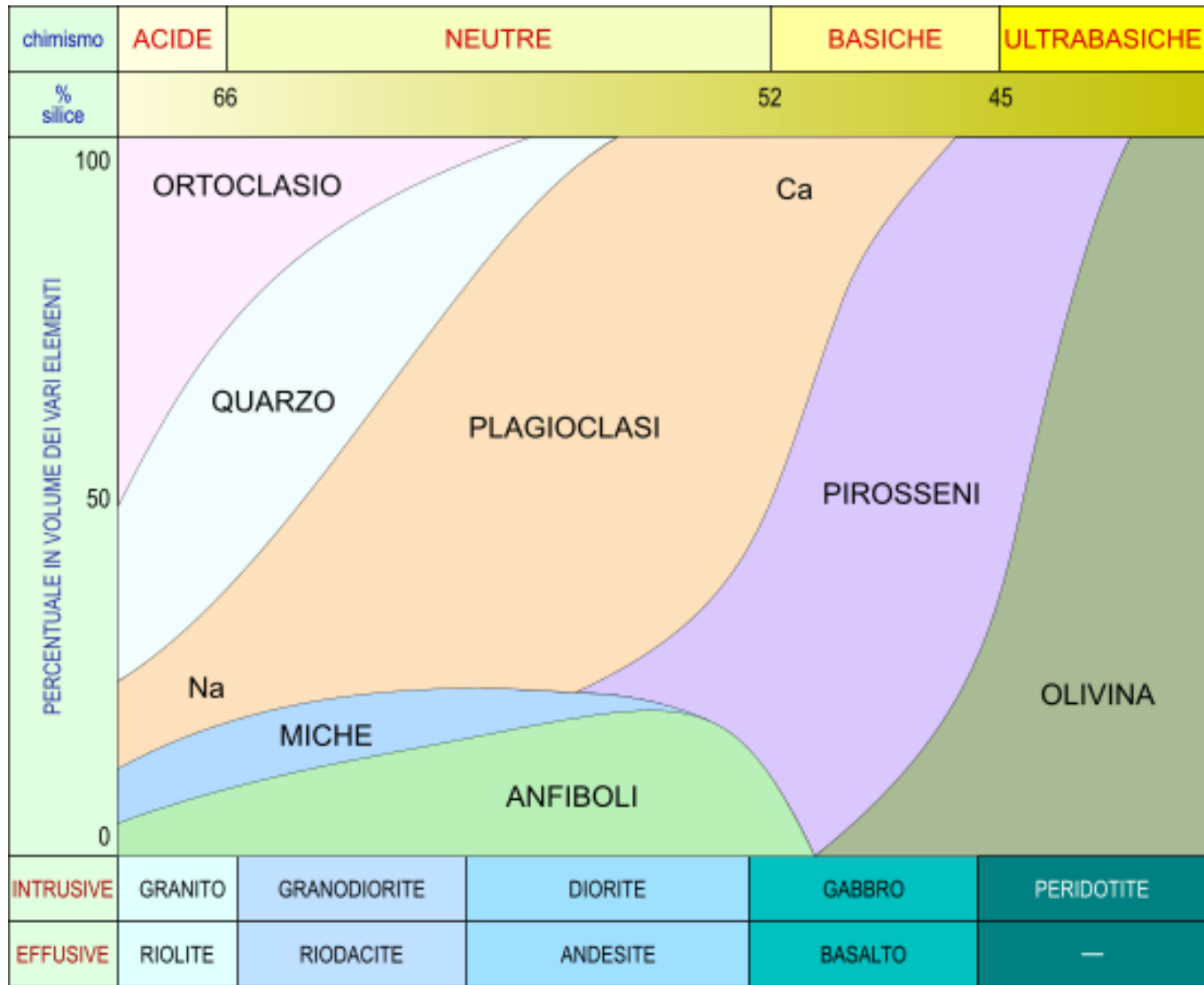




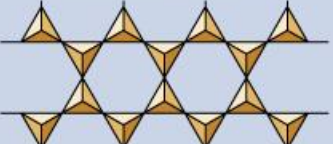
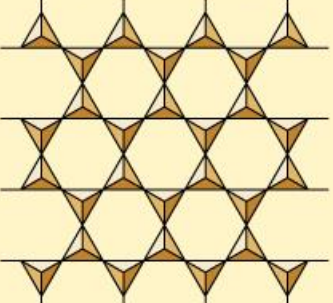
Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

## Abbondanza di elementi e tipologie di rocce



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

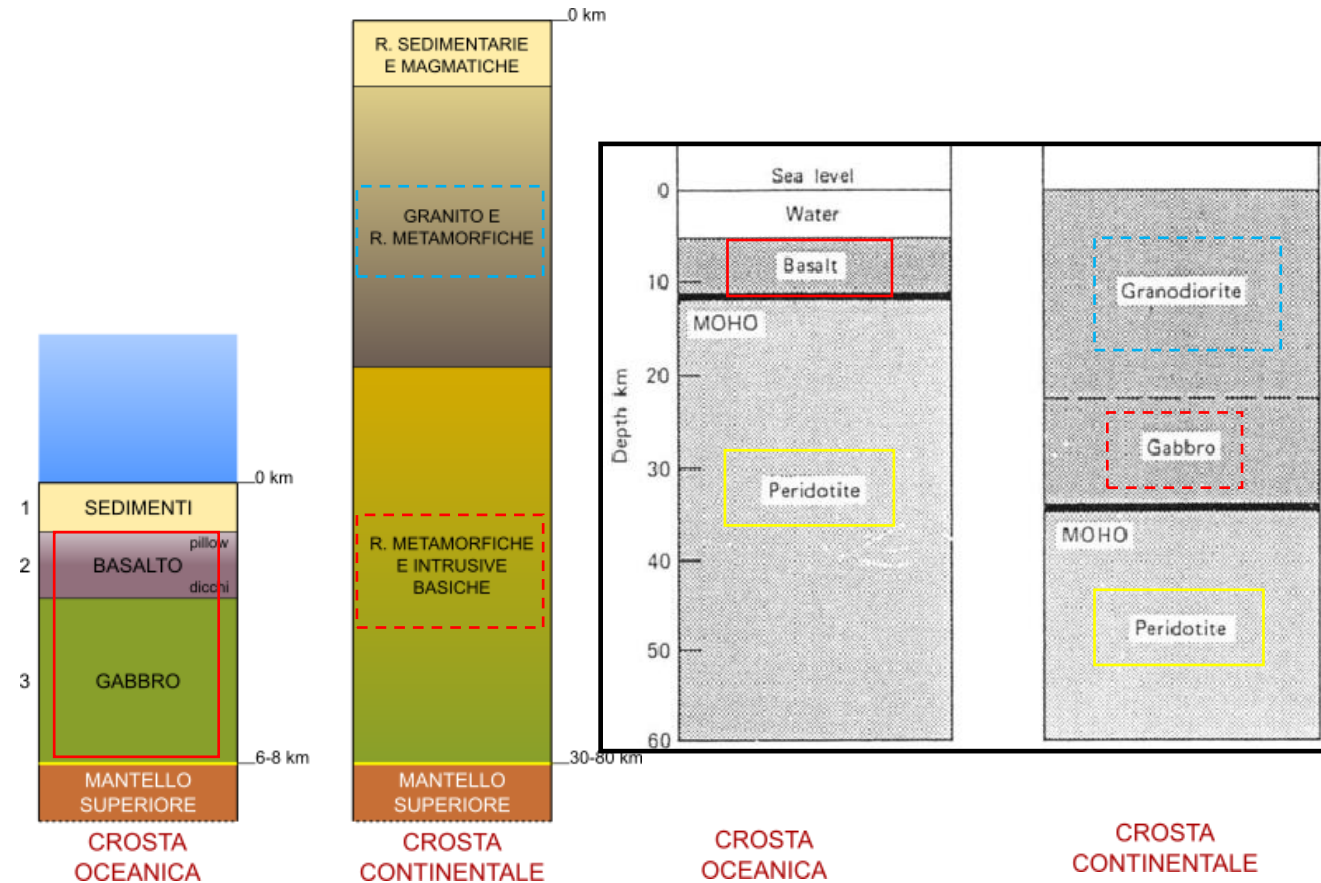
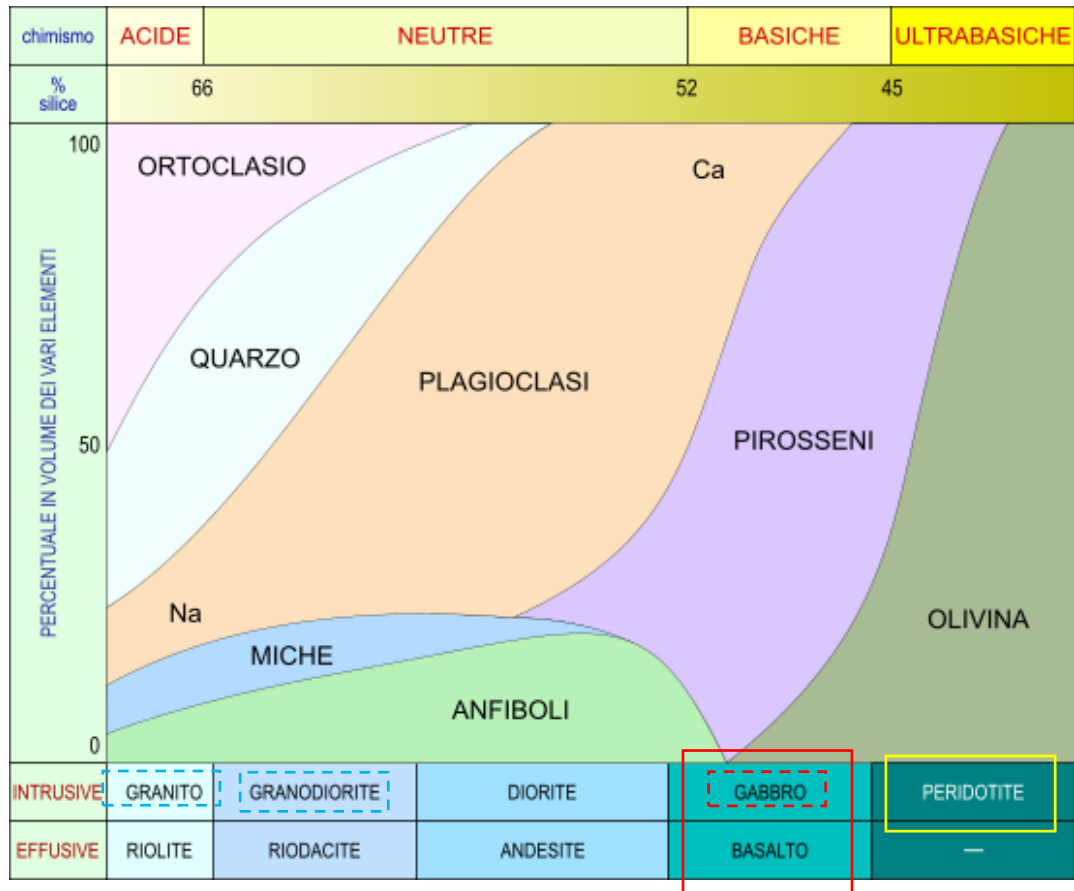


Mineral	Formula	Cleavage	Structure
Olivine	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	None	Isolated tetrahedra 
Garnet	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	None	
Pyroxene	$\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$	Two planes at $90^\circ$	Chain of tetrahedra 
Amphibole	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	Two planes at $120^\circ$	Double chain of tetrahedra 
Mica	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	One plane	Sheet of tetrahedra 
Clay	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$		
Feldspar	$\text{KAISi}_3\text{O}_8$	Two planes at $90^\circ$	Three-dimensional network too complex to be shown by a two-dimensional drawing
Quartz	$\text{SiO}_2$	None	

Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

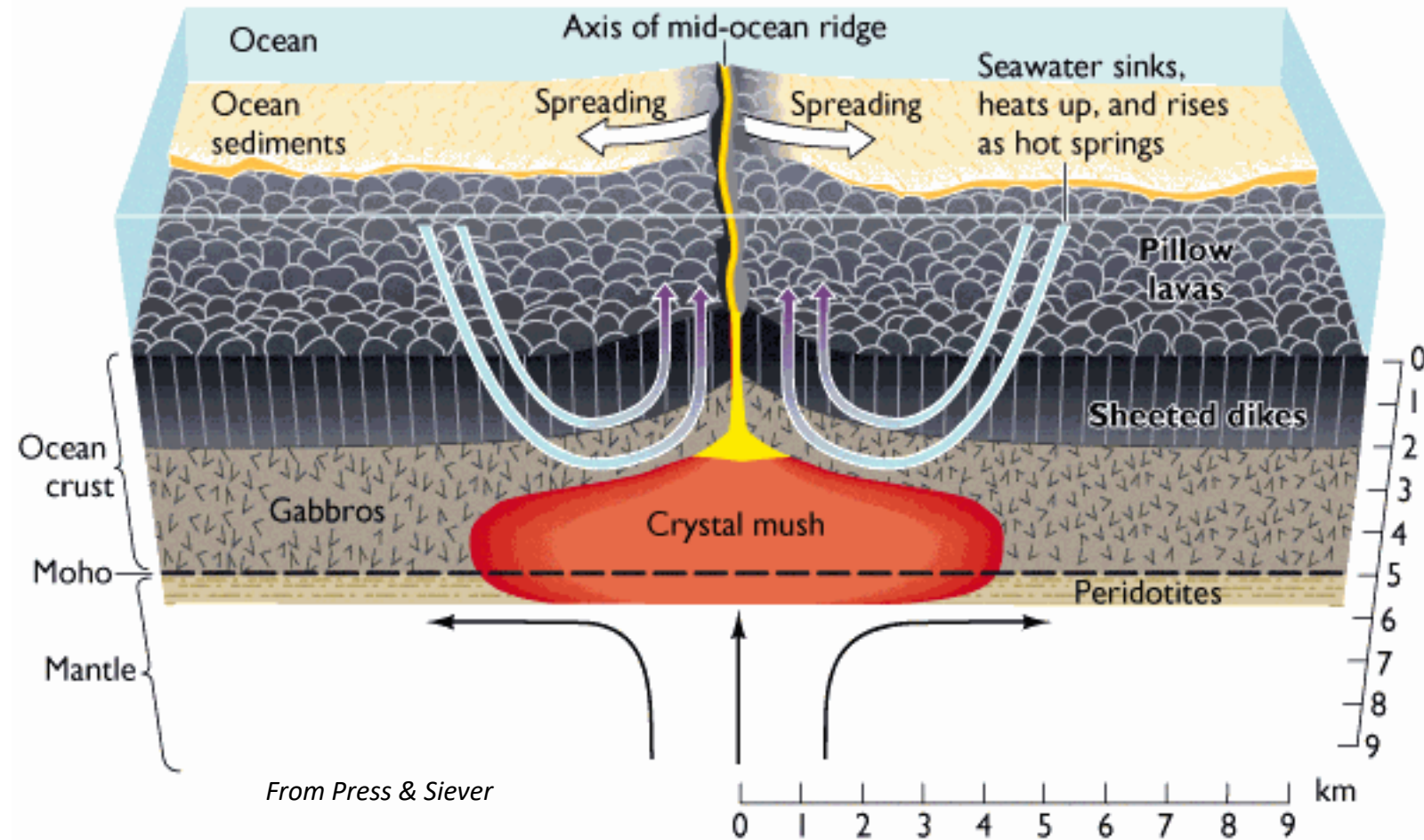
# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Abbondanza di elementi e tipologie di rocce





# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



La crosta non si è formata dalla fusione in un solo stadio del mantello, ma sono necessari altri processi quali:

- Accrescimento mediante lastre siliciche fuse
- degrado e alterazione del fondale marino (ritorno preferenziale del Mg al mantello)
- sub-Moho accumulazione di cristalli per precipitazione o per flottazione (cumulates rocks)
- riciclo della crosta inferiore

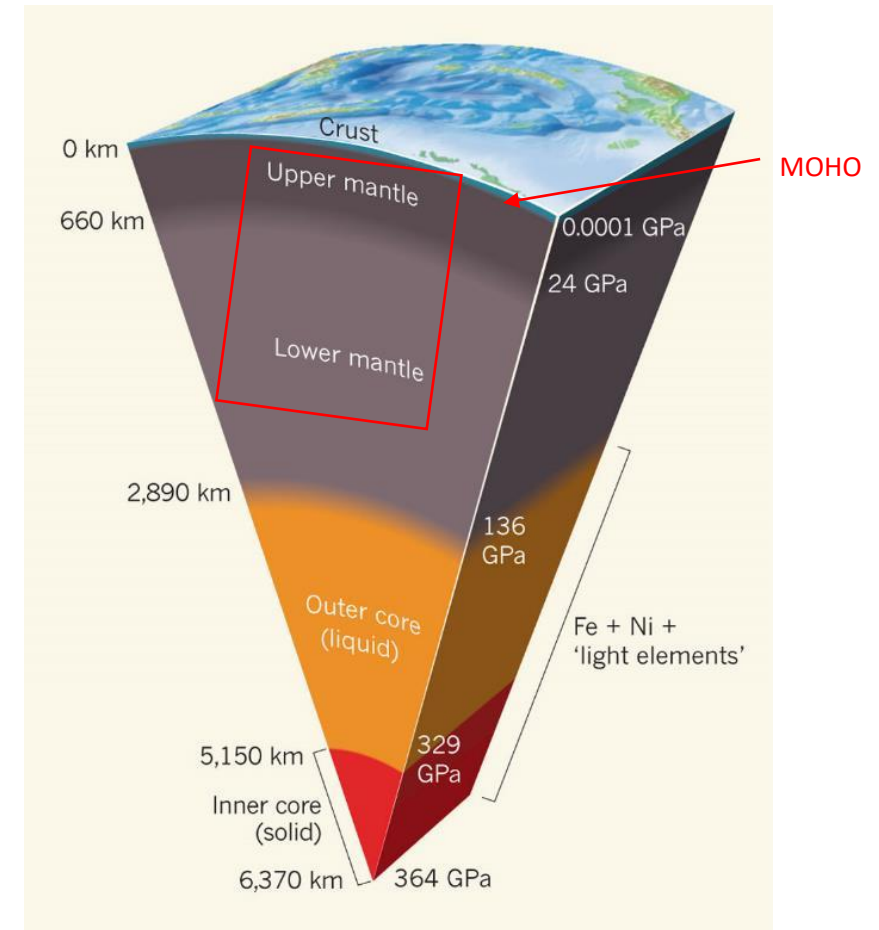
# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

## Composizione:

**Crosta** (ricca di silicio e alluminio, identificata da J. Milne, Lord Reyleig, Lord Rutherford)

**Mantello** (ricco di silicati e magnesio, così chiamato da E. Wiecher)

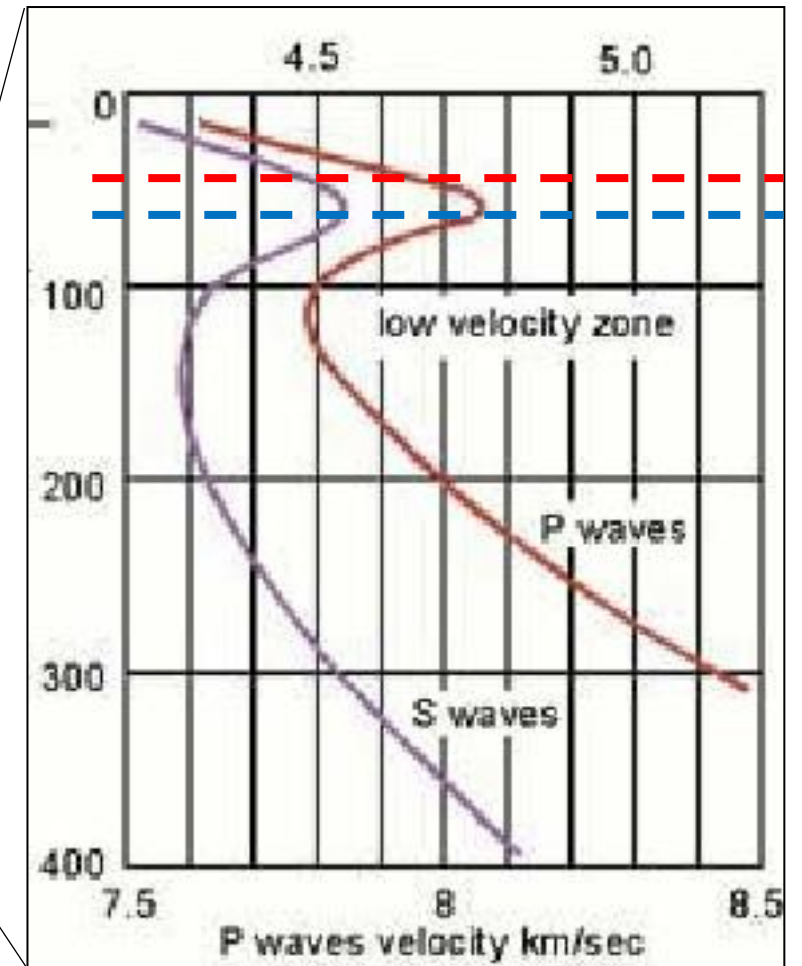
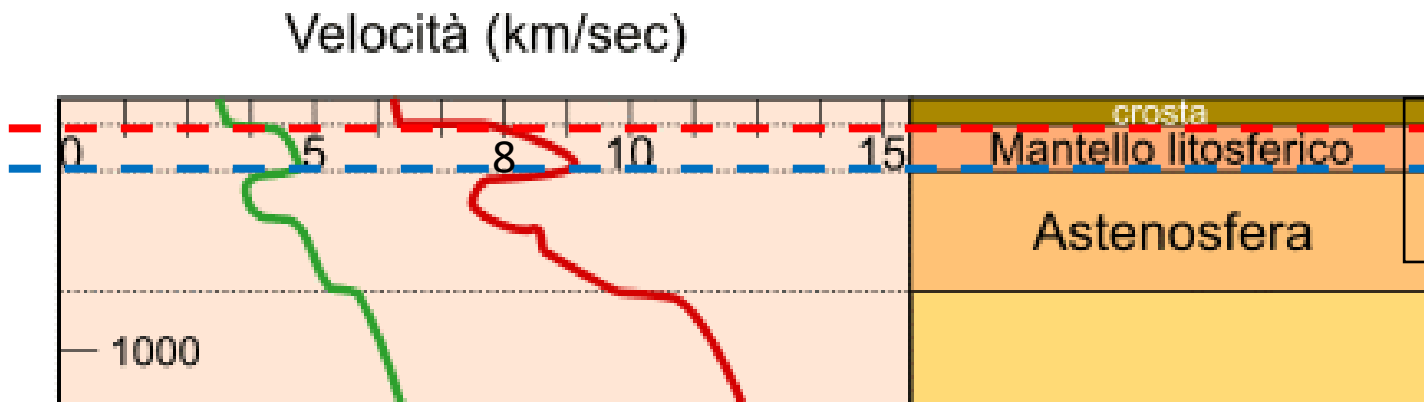
L'interfaccia Crosta/Mantello è detta **MOHO** da A. Mohorovicic che la individuò



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

**MOHO:** le onde P superano gli 8 km/s ed è sia un'interfaccia sismica che fisica (limite crosta/mantello)

**Low Velocity Zone (LVZ):** zona con inversione di velocità che segna l'interfaccia litosfera/astenosfera



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

**MOHO:** le onde P superano gli 8 km/s ed è sia un limite sismica che fisica (limite crosta/mantello)

**Low Velocity Zone (LVZ):** zona con inversione di segno l'interfaccia litosfera/astenosfera  
Meno accentuata in corrispondenza dei rifts continentali o del fondale oceanico

Velocità (km/sec)

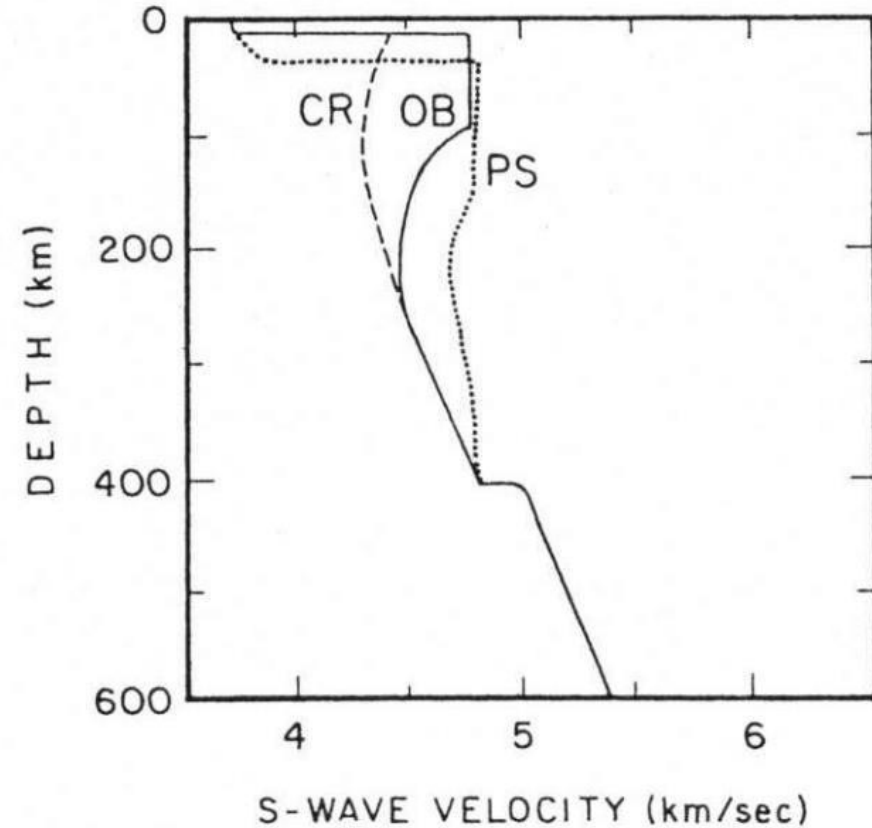
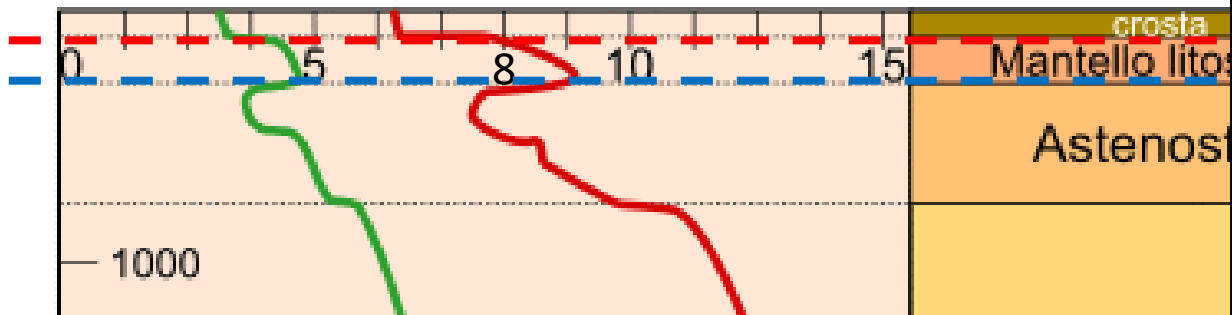


Figure 4.2 S-wave velocity distribution in the upper mantle beneath three crustal types: CR, continental rift; OB, ocean basin; and PS, Proterozoic shield or platform. After Grand and Helmberger (1984).

# Domande iniziali

- È più spessa la crosta oceanica o quella continentale?

Oceanica

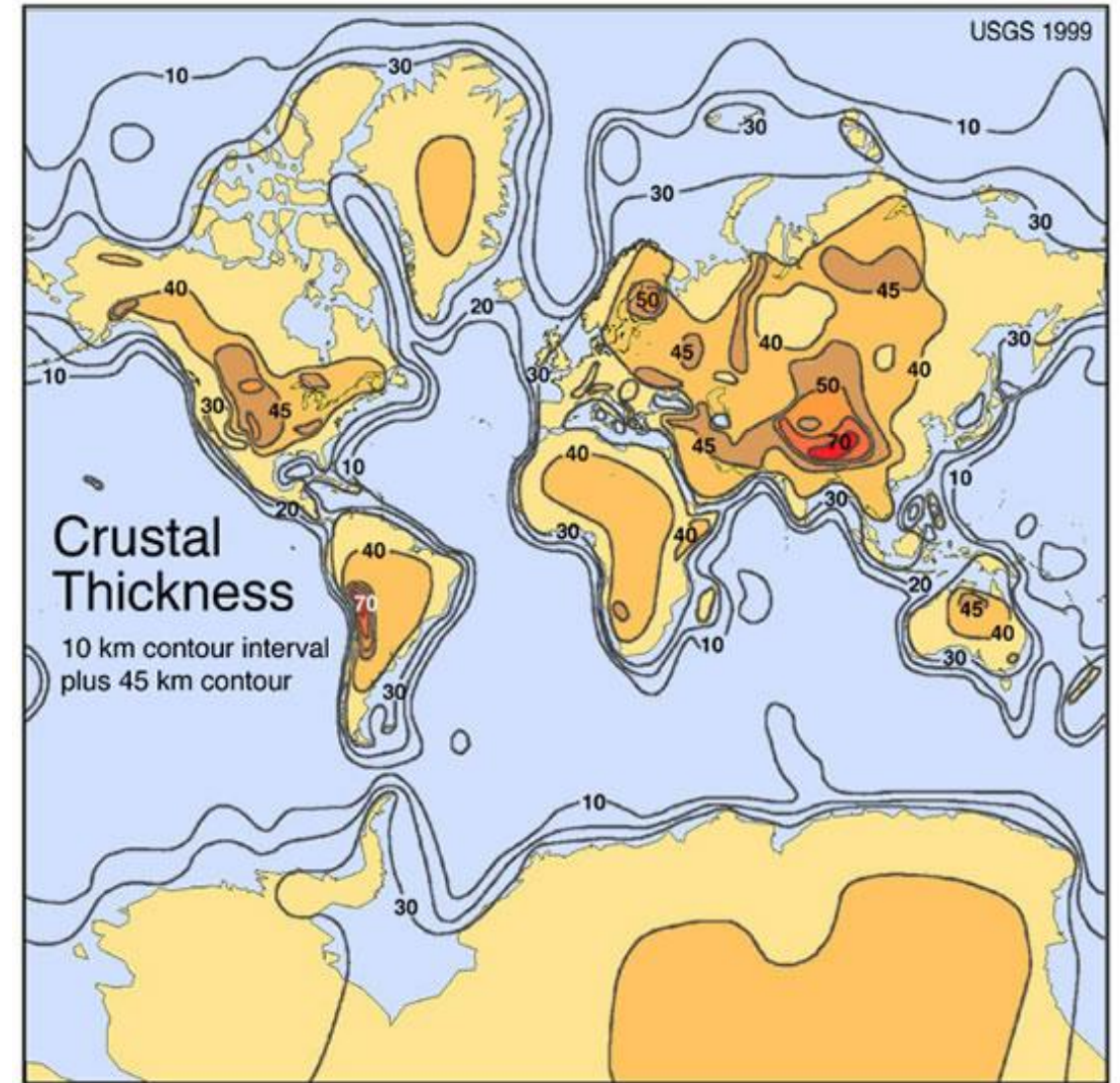
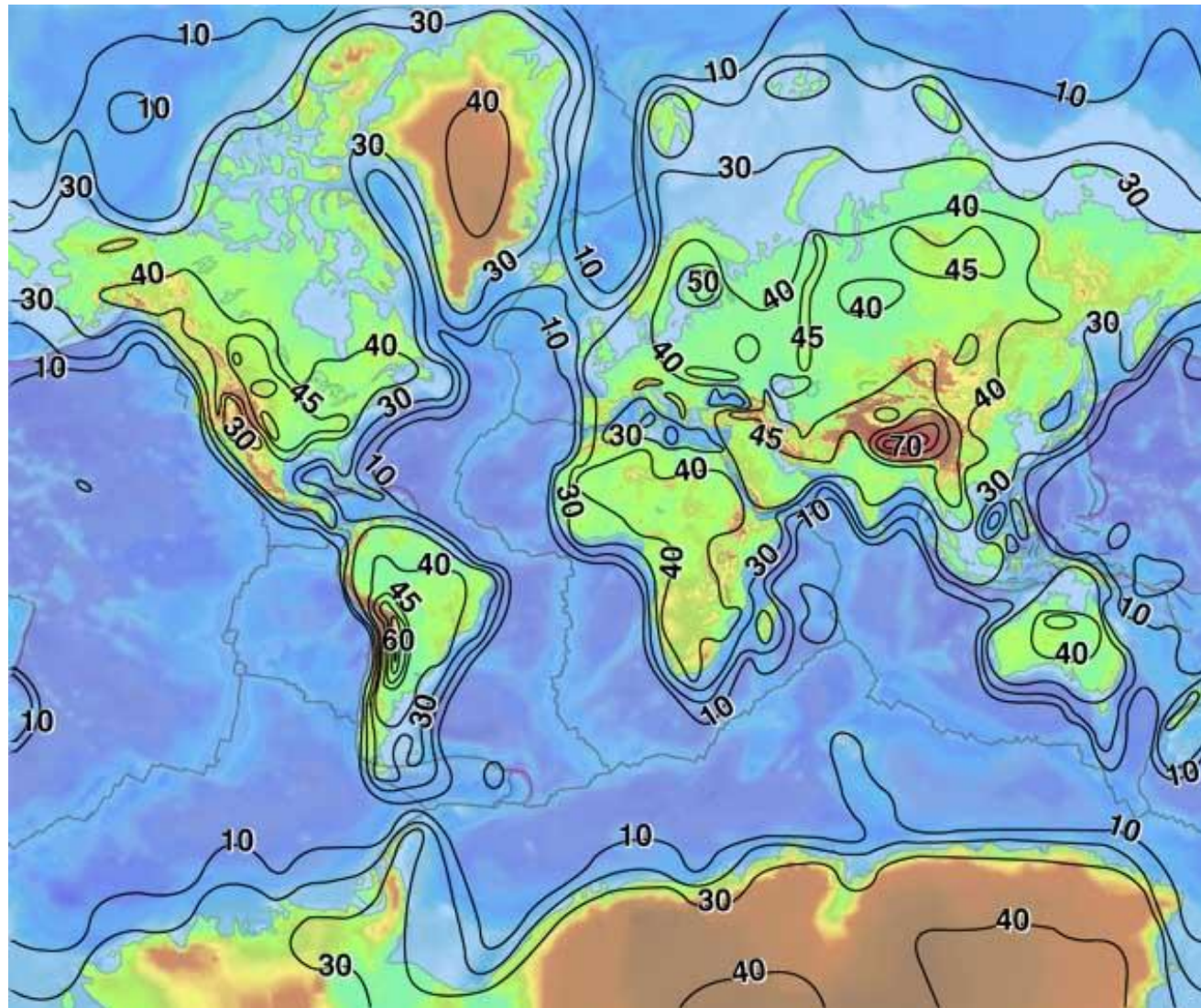
17% 2

Continentale

83% 10



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



Spessore della crosta e profondità della MOHO

# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

## Composizione:

**Crosta** (ricca di silicio e alluminio, identificata da J. Milne, Lord Reyleig, Lord Rutherford)

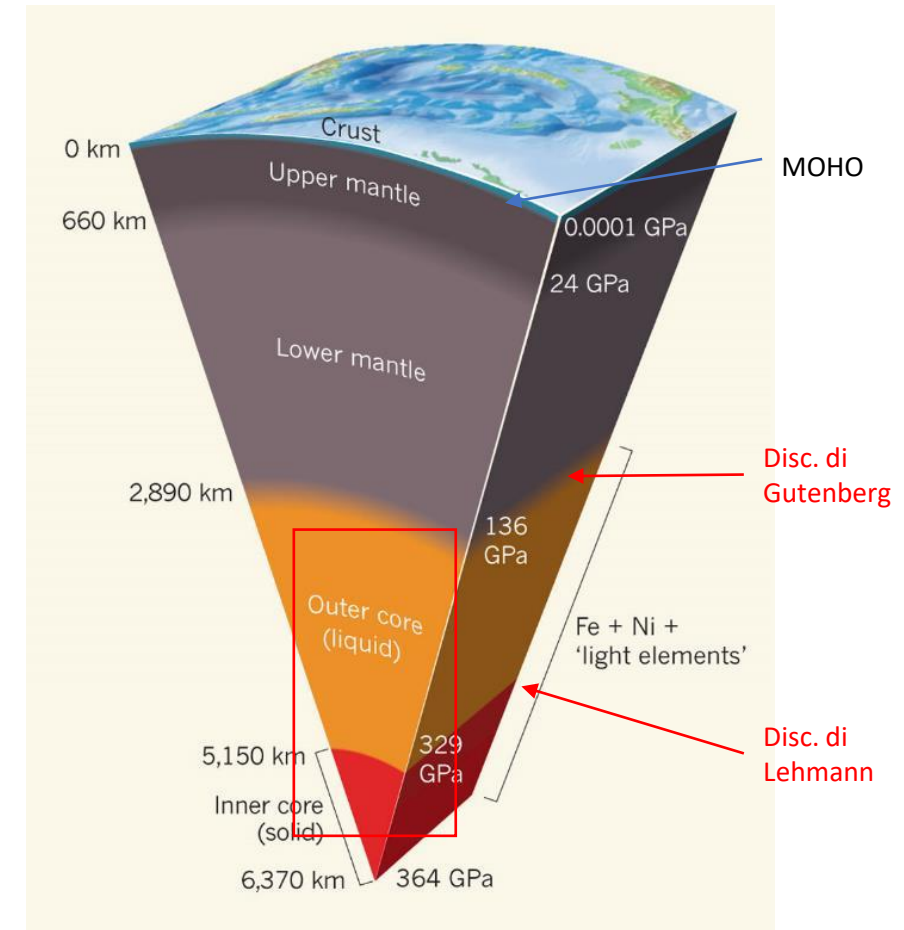
**Mantello** (ricco di silicati e magnesio, così chiamato da E. Wiecher)

L'interfaccia Crosta/Mantello è detta **MOHO** da A. Mohorovicic che la individuò

**Nucleo** (composto da ferro e nickel, scoperto da R.D. Oldham, correttamente definito da B. Gutenberg. Sir H. Jeffreys scoprì che era **liquido** attraverso studi sulle maree mentre I. Lehmann scoprì che la parte più interna è **solida**)

L'interfaccia Mantello/Nucleo è detta **Discontinuità di Gutenberg**  
Al di sopra (tra 100-300 km) di questa discontinuità ne esiste una sismica chiamata **D''**

L'interfaccia nucleo liquido/solido del nucleo è detta **Discontinuità di Lehmann**





# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

## Box 1.2 The Seismological Discovery of the Earth's Core

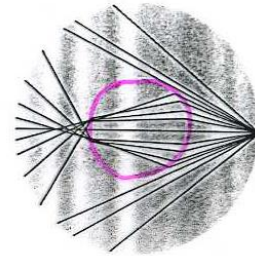
The Constitution of the Interior of the Earth, as Revealed by Earthquakes. By Richard Dixon Oldham, F.G.S. (Read February 21, 1906)

### I. Introductory.

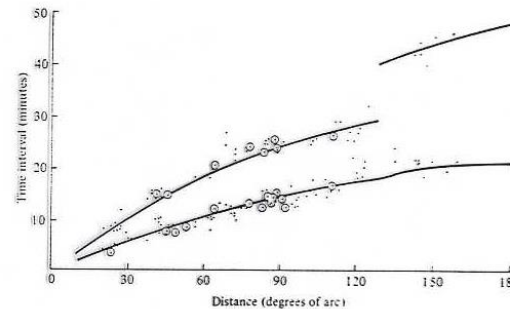
Of all regions of the earth none invites speculation more than that which lies beneath our feet, and in none is speculation more dangerous; yet, apart from speculation, it is little that we can say regarding the constitution of the interior of the earth. We know, with sufficient accuracy for most purposes, its size and shape; we know that its mean density is about  $5\frac{1}{2}$  times that of water, that the density must increase towards the centre, and that the temperature must be high, but beyond these facts little can be said to be known. Many theories of the earth have been propounded at different times: the central substance of the earth has been supposed to be fiery, fluid, solid, and gaseous in turn, till geologists have turned in despair from the subject, and become inclined to confine their attention to the outermost crust of the earth, leaving its centre as a playground for mathematicians.

The object of this paper is not to introduce another speculation, but to point out that the subject is, at least partly, removed from the realm of speculation into that of knowledge by the instrument of research which the modern seismograph has placed in our hands. Just as the spectroscope opened up a new astronomy by enabling the astronomer to determine some of the constituents of which distant stars are composed, so the seismograph, recording the unfelt motion of distant earthquakes, enables us to see into the earth and determine its nature with as great a certainty, up to a certain point, as if we could drive a tunnel through it and take samples of the matter passed through. The subject is yet in its infancy, and much may ultimately be expected of it; already some interesting and unexpected results have come out, which I propose to deal with in this paper.

From R. D. Oldham, "The Constitution of the Interior of the Earth, as Revealed by Earthquakes," *Quarterly Journal, Geological Society*, 62, 456-475, 1906.



Paths of seismic waves through the Earth assuming a core of radius  $0.4R$ , in which the speed is 3 km/sec, while the speed outside it is 6 km/sec. [From Oldham, 1906.]



Time curves of first and second phases of preliminary tremors. The marks surrounded by circles are averages. [From Oldham, 1906.]

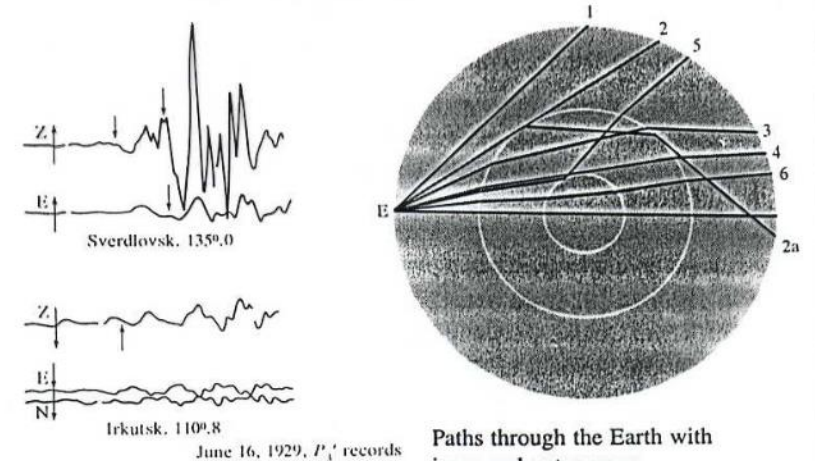
## Box 1.4 The Seismological Discovery of the Earth's Inner Core

$P'$

By I. Lehmann

An explanation of the  $P'_3$  wave is required, since now it can hardly be considered probable that it is due to diffraction. A hypothesis will here be suggested which seems to hold some probability, although it cannot be proved from the data at hand.

We take it that, as before, the earth consists of a core and a mantle, but that inside the core there is an inner core in which the velocity is larger than in the outer one. The radius of the inner core is taken to be  $r_1 = \frac{8}{10} r_0 \sin 16^\circ = 0.2205 r_0$ , so that the ray whose angle of incidence at the surface of the earth is  $16^\circ$  just touches the inner core.



Paths through the Earth with inner and outer cores. [From Lehmann, 1936.]

From I. Lehmann, " $P'$ ," Bureau Central Seismologique International, Series A, *Travaux Scientifique*, 14, 88, 1936.



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Sezione della Terra basata sulle evidenze sismologiche:

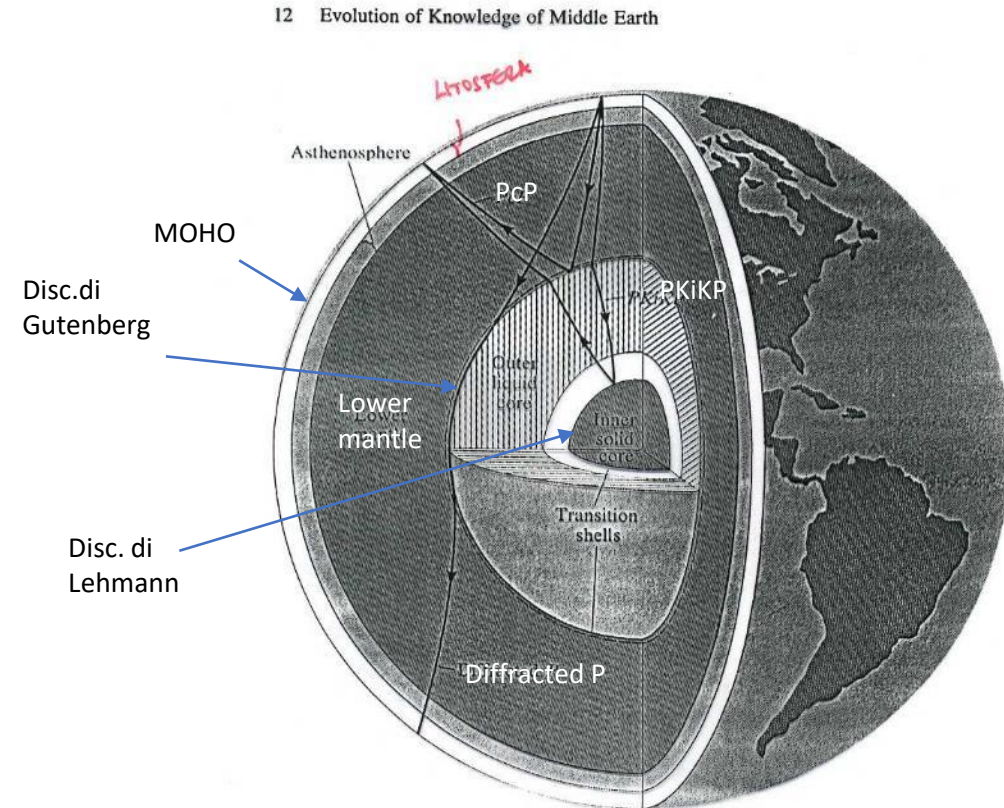
Il **guscio esterno** roccioso ha discontinuità strutturali capaci di riflettere e modificare le onde sismiche.

Al di sotto del mantello la **parte esterna del nucleo** è fluida (mentre il cuore del **nucleo** è **solido** e l'interfaccia è detta discontinuità di Lehmann).

**PcP**: onde riflesse dalla Disc. di Gutenberg

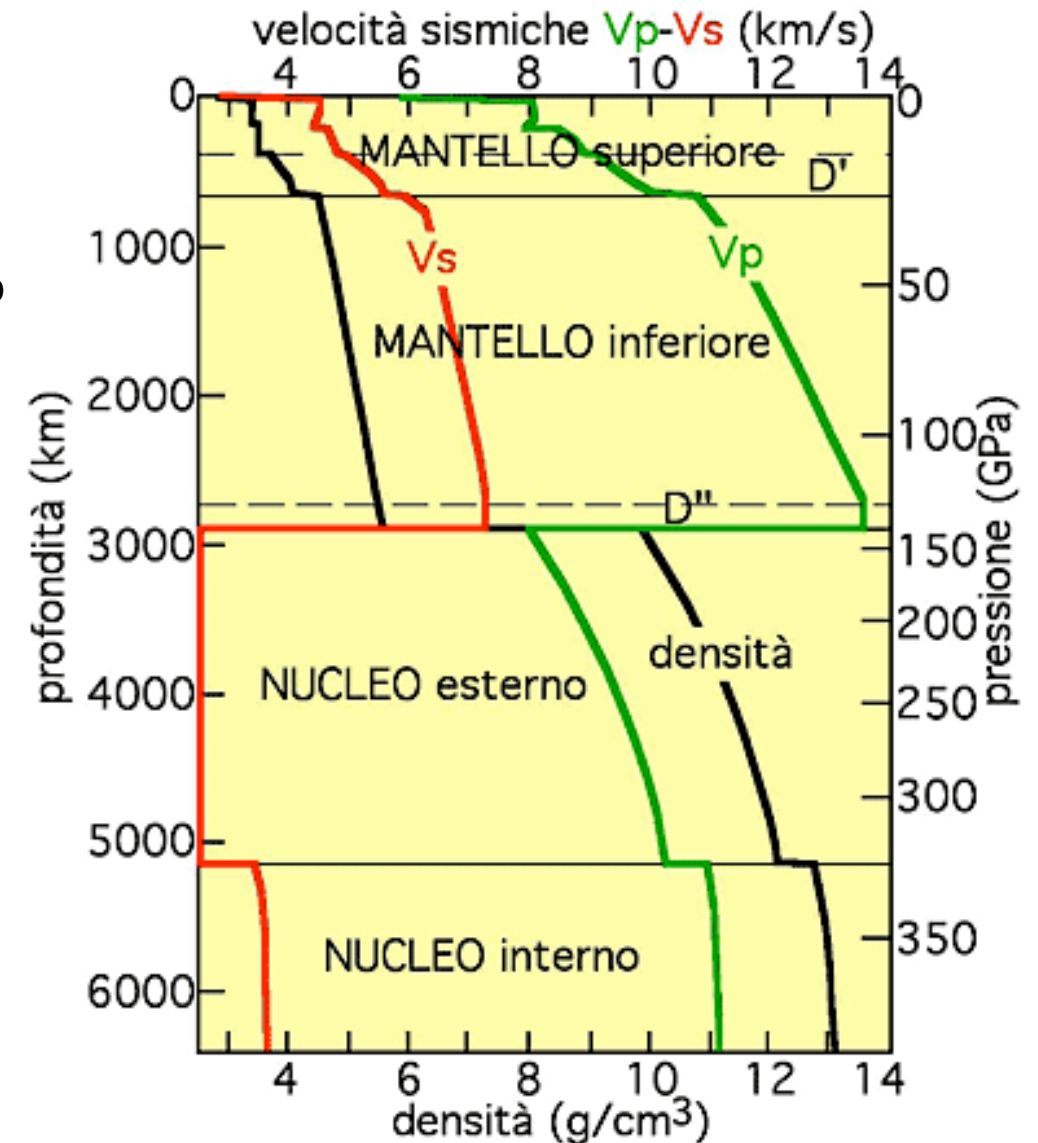
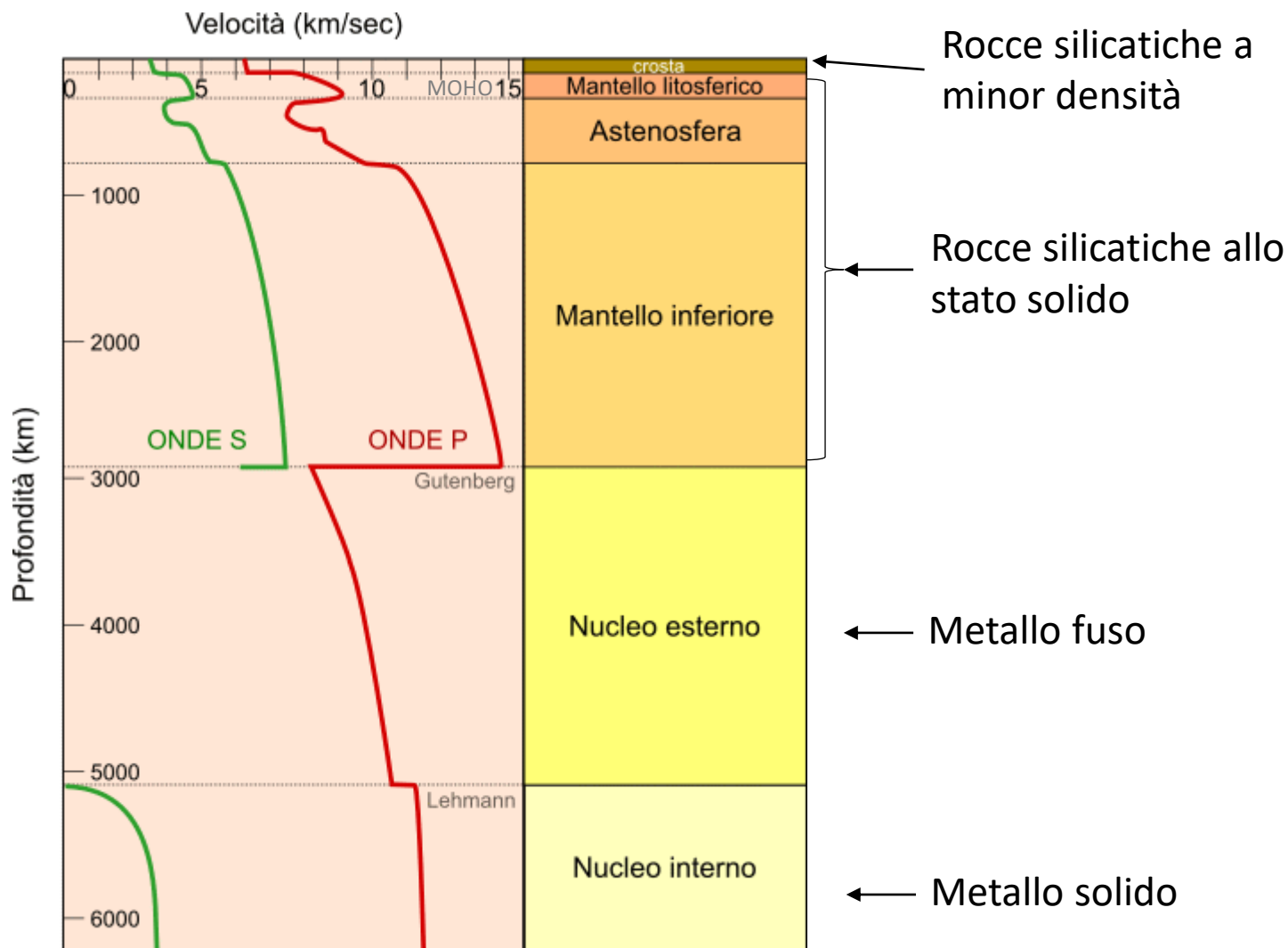
**PKiKP**: onde riflesse dalla Disc. di Lehmann

**P diffratte**: onde che "scivolano" sulla Disc. di Gutenberg

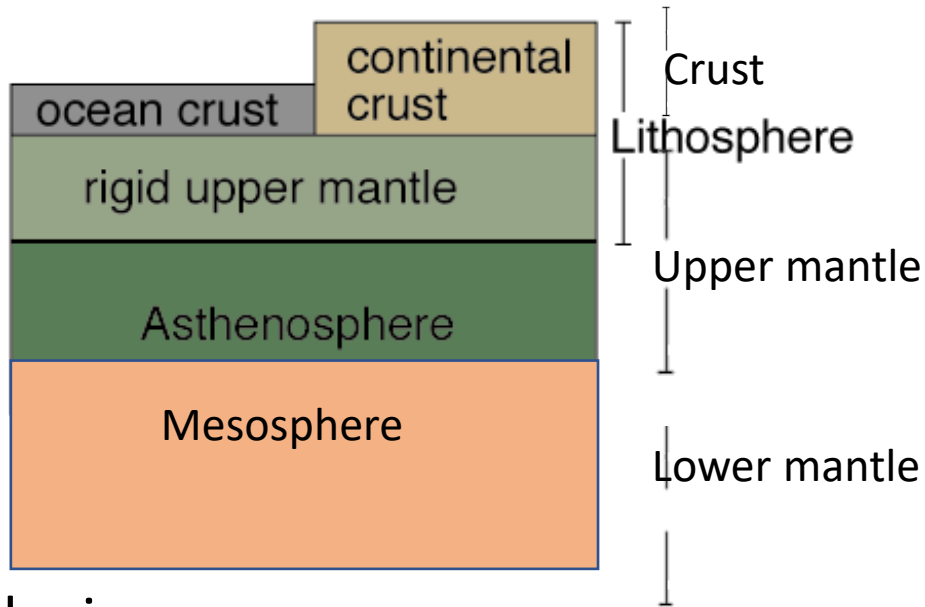


**Figure 1.3** A cross section of the Earth based on the most recent seismological evidence. The outer shell consists of a rocky mantle that has structural discontinuities in its upper part and at its lower boundary that are capable of reflecting or modifying earthquake waves. Below the mantle an outer fluid core surrounds a solid kernel at the Earth's center; between the two is a transition shell. The paths taken by three major kinds of earthquake waves are shown. The waves reflected from the outer liquid core are designated *PcP*; the waves reflected from the inner solid core are *PKiKP*; and the waves that creep around the liquid core are diffracted *P*. [From Bruce A. Bolt, "The Fine Structure of the Earth's Interior." Copyright © 1973 by Scientific American, Inc. All rights reserved.]

# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

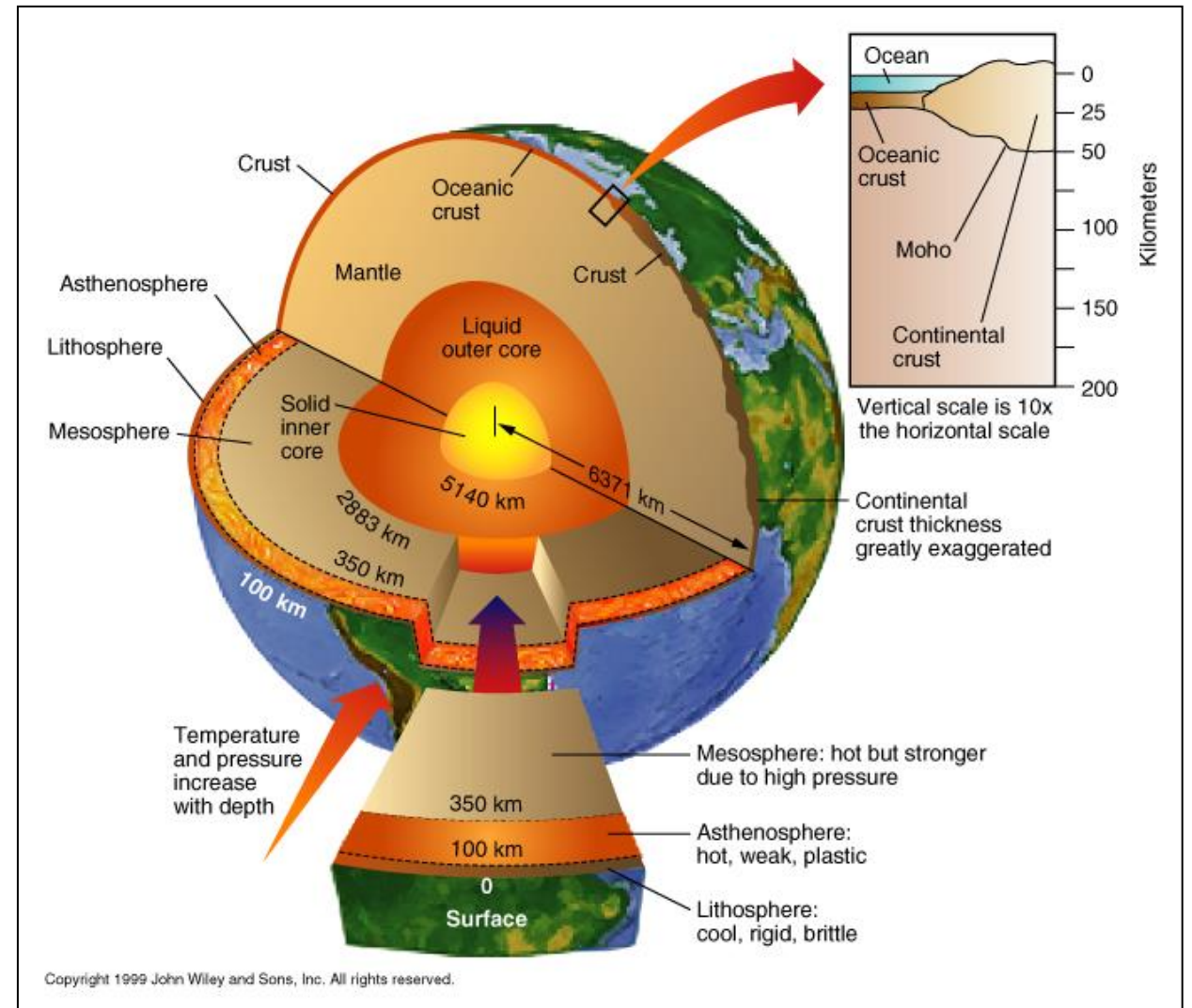


## Reologia:

**Litosfera:** si comporta come un corpo rigido, frammentato in porzioni dette placche e in moto reciproco l'una con l'altra

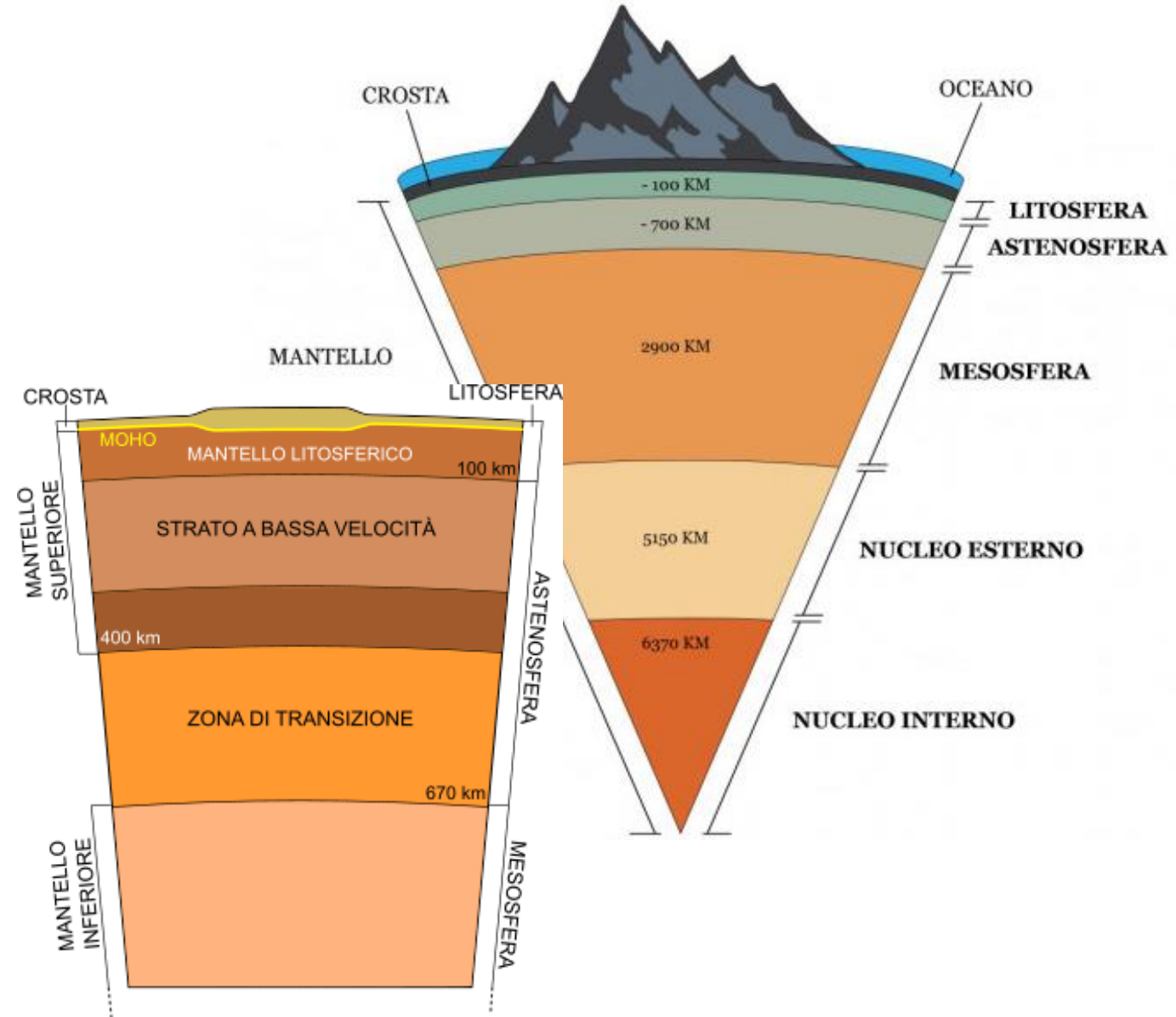
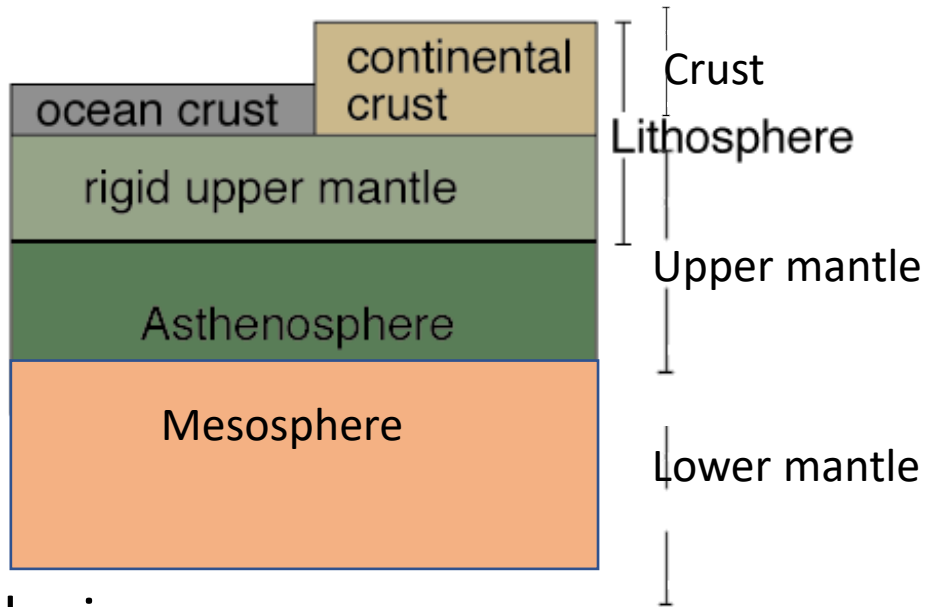
**Astenosfera:** soggetta a deformazioni duttili

**Mesosfera:** si estende da 350 km di profondità fino al nucleo





# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



Reologia:

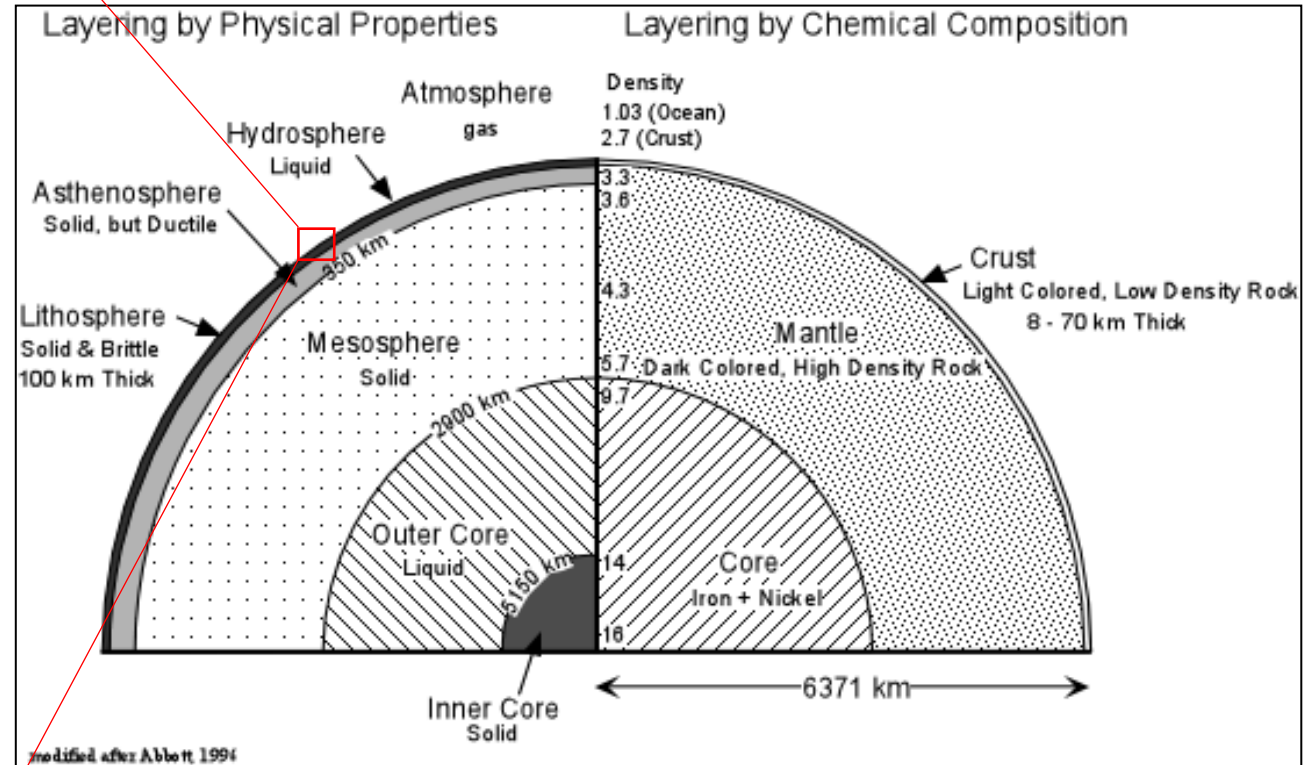
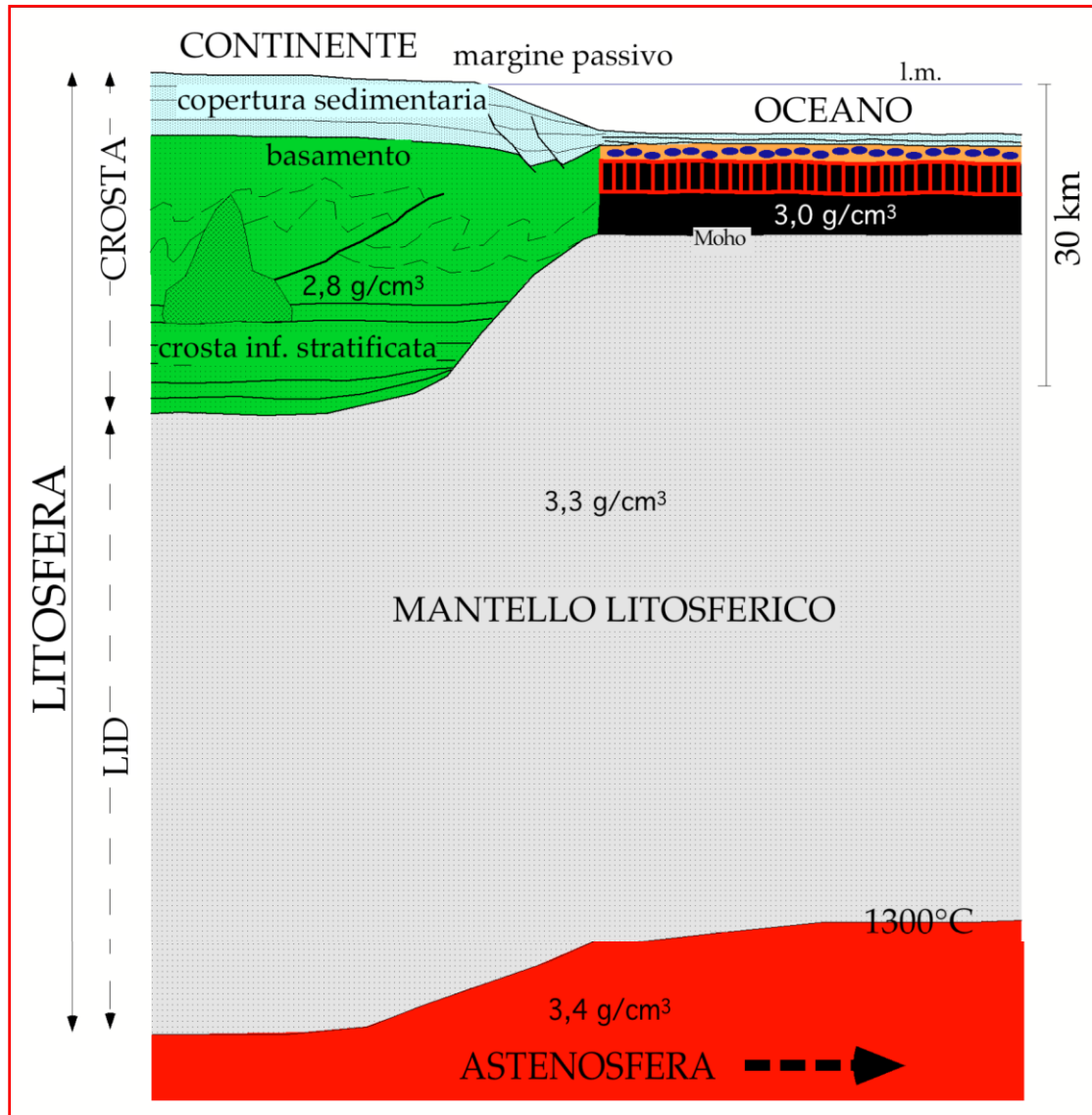
**Litosfera:** si comporta come un corpo rigido, frammentato in porzioni dette placche e in moto reciproco l'una con l'altra

**Astenosfera:** soggetta a deformazioni duttili

**Mesosfera:** si estende da 350 km di profondità fino al nucleo (in alcune rappresentazioni viene posta oltre i 650 km al di sotto di un "zona di transizione facente ancora parte dell'astenosfera")

# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

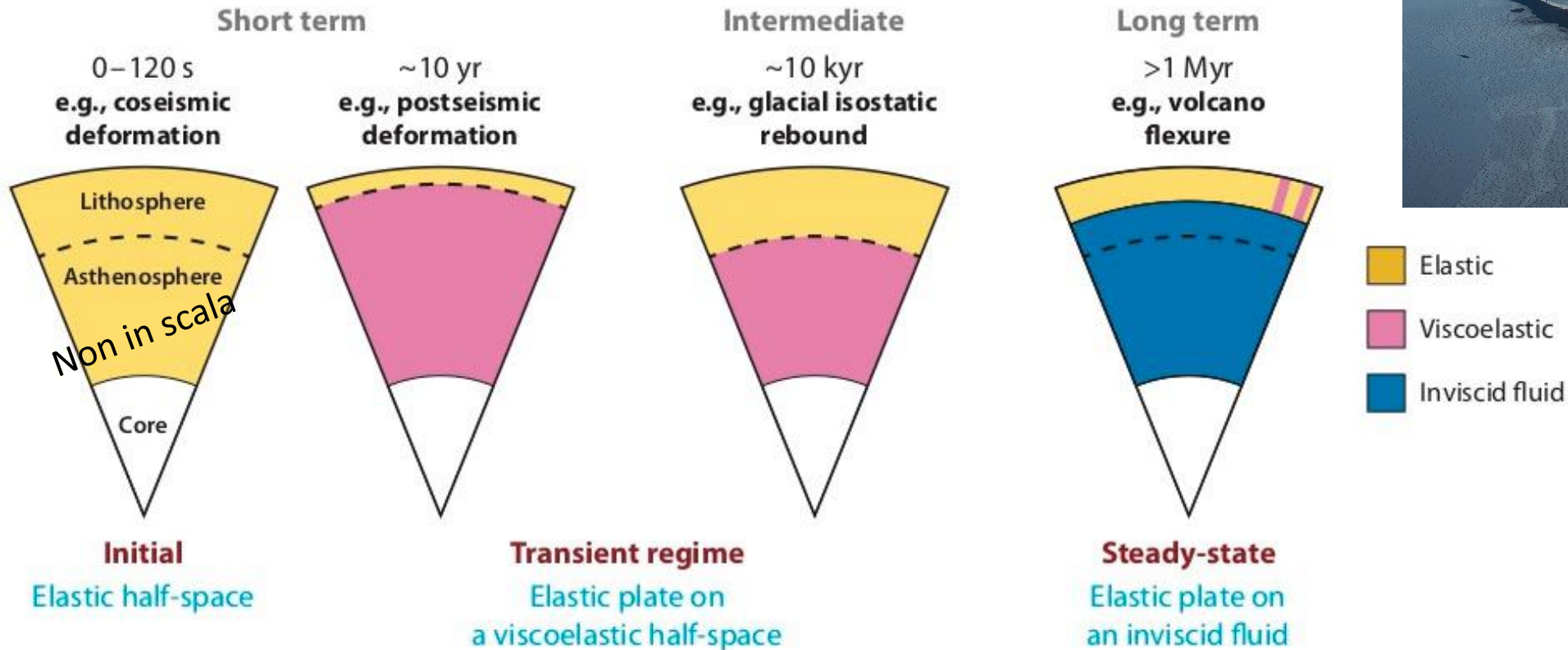
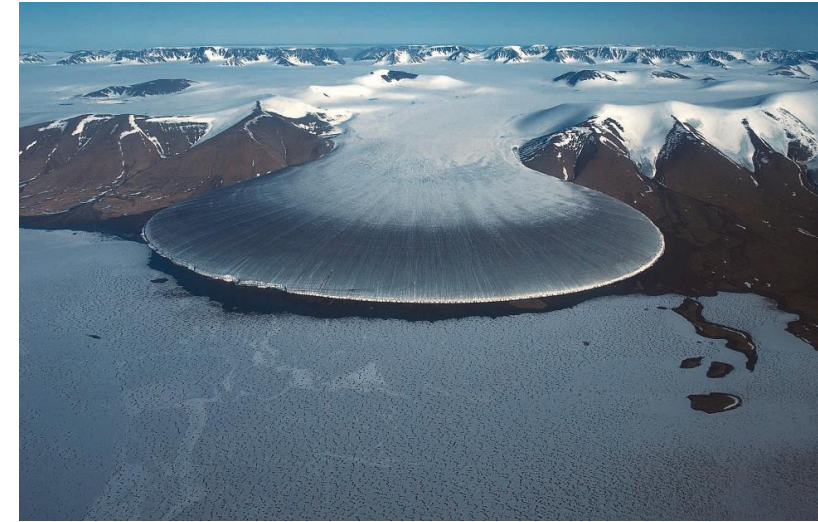
Variazioni di proprietà  
fisiche e chimiche



# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Ma se il mantello è solido, come è possibile che “si comporti come un liquido?”

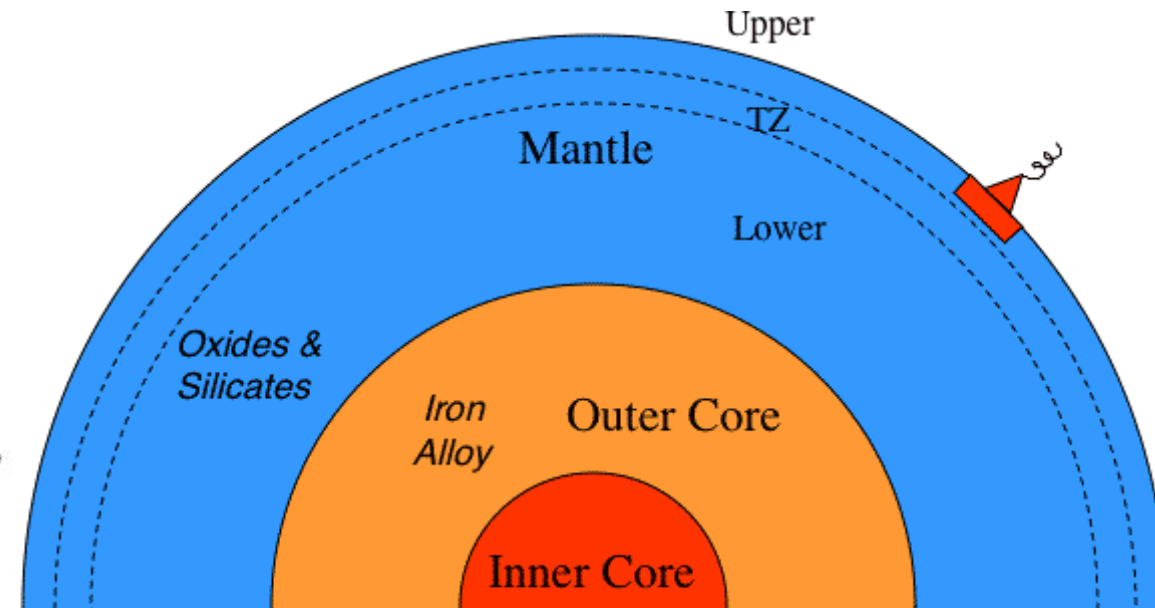
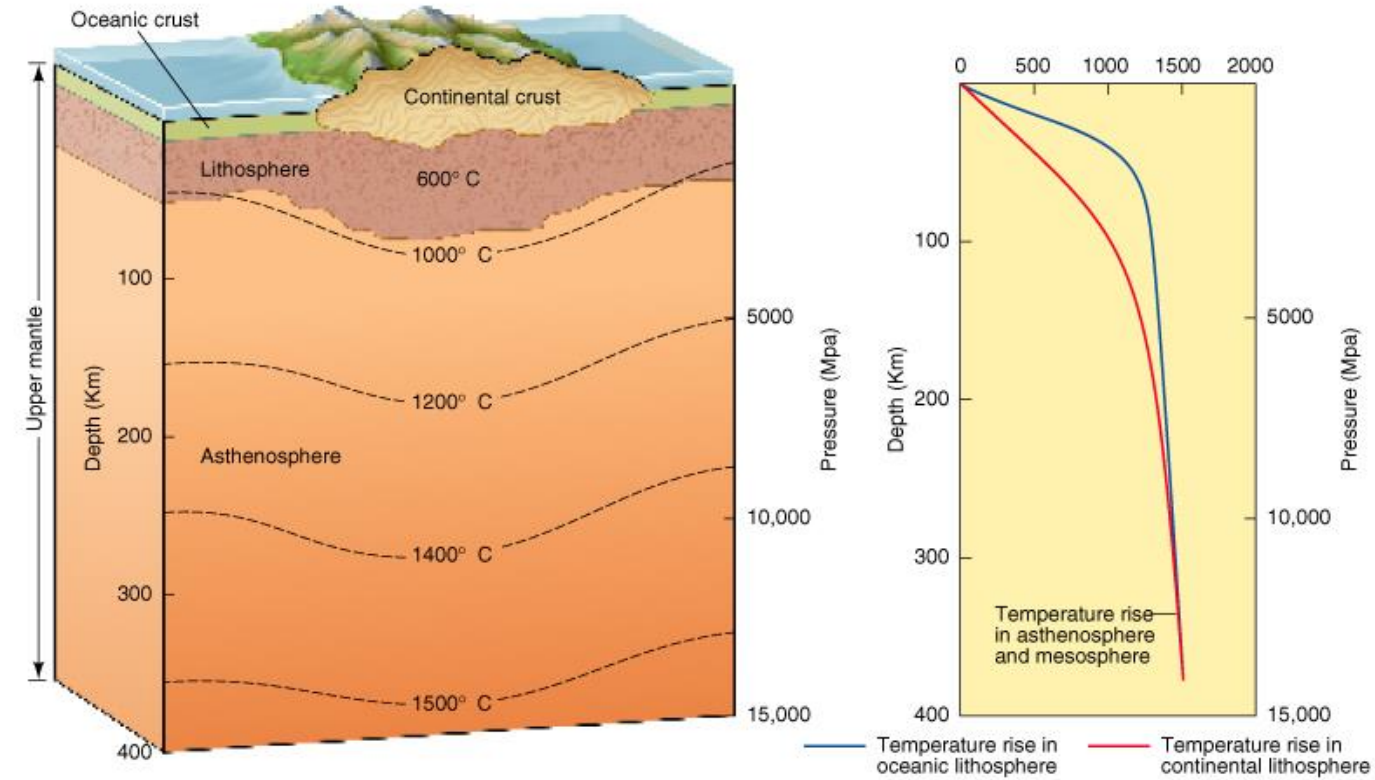
Analogia acqua/ghiaccio: si comporta come un solido nel breve periodo e come un liquido che fluisce nel lungo periodo





# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

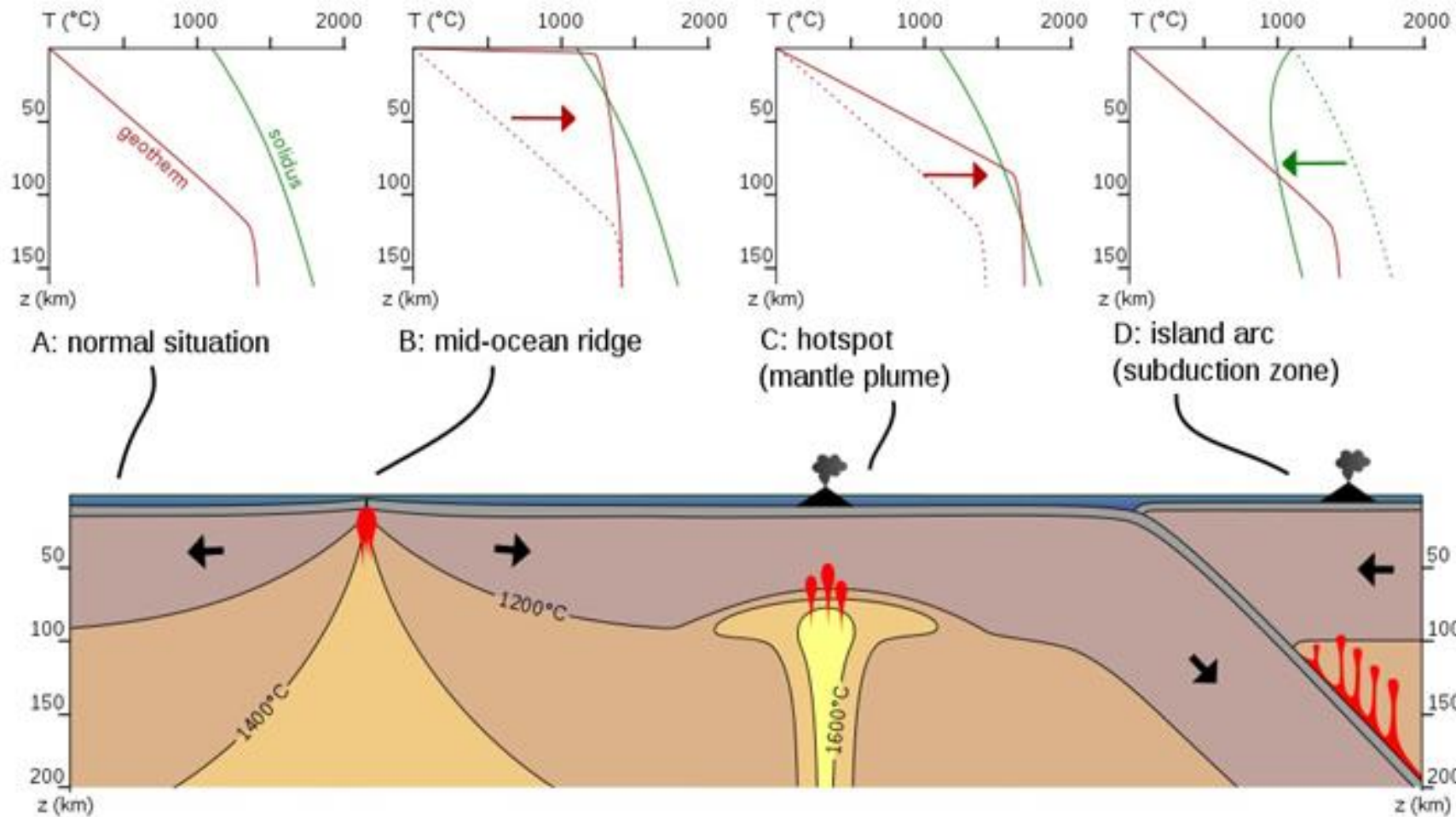
## Variazioni di temperatura



Depth	0	660	2890	5150	6371	km
Pressure	0	24	136	329	363	GPa
Temperature	300	1800	3000	5500	6000	K

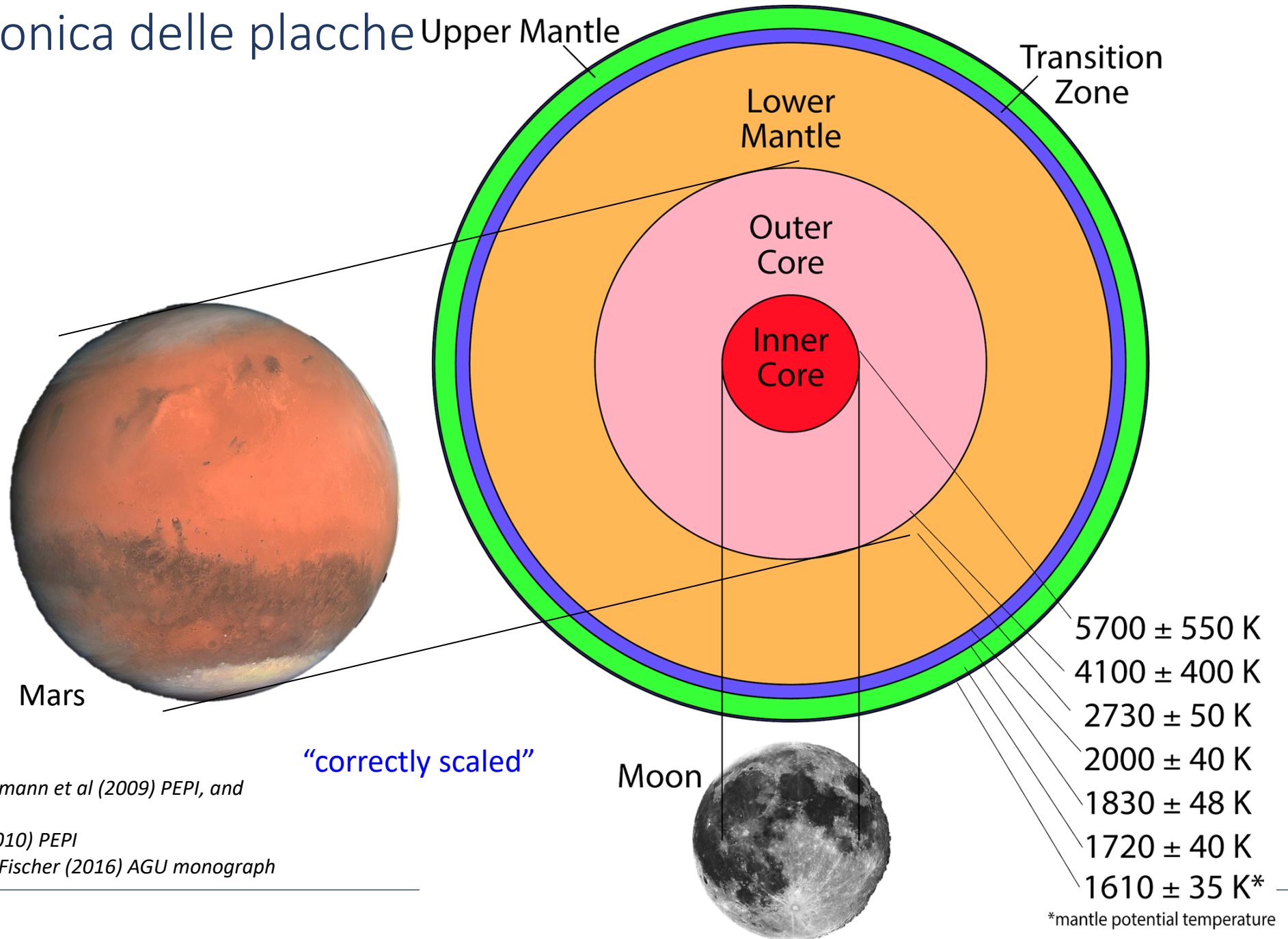
# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

## Variazioni di temperatura



1400°C circa la temperatura di fusione del mantello e l'isoterma che demarca l'interfaccia litosfera/astenosfera

# Tettonica delle placche



Mantle potential temperatures: Hirschmann et al (2009) PEPI, and Sarafian et al (2017) Science

Mantle temperatures: Katsura et al (2010) PEPI

Core temperatures: Tsuchiya et al and Fischer (2016) AGU monograph

# Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

**Crosta vs mantello:** la crosta è il prodotto del mantello fuso. Il mantello ha un rapporto Mg/Fe maggiore che la crosta ed un minor contenuto di Si e Al

**Litosfera vs astenosfera:** usando come unità di misura le ere geologiche, la litosfera si comporta come un corpo rigido, suddiviso in placche in moto reciproco, mentre l'astenosfera si comporta come un corpo duttile. La litosfera è sia di tipo oceanico che continentale

**Mantello superiore vs mantello inferiore:** la parte della litosfera al di sotto della crosta e l'astenosfera, insieme, formano il mantello superiore, mentre la mesosfera, che si estende fino al nucleo esterno, corrisponde al mantello inferiore

# Riepilogo

# Riepilogo

## Quiz

How to participate?



- 1 Go to [wooclap.com](https://wooclap.com)
- 2 Enter the event code in the top banner

Event code  
**RIEPILOGO**

wooclap



# wooclap



Attenzione, non c'è nessuna votazione in corso al momento. Ti sarà recapitato un avviso quando inizierà la votazione.



# Riepilogo

## Della lezione precedente...

Geofisica sta a tettonica come fisica sta a atomo di Bohr

La trasmissione delle onde sismiche

Comportamento dell'astenosfera

La propagazione delle onde

Elasticità dell'astenosfera nel breve, intermedio e lungo periodo

Mi ha colpito quanto la materia sia simile a cosa mi aspettavo di vedere

Differenza fra reologia e la composizione chimica

Comportamento dell'astenosfera in funzione della scala temporale

Come si trasmettono le onde

Il comportamento reologico

reologia

Litosfera astenosfera mesosfera - crosta moho, mantello

Reologia terrestre

\*necessito di piu lezioni per rispondere\*

La distinzione tra la fisica terrestre e geofisica

Il cervello di un geofisico

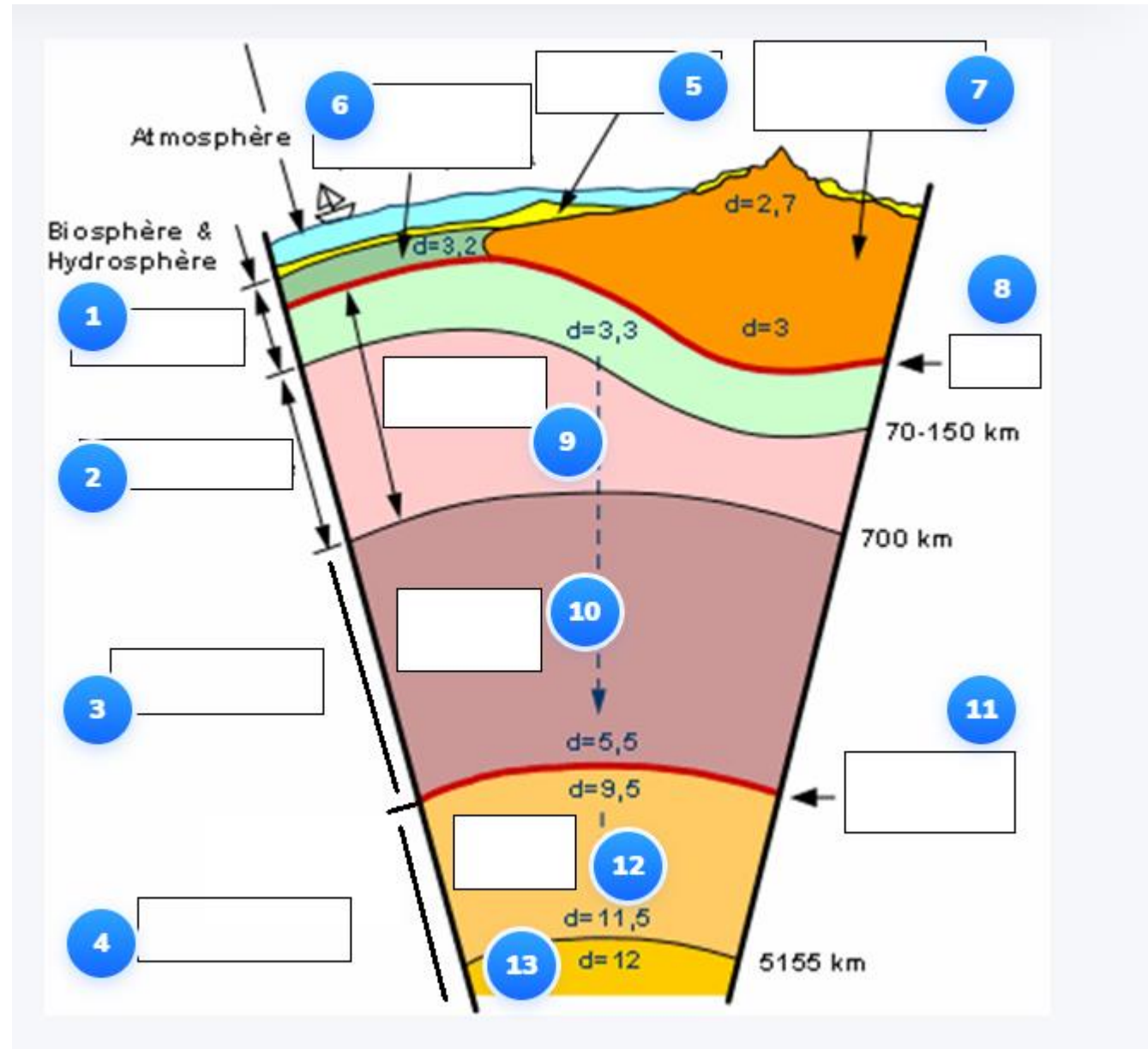
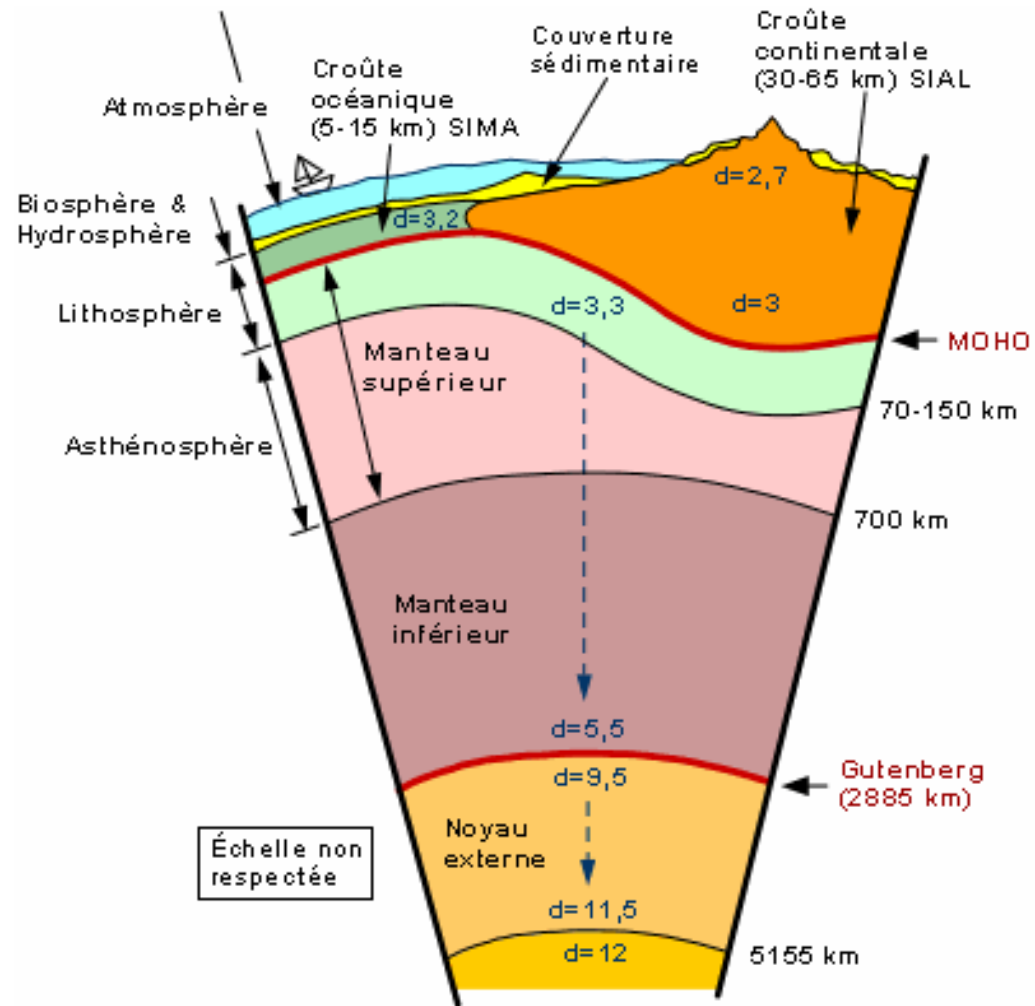
Low velocity zone

La struttura schematica del pianeta terra

Dimensioni del moho

# Riepilogo

## Quiz: struttura interna della Terra



# Tettonica delle placche: quando nasce?

# Domande iniziali

- Quanti anni ha la teoria della tettonica a placche?

Più di 100

50%

6 

Meno di 100

50%

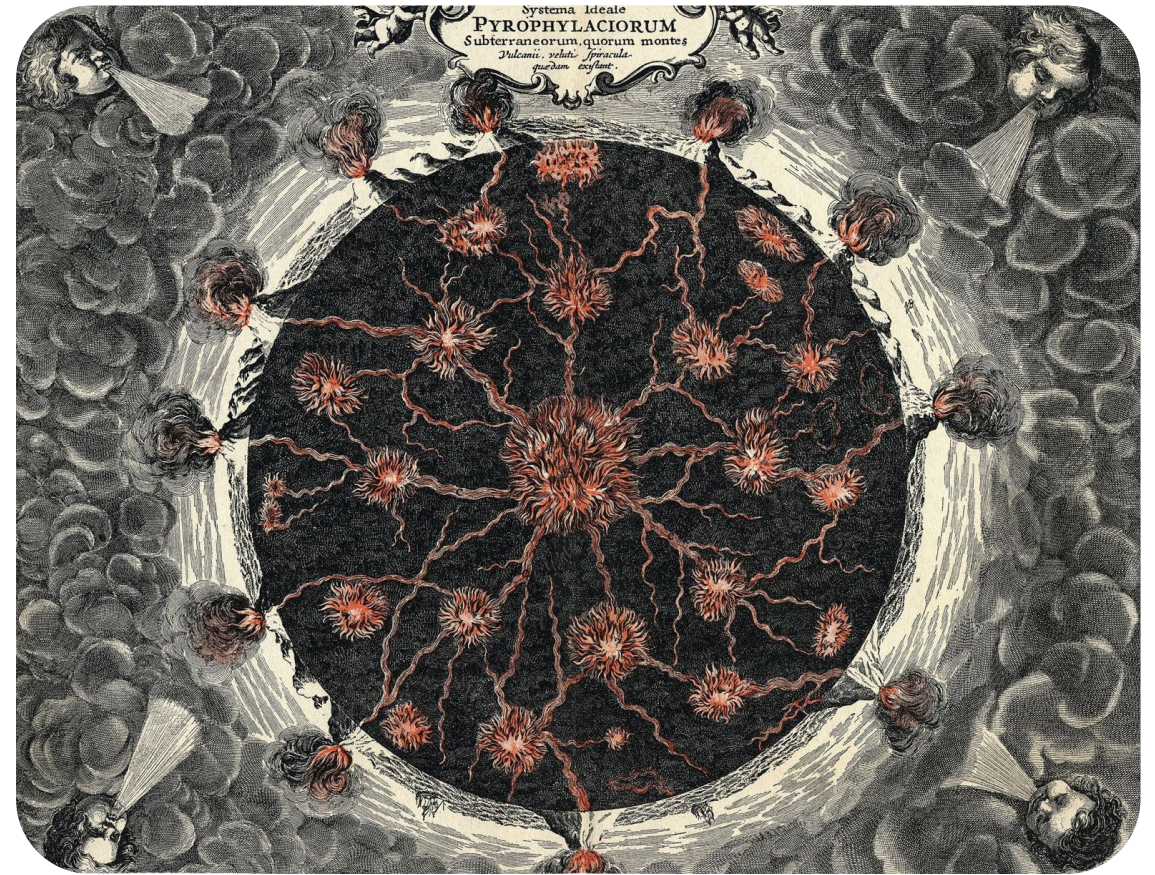
6 



# Tettonica delle placche: quando nasce?

A partire dalla metà del 1600 si pensava che la Terra **si fosse raffreddata dal suo stato fuso** e che la **contrazione** avesse **originato la topografia**: montagne e fosse oceaniche.

Il fatto che fossili, piante ed animali simili (quindi con origini comuni) venissero ritrovati su diversi continenti, veniva spiegato con l'ipotesi di **ponti di terra tra i continenti** successivamente sommersi dagli oceani.



Una prima visione dell'interno della Terra (metà 1600 circa). L'autore concepiva la Terra come una **sfera di materiale solido fessurato da tubi di magma che collegavano sacche di gas eruttivo con bocche vulcaniche in superficie**. I terremoti erano generati da forti venti che soffiavano all'interno dei tunnel sotterranei

# Tettonica delle placche: quando nasce?

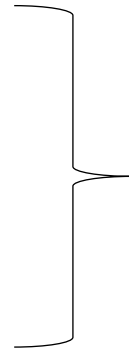
Tre concetti apparentemente separati (e sostenuti da pochi scienziati e una dozzina di lavori scientifici) si rivelano invece essere strettamente connessi:

Deriva dei continenti

Espansione dei fondali oceanici

Inversione geomagnetica\*

\* Un metodo per datare i processi delle placche



1962/68 – Harry Hammond Hess

Rivoluzione nel ‘ pensiero tettonico’:

La deriva dei continenti era avvenuta attraverso il processo di espansione dei fondali oceanici°

° Fino ad allora **molte delle teorie pre-esistenti non erano accettate nel mondo Americano** (mentre avevano già preso piede in Europa e Asia) perché non potevano essere provate o verificate e quindi secondo gli studiosi di allora erano sbagliate



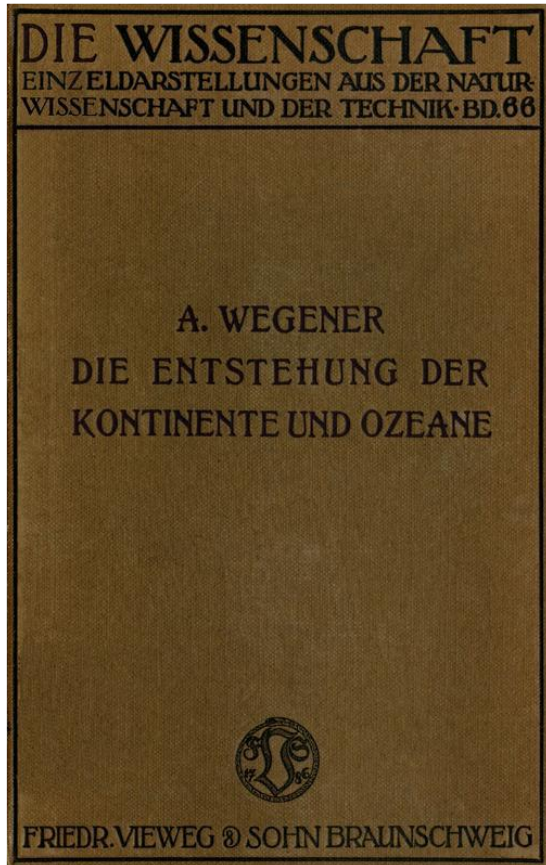
Geologo marino (1906-1969)



# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)



Geografo (1802-1885)



Geologo, meteorologo ed esploratore (1880-1930)

# Tettonica delle placche: quando nasce?

1858 – geografo  
Antonio Snider-  
Pellegrini

Precursore del  
concetto di deriva dei  
continenti.

Ipotesi basate su  
evidenze di fossili  
vegetali.

Causa della  
**frammentazione**  
**attribuita al diluvio**  
**universale** della  
Bibbia.



(Reproductions of the original maps courtesy of University of California, Berkeley.)



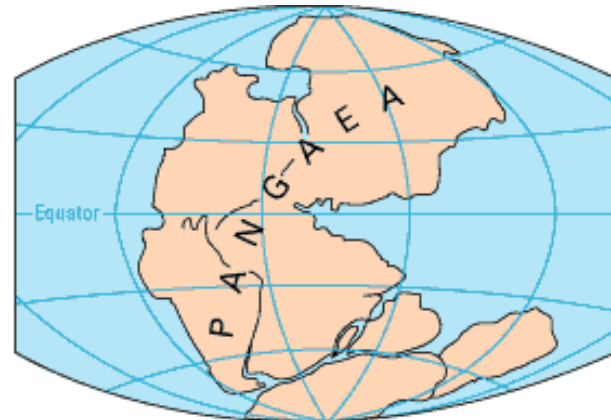
# Tettonica delle placche: quando nasce?

1912/15 – Alfred Wegener

Formulazione concetto di deriva dei continenti.

Ipotesi basate su evidenze fossili.

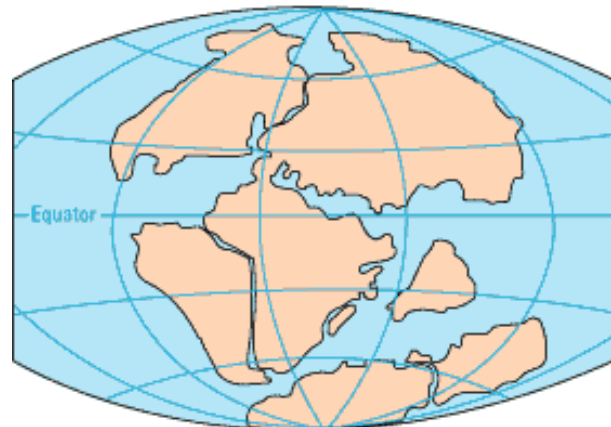
Propone un meccanismo di deriva (movimento dei continenti attraverso le rocce solide dei fondali) già allora non accettato e poi risultato errato.



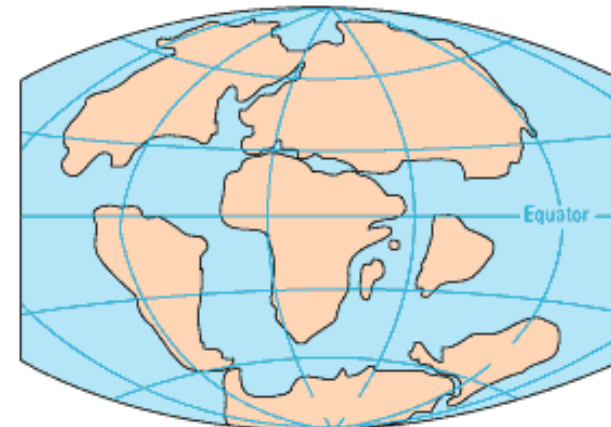
PERMIAN  
225 million years ago



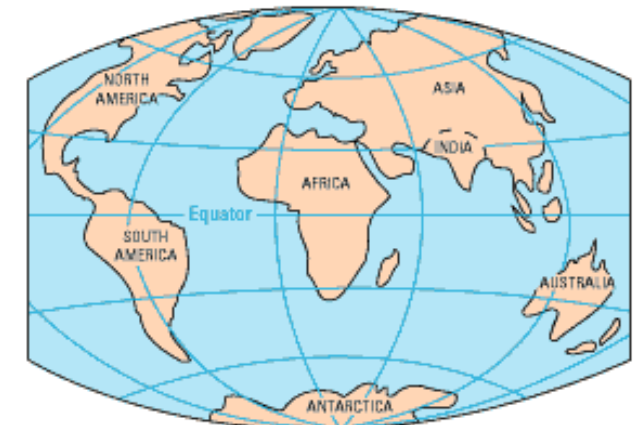
TRIASSIC  
200 million years ago



JURASSIC  
135 million years ago



CRETACEOUS  
65 million years ago



PRESENT DAY

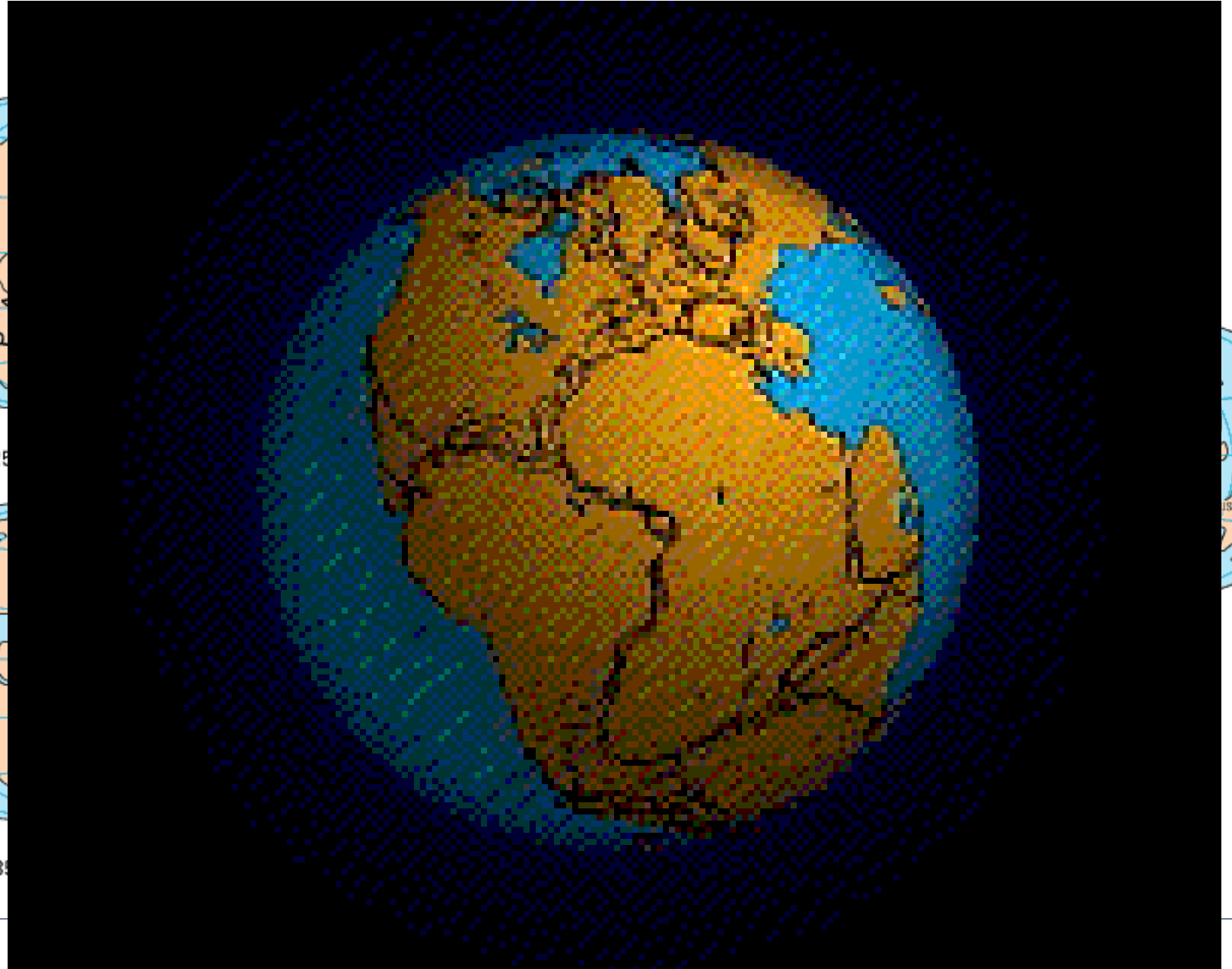
# Tettonica delle placche: quando nasce?

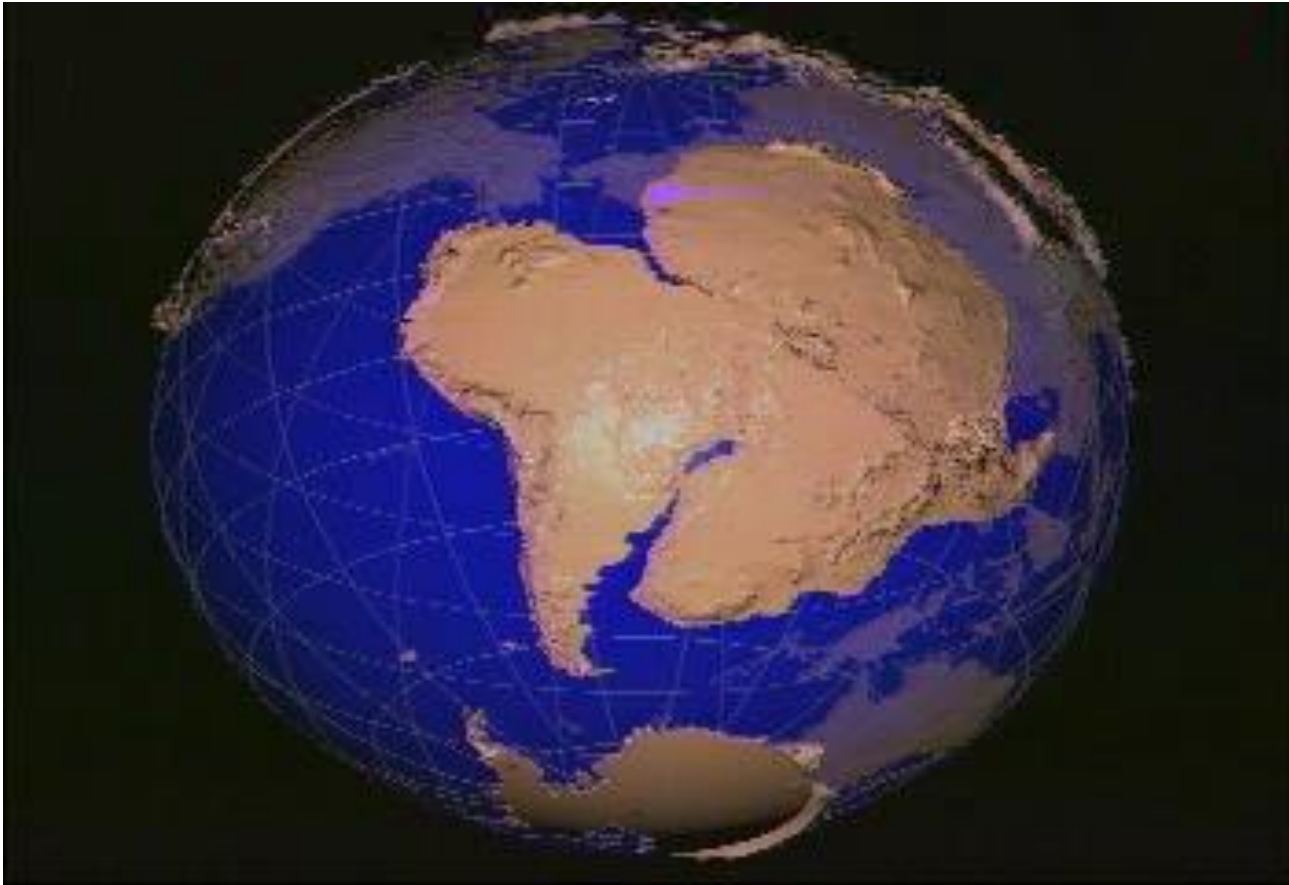
1912/15 – Alfred Wegener

Formulazione concetto di deriva dei continenti.

Ipotesi basate su evidenze fossili.

Propone un meccanismo di deriva (**movimento dei continenti attraverso le rocce solide dei fondali**) già allora non accettato e poi risultato errato.

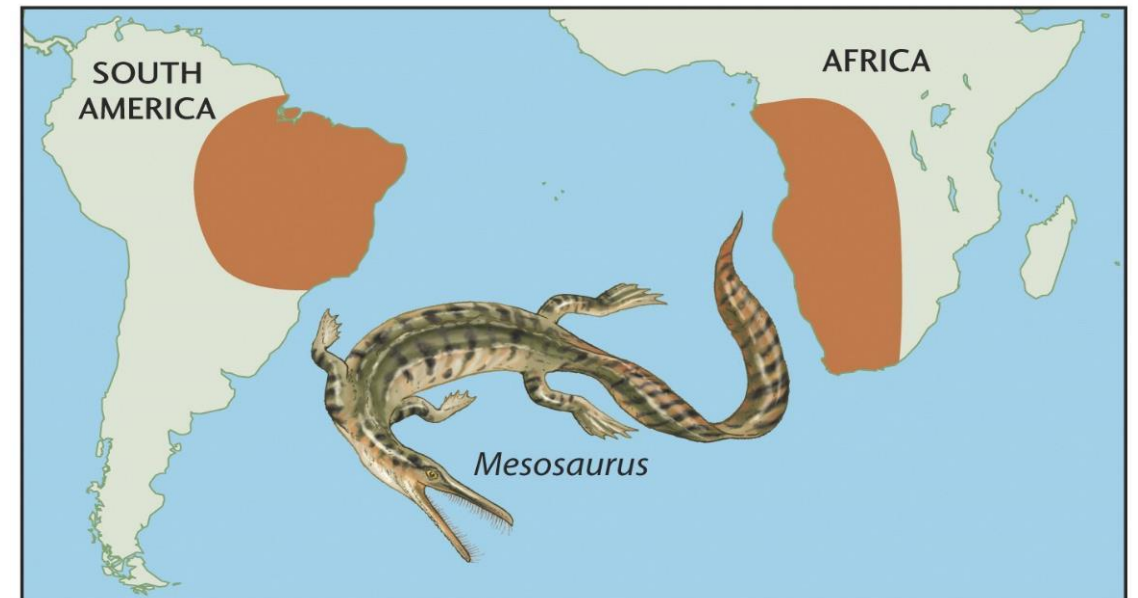
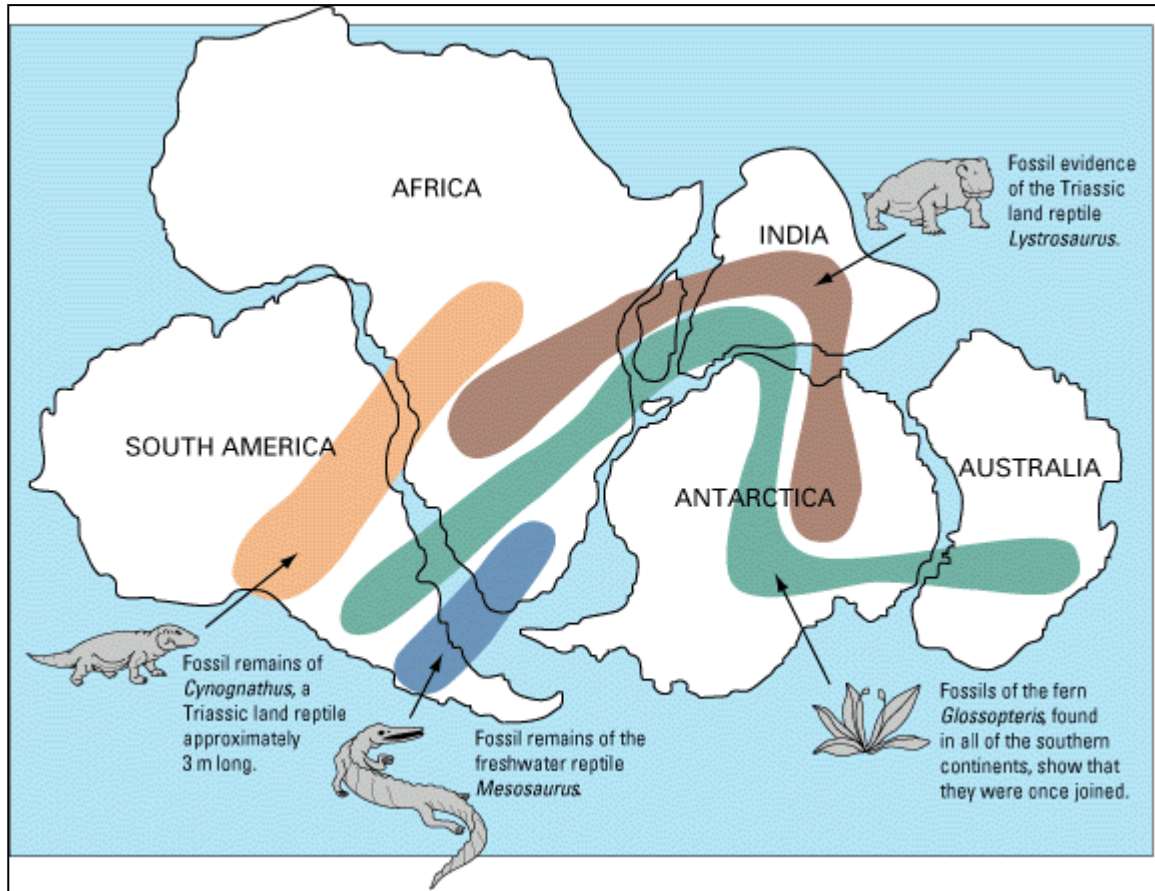




Gli ultimi 130 Milioni di anni

# Tettonica delle placche: quando nasce?

## La Deriva dei continenti (1912/15 – A. Wegener)





# Tettonica delle placche: quando nasce?

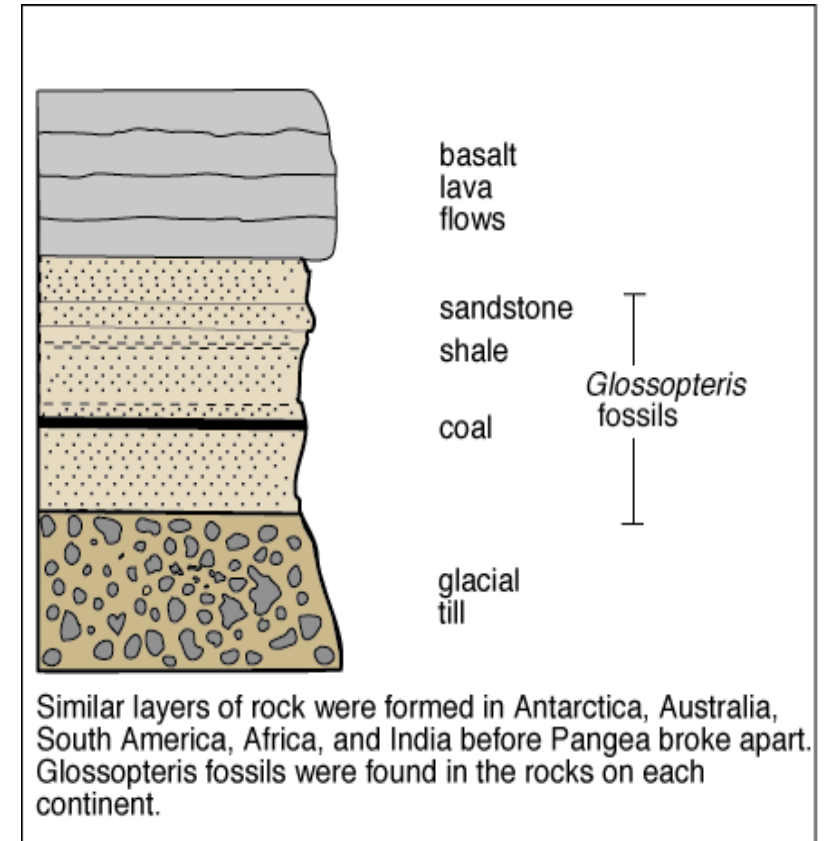
La Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)



**Incastro dei continenti** lungo i margini delle piattaforme continentali che delimitano l'Oceano Atlantico. Nell'incastro, Wegener notò che **rocce precambriane** (molto antiche) poste su continenti ora lontani tornavano a combaciare.

LEGENDA

- Piattaforma continentale
- Corrispondenza tra parti di antiche associazioni di rocce
- associazioni di rocce



# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)

Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)\*

\* Una corrente convettiva in risalita attraverso il mantello forma creste e catene montuose localizzate nel mezzo dell'Oceano Atlantico



Ipotizza quindi che il motore della deriva dei continenti (teoria da lui accettata) è un moto convettivo all'interno del mantello

Il termine «seaflore's spreading» verrà coniato nel 1961/62 sia da Harry Hess che da Robert S. Dietz



Geofisico e geologo (1890-1965)

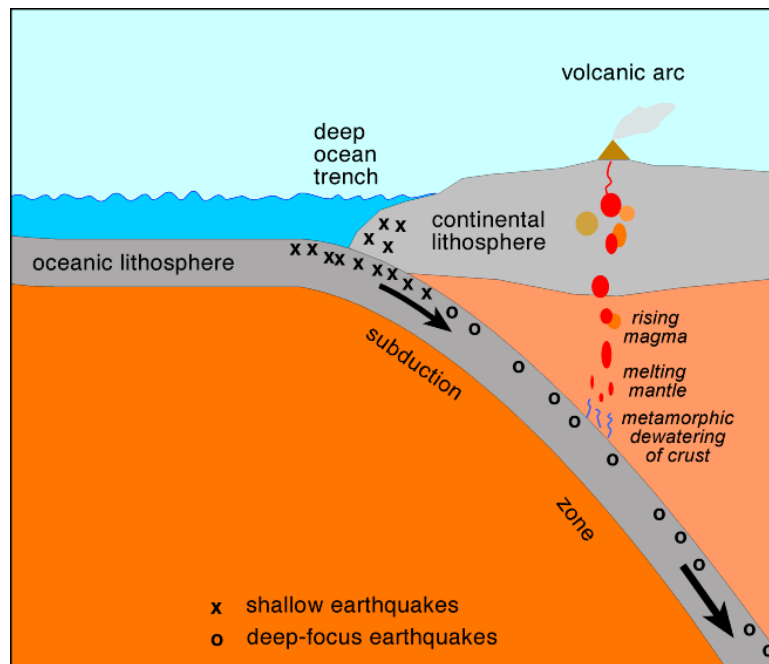
# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)

Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Kiyoo Wadati)\*



\* l'attività vulcanica ed i terremoti potrebbero essere legati alla mobilità crostale.

Il suo nome è legato al pino di Wadati-Beinoff (più noto come Piano di Benioff), cioè il piano inclinato lungo cui si allineano i terremoti profondi



Sismologo (1902-1995)

# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

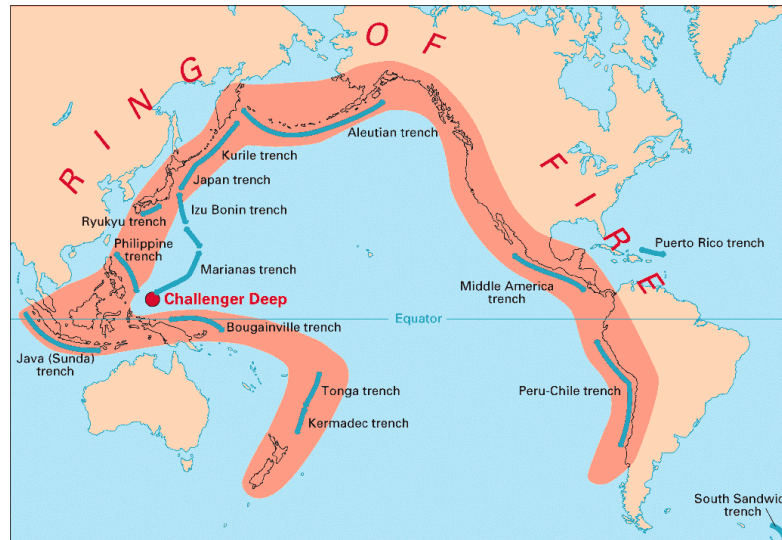
Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)

Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

Pacific Ring (1940 – Hugo Benioff)\*

\* indica che i terremoti tendono ad allinearsi in profondità e la loro distribuzione correlata anche con i vulcani delimita l'anello di fuoco del Pacifico



Sismologo (1899-1968)

# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)

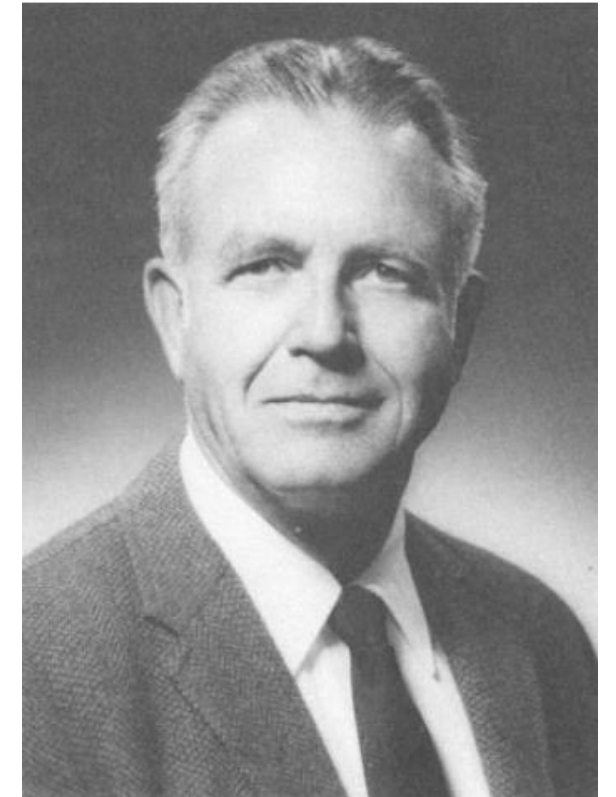
Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"A Theory of Mountain-Building" (1939 – David Trussel Griggs)\*

Pacific Ring (1940 – Hugo Benioff)

\*sulla base di dati sperimentali e modelli in scala afferma che le correnti convettive nel mantello sono responsabili della distribuzione, della struttura e della periodicità degli «episodi di formazione delle montagne» sulla crosta terrestre



Geofisico (1911-1974)



# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)

Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

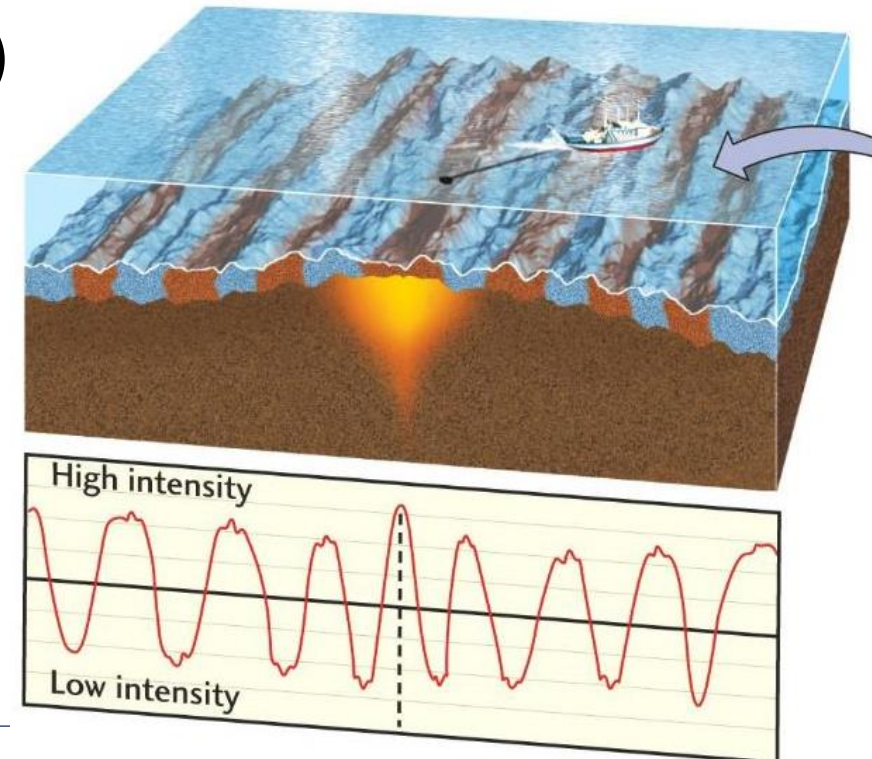
Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"A Theory of Mountain-Building" (1939 – David Trussel Griggs)

Pacific Ring (1940 – Hugo Benioff)

Scoperta inversione campo magnetico terrestre (anni '50)\*

\*viene misurato il campo magnetico del fondale marino e viene stimata l'inversione N-S del campo magnetico terrestre

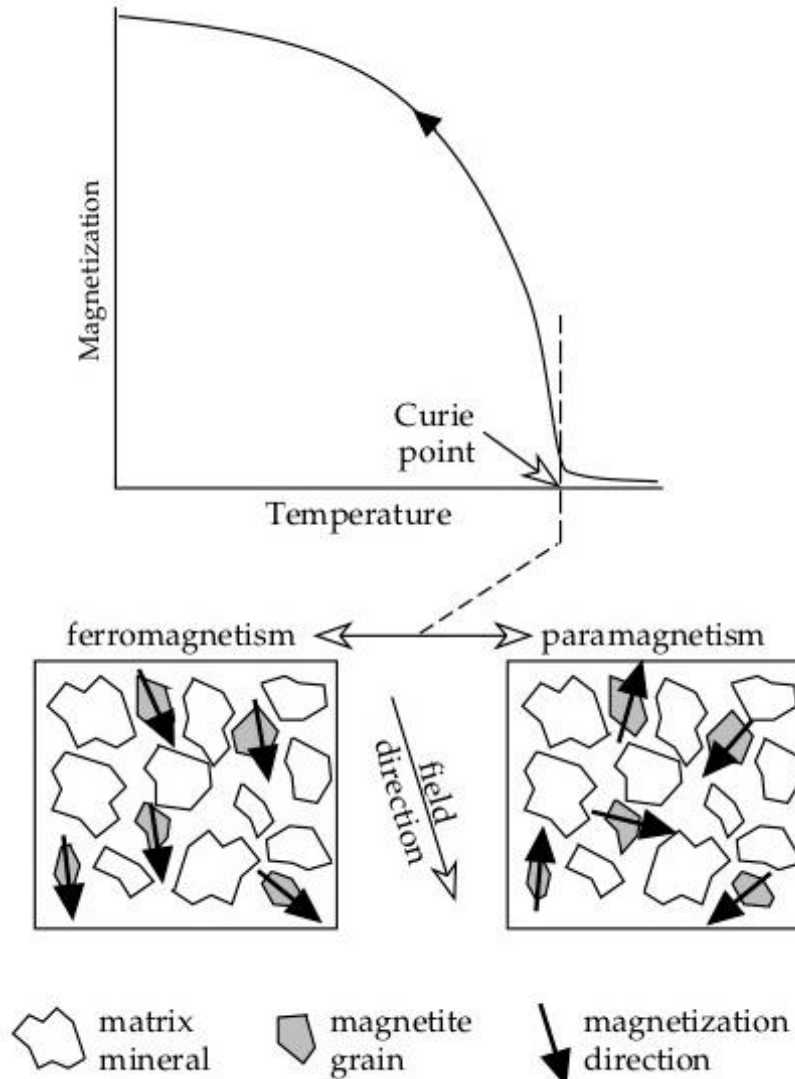


# Tettonica delle placche: quando nasce?

Principi base del magnetismo:

La maggior parte dei **minerali contenenti ferro** sono **almeno debolmente magnetici**

**Temperatura di Curie:** ogni minerale magnetico ha una temperatura al di sotto della quale rimane magnetico e al di sopra non è più magnetico. Varia da minerale a minerale, ma è sempre al di sotto della temperatura di fusione del minerale



Sostanza	t Curie (°C)
Cobalto	1107
Ferro	767
Nichel	357
Magnetite	302



Fisica, chimica e matematica (1867-1934)

# Tettonica delle placche: quando nasce?

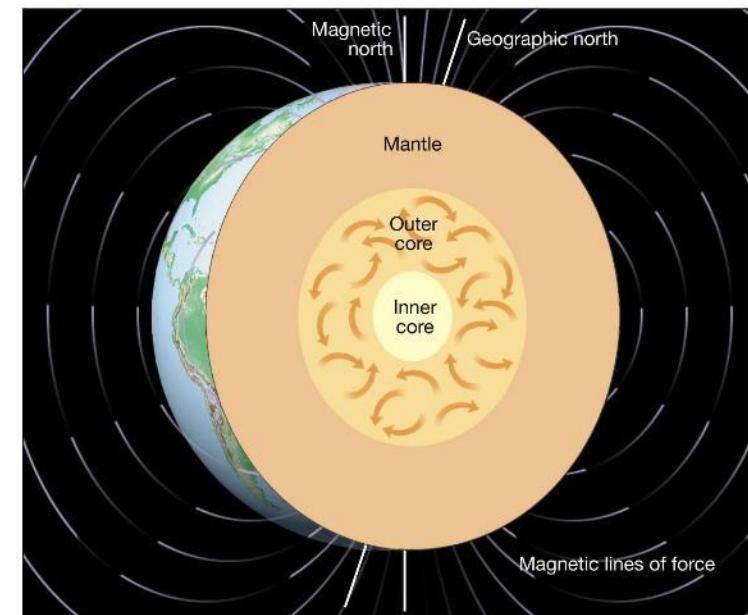
Il campo magnetico terrestre:

La **terra** ha un **campo magnetico**, motivo per cui una bussola punta verso Nord

Tuttavia, la semplice presenza di **ferro nel nucleo** terrestre **non** è **sufficiente** a spiegare il campo magnetico terrestre

Le **alte temperature** nel nucleo terrestre sono molto **al di sopra della temperatura di Curie** per qualsiasi minerale magnetico

Si ritiene che il campo magnetico terrestre abbia origine in uno strato chiamato **nucleo esterno** (fluido metallico costituito principalmente da ferro) in movimento: le correnti di convezione agiscono come una **gigantesca dinamo**, convertendo l'energia meccanica in energia magnetica



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

# Tettonica delle placche: quando nasce?

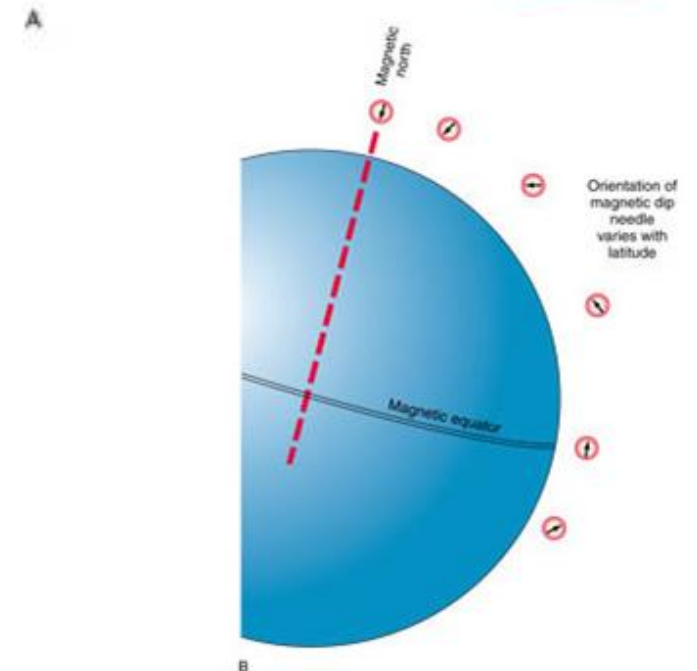
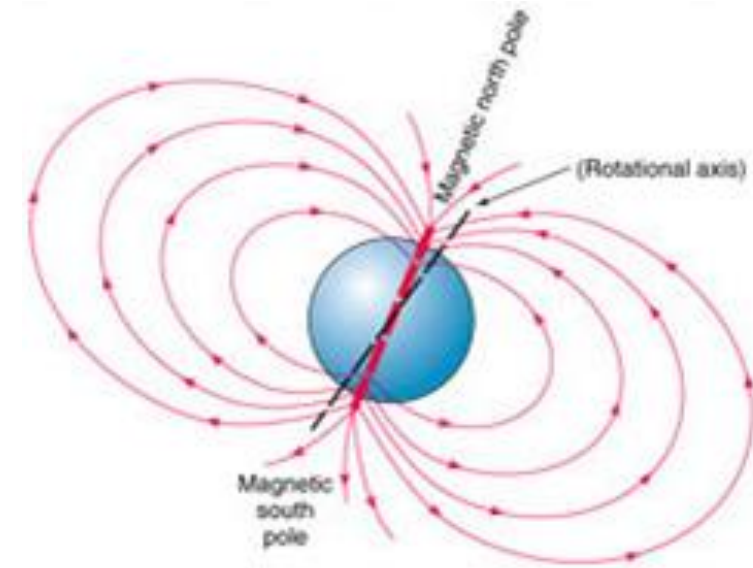
Paleomagnetismo:

Il **magma caldo non è magnetico**

**Quando il magma si raffredda** e si solidifica, i minerali ferrosi (come i silicati ferromagnesiaci) cristallizzano e quando la temperatura scende **al di sotto della temperatura di Curie** i **minerali contenenti ferro diventano magnetici**

Come minuscoli aghi di bussola, **questi minerali magnetici** si allineano parallelamente alle linee di forza del campo magnetico terrestre

Questo magnetismo residuo, chiamato anche **paleomagnetismo**, **punta al polo nord come un cartello segnaletico**





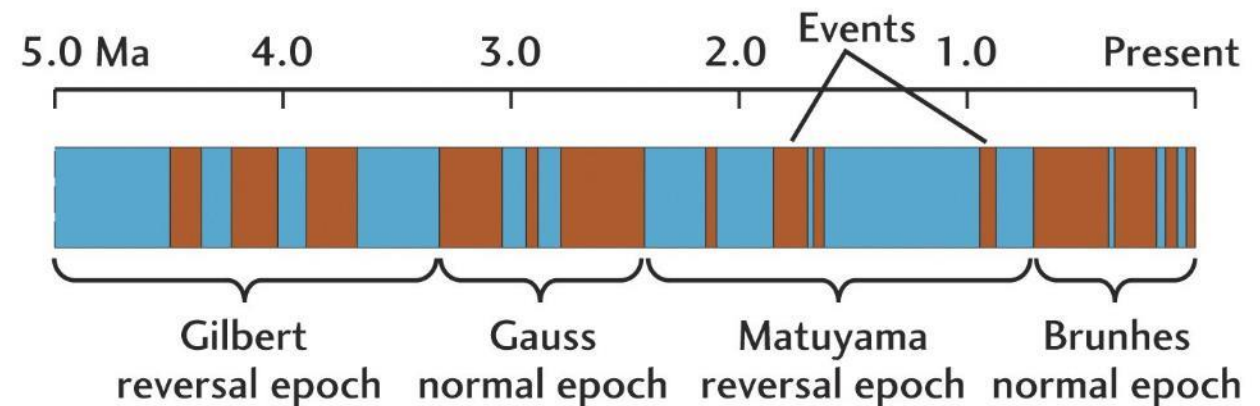
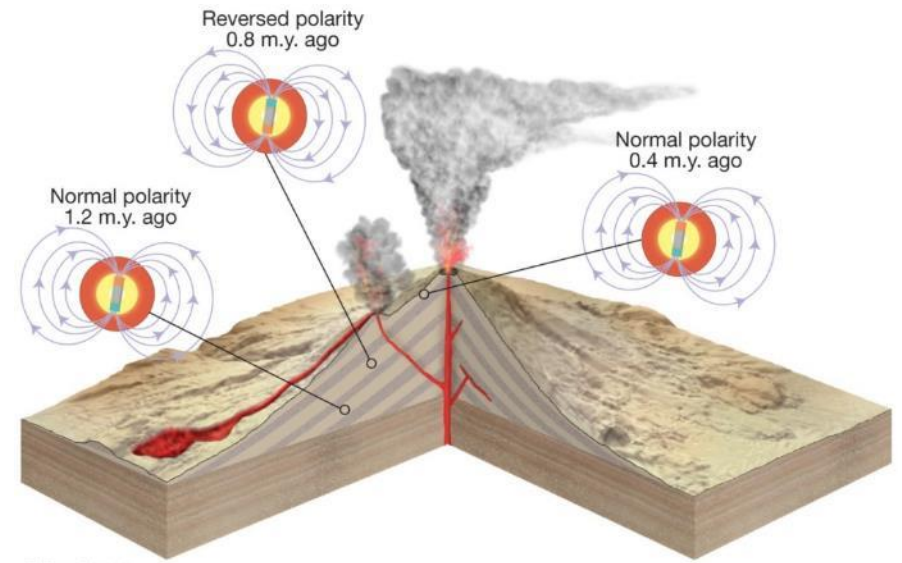
# Tettonica delle placche: quando nasce?

## Paleomagnetismo:

Circa un secolo fa, in Francia è stata trovata una sequenza di colate laviche dove alcune avevano **i poli nord e sud invertiti**

Pertanto, il polo nord e il polo sud devono aver **scambiato ripetutamente posizioni**

Queste **inversioni magnetiche** si sono verificate nel corso della storia della Terra su **base irregolare** nel tempo, che va da decine di migliaia di anni a milioni di anni

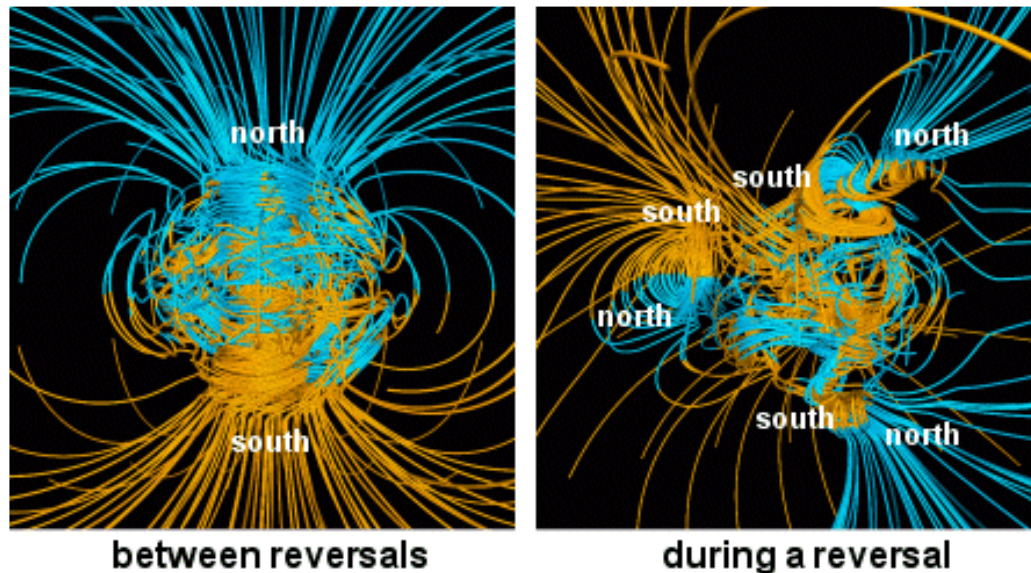
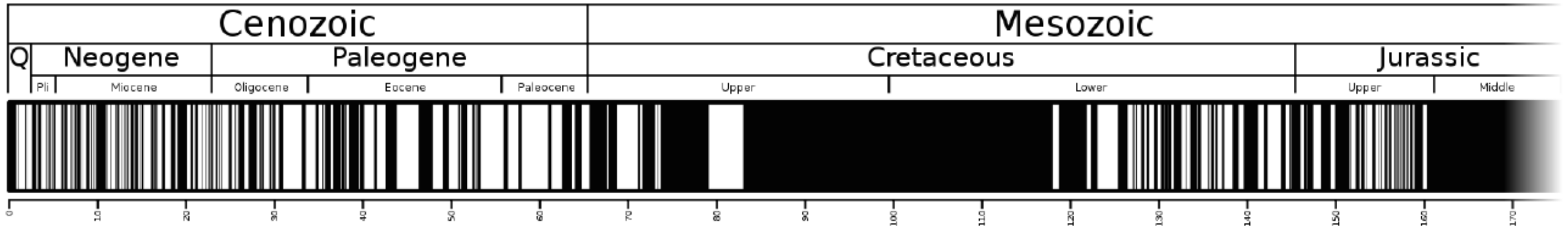


# Tettonica delle placche: quando nasce?

Paleomagnetismo:

Today

170 Ma



Simulazione numerica  
ad opera di Glatzmaier  
& Roberts 1995

# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912 – Alfred Wegener)

Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

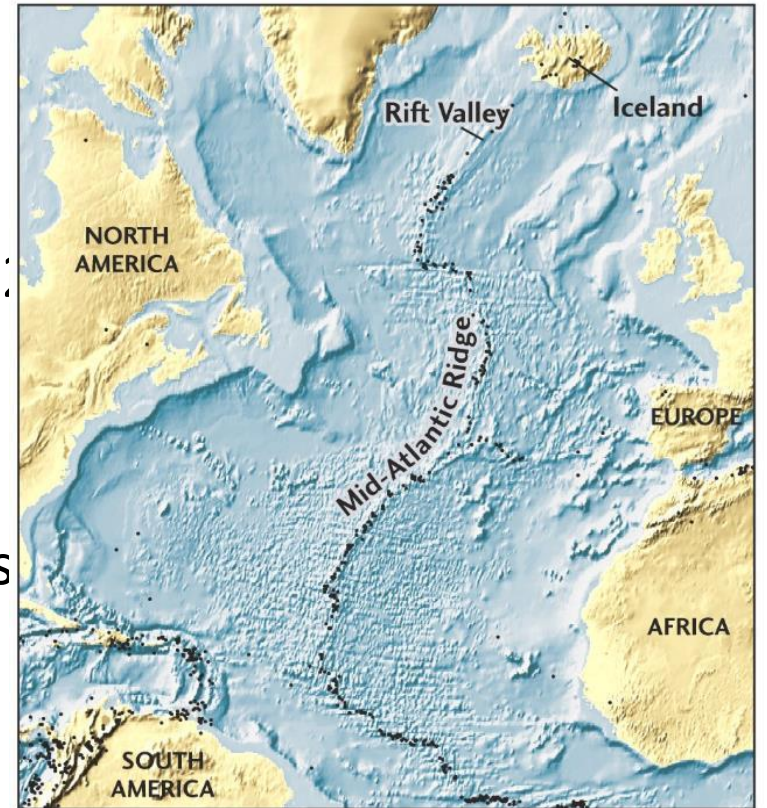
Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"A Theory of Mountain-Building" (1939 – David Trussel Griggs)

Pacific Ring (1940 – Hugo Benioff)

Scoperta inversione campo magnetico terrestre (anni '50)

Scoperta dorsali oceaniche (1956 – Bruce C. Heezen e Maurice Ewing)\*



\*Marie Tharp, alla quale era stato dato il compito di disegnare i fondali oceanici, scoprì una *rift valley* mediana in corrispondenza della cresta della dorsale medioceanica lungo la quale si allineavano dei terremoti con profondità inferiore a 70 km



# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912 – Alfred Wegener)

Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

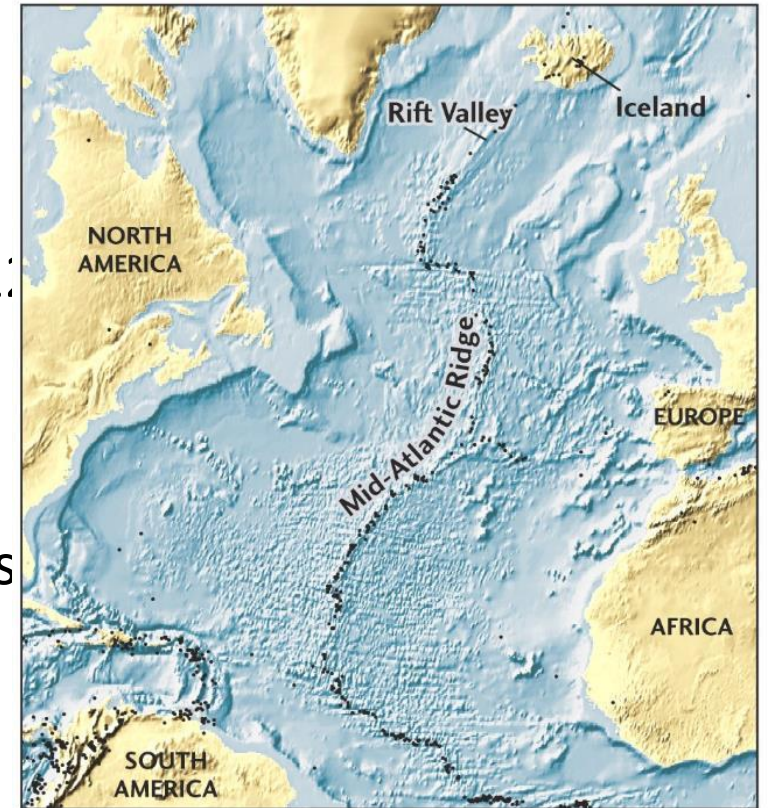
Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"A Theory of Mountain-Building" (1939 – David Trussel Griggs)

Pacific Ring (1940 – Hugo Benioff)

Scoperta inversione campo magnetico terrestre (anni '50)

Scoperta dorsali oceaniche (1956 – Bruce C. Heezen e Maurice Ewing)\*



\*Per Ewing la dorsale era simile ad una catena montuosa terrestre

Per Heezen era stata generata da movimenti di distensione della crosta

Ipotizzarono per primi l'unità e la continuità mondiale dei vari segmenti della dorsale

(per una lunghezza complessiva di 60.000 km.



# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)

Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"A Theory of Mountain-Building" (1939 – David Trussel Griggs)

Pacific Ring (1940 – Hugo Benioff)

Scoperta inversione campo magnetico terrestre (anni '50)

Scoperta dorsali oceaniche (1956 – Bruce C. Heezen e Ewing)

Ipotizzata zona di inversione nel mantello superiore (tra anni '40 e metà anni '50)\*

Ipotesi interno della terra non solido (1957)\*

\*grazie all'impiego delle tecniche geofisiche e allo studio della propagazione delle onde sismiche

# Tettonica delle placche: quando nasce?

Alcune teorie pre-esistenti:

Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)

Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"A Theory of Mountain-Building" (1939 – David Trussel Griggs)

Pacific Ring (1940 – Hugo Benioff)

Scoperta inversione campo magnetico terrestre (anni '50)

Scoperta dorsali oceaniche (1956 – Bruce C. Heezen e Ewing)

Ipotizzata zona di inversione nel mantello superiore (tra anni '40 e metà anni '50)

Ipotesi interno della terra non solido (1957)

Riodatazione (anni '60)\*

\*le tecniche di radiodazione indicano la presenza di continenti molto vecchi e fondi oceanici molto giovani

# Tettonica delle placche: quando nasce?

Negli anni '60: **prelievo di campioni** dal fondo del Oceano Atlantico utilizzando navi speciali con piattaforme di perforazione

Si scoprì che le rocce prelevate erano **basalto**

Il basalto **contiene isotopi radioattivi** (come l' $U^{235}$ ) che possono essere datati

È stato scoperto che le **rocce più giovani** del fondale marino dell'Oceano Atlantico si trovano **lungo la dorsale** medio-oceanica e che più ti allontani dalla dorsale, più vecchie diventano le rocce su entrambi i lati della dorsale

Le **rocce più antiche** si trovano **lungo i confini continentali**





# Tettonica delle placche: quando nasce?

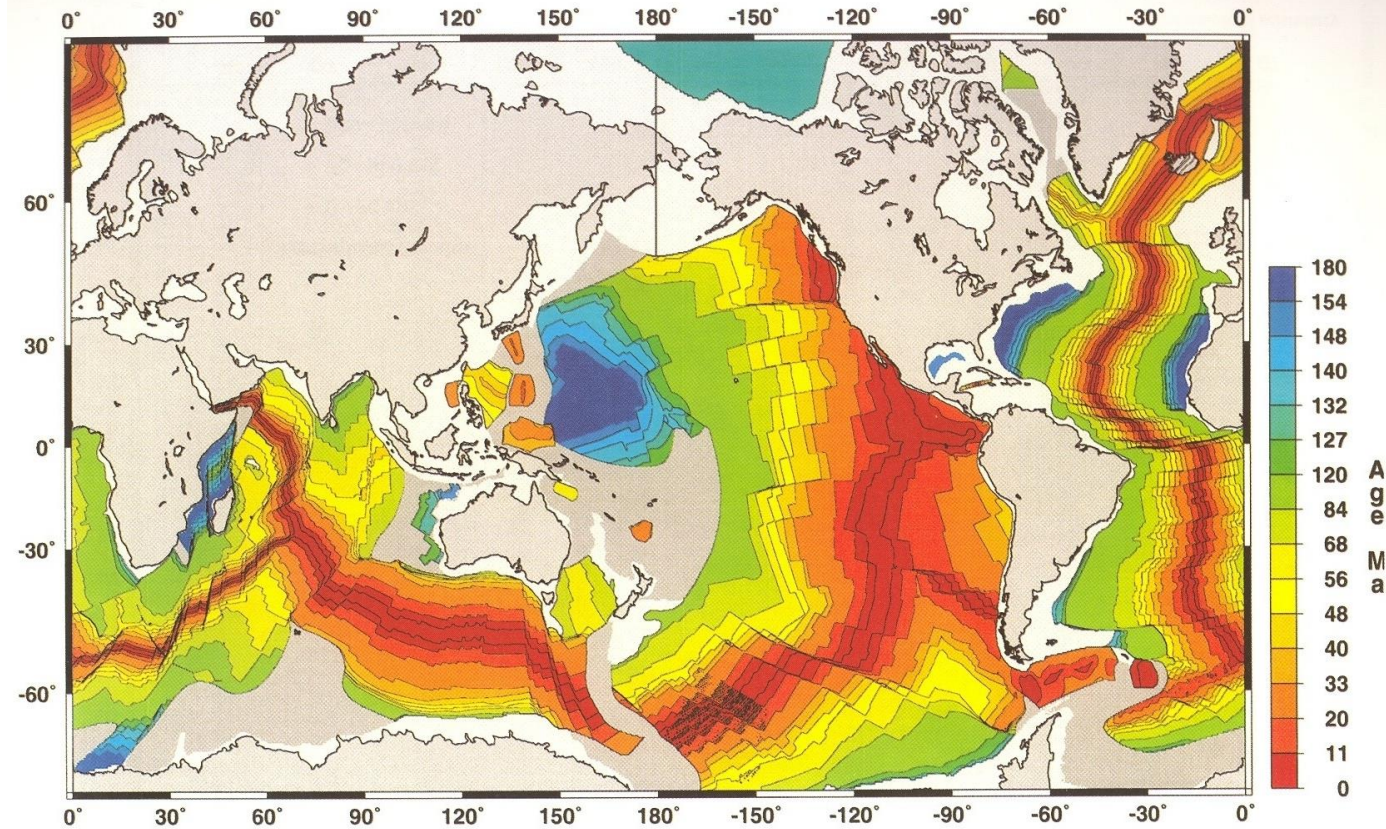
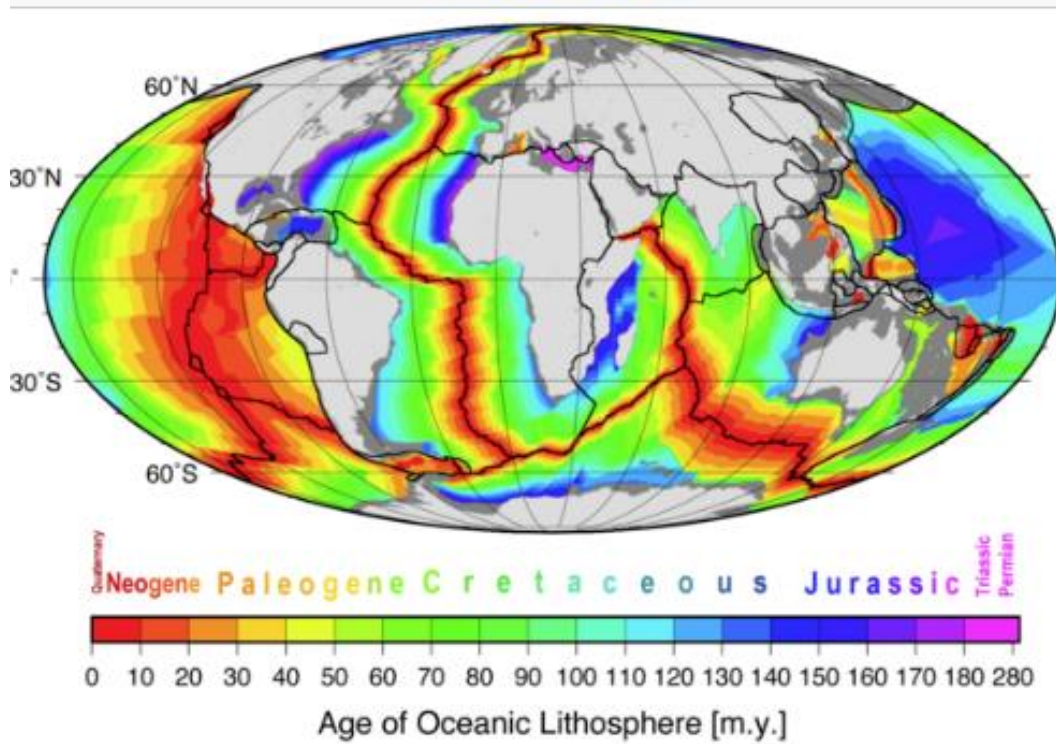


Figure 2.3. Age distribution of the oceanic crust as determined by magnetic anomalies on the seafloor. Based on Mueller et al. (1997).

## Dating the Growth of Oceanic Crust at a Slow-Spreading Ridge

Joshua J. Schwartz,<sup>1\*</sup> Barbara E. John,<sup>1</sup> Michael J. Cheadle,<sup>1</sup>  
Elena A. Miranda,<sup>1</sup> Craig B. Grimes,<sup>1</sup> Joseph L. Wooden,<sup>2</sup>  
Henry J. B. Dick<sup>3</sup>

28 OCTOBER 2005 VOL 310 SCIENCE [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)



# Tettonica delle placche: quando nasce?

Concetti apparentemente separati si rivelano essere strettamente connessi:

1962/70

Deriva dei continenti

Espansione dei fondali oceanici

Inversione geomagnetica

Formulazione della **teoria della tettonica a placche**

e

avviato il progetto internazionale **Upper Mantle** che porta al riconoscimento più preciso dei meccanismi di trascinamento delle zolle litosferiche



Universita Degli Studi Di

Search



Login / Register

JOURNALS ▾

TOPICS ▾

BOOKS

OTHER PUBLICATIONS ▾



Membership

AGU.org

Eos, Transactions American Geophysical Union

**Upper Mantle Project: Phase III , 1968–1970**

Leon Knopoff

First published: June 1967 | <https://doi.org/10.1029/TR048i002p00757>



Volume 48, Issue 2

June 1967

Pages 757-758

# Tettonica delle placche: quando nasce?

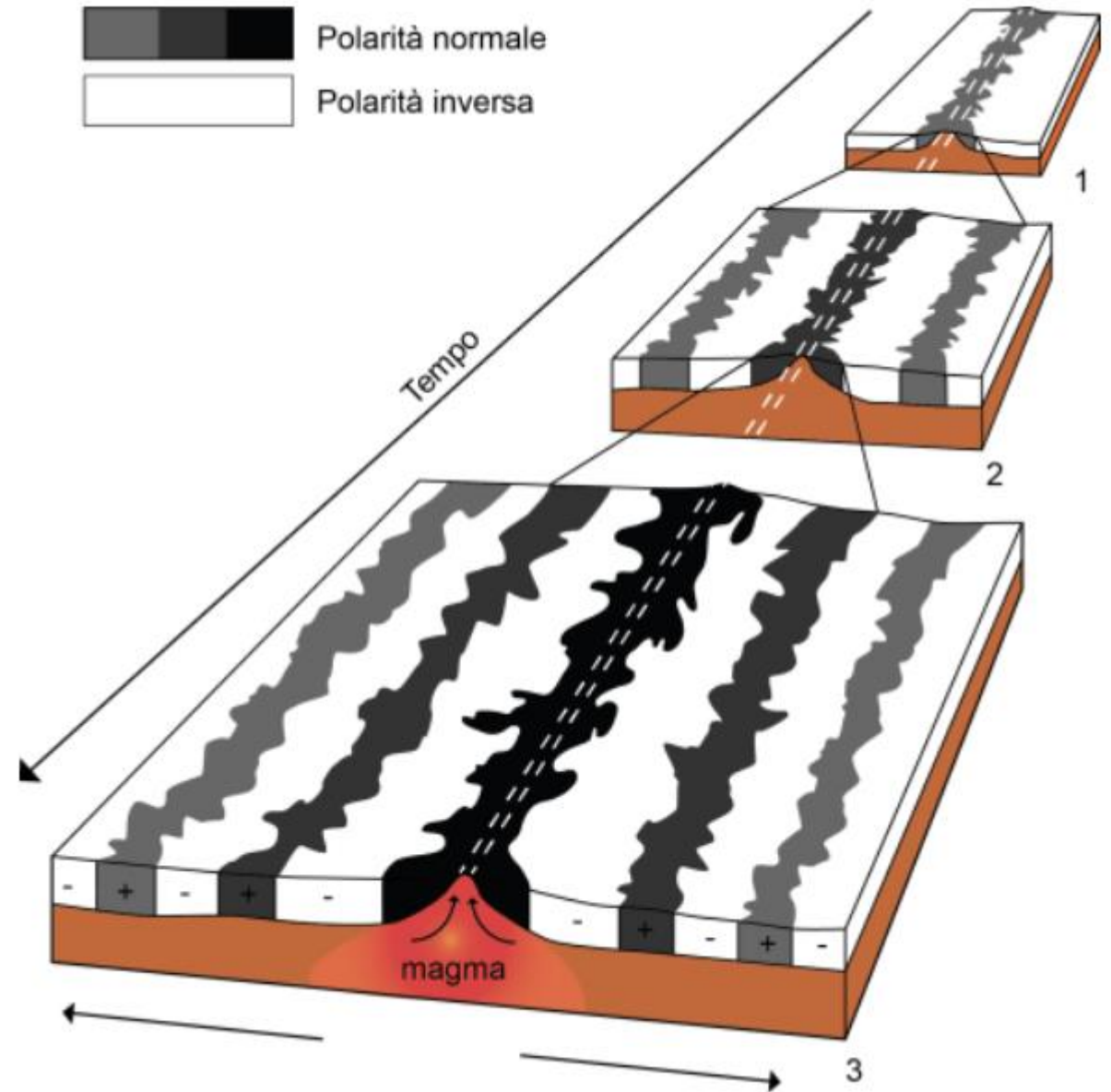
1963 – il team di Frederick John Vine e Drummond Hoyle Matthews (e indipendentemente Lawrence Whitaker Morley) propose che l'espansione del fondale marino potrebbe spiegare la striscia di inversione magnetica osservata sui fondali dell'Atlantico e del Pacifico



Sx: Matthews, geologo e geofisico marino (1931 - 1997)  
Dx: Vine, geologo (1939 - )



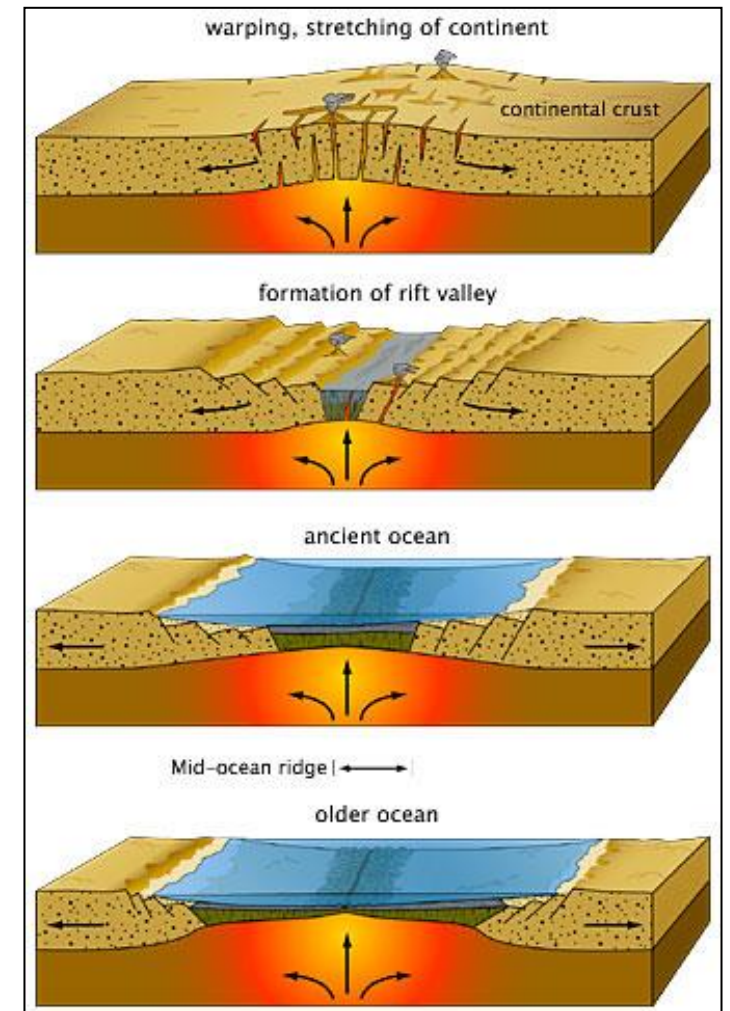
Geologo, geofisico (1920 - 2013)



# Tettonica delle placche: cosa dice?

# Tettonica delle placche: cosa dice?

Il modello dell'espansione dei fondi oceanici (*seafloor spreading*) prevede la **generazione** più o meno continua di **nuova crosta oceanica** nelle **dorsali medioceaniche** per **risalita di materiale del mantello**; la **vecchia crosta oceanica**, come un nastro trasportatore, si allontana gradualmente e simmetricamente dalle dorsali, viene **trascinata verso il basso e distrutta** nel mantello in corrispondenza delle profonde **fosse oceaniche**. Il ciclo è innescato da **correnti convettive che salgono sotto le dorsali e scendono sotto le fosse**. I continenti vengono considerati semplici passeggeri passivi, trascinati dalla dinamica dei fondi oceanici, i quali, a differenza dei vecchi continenti, sono relativamente giovani, poiché vengono costantemente creati lungo le dorsali e distrutti nelle fosse oceaniche.





# Tettonica delle placche: cosa dice?

Il modello dell'espansione dei fondi oceanici (*seafloor spreading*) prevede la **generazione** più o meno continua **di nuova crosta oceanica** nelle **dorsali medioceaniche per risalita di materiale del mantello**; la **vecchia crosta oceanica**, come un nastro trasportatore, si allontana gradualmente e simmetricamente dalle dorsali, viene **trascinata verso il basso e distrutta** nel mantello in corrispondenza delle profonde **fosse oceaniche**. Il ciclo è innescato da **correnti convettive che salgono sotto le dorsali e scendono sotto le fosse**. I continenti vengono considerati semplici passeggeri passivi, trascinati dalla dinamica dei fondi oceanici, i quali, a differenza dei vecchi continenti, sono relativamente giovani, poiché vengono costantemente creati lungo le dorsali e distrutti nelle fosse oceaniche.

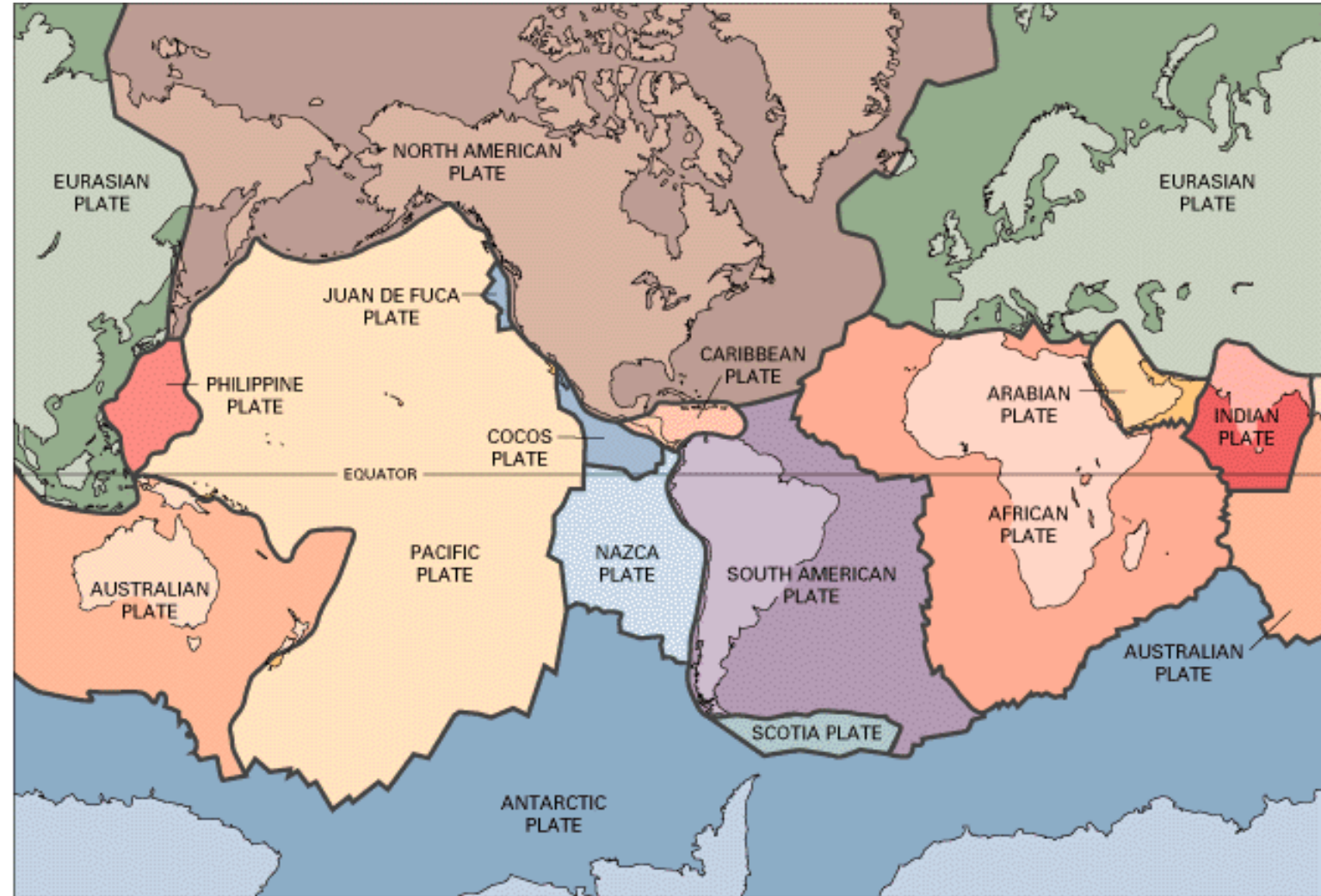
Hess calcolò che i fondali oceanici non erano più antichi di 260 milioni di anni

Il nuovo schema tettonico venne considerato dallo stesso Hess puramente speculativo, tanto da essere da lui chiamato "geopoesia".

# Tettonica delle placche: cosa dice?

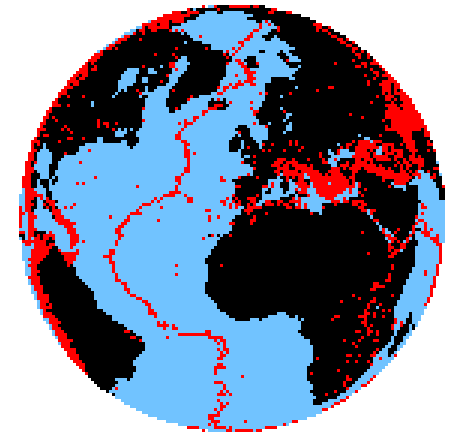
Tre concetti chiave:

1. Il guscio più esterno della terra (litosfera) è suddiviso in placche dai bordi irregolari che si muovono una rispetto all'altra "galleggiando" su uno strato plastico (astenosfera)
2. Il limite litosfera/astenosfera condiziona i movimenti delle placche

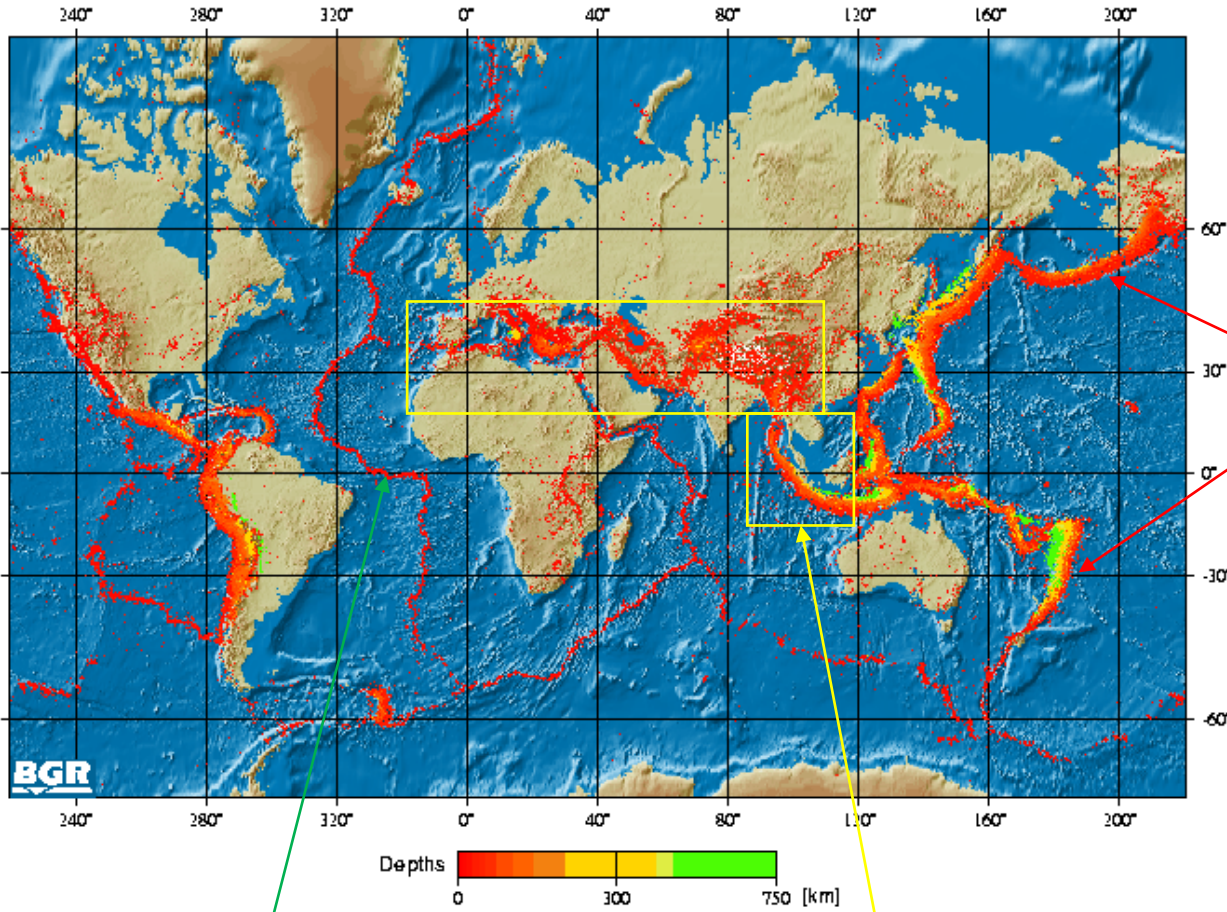
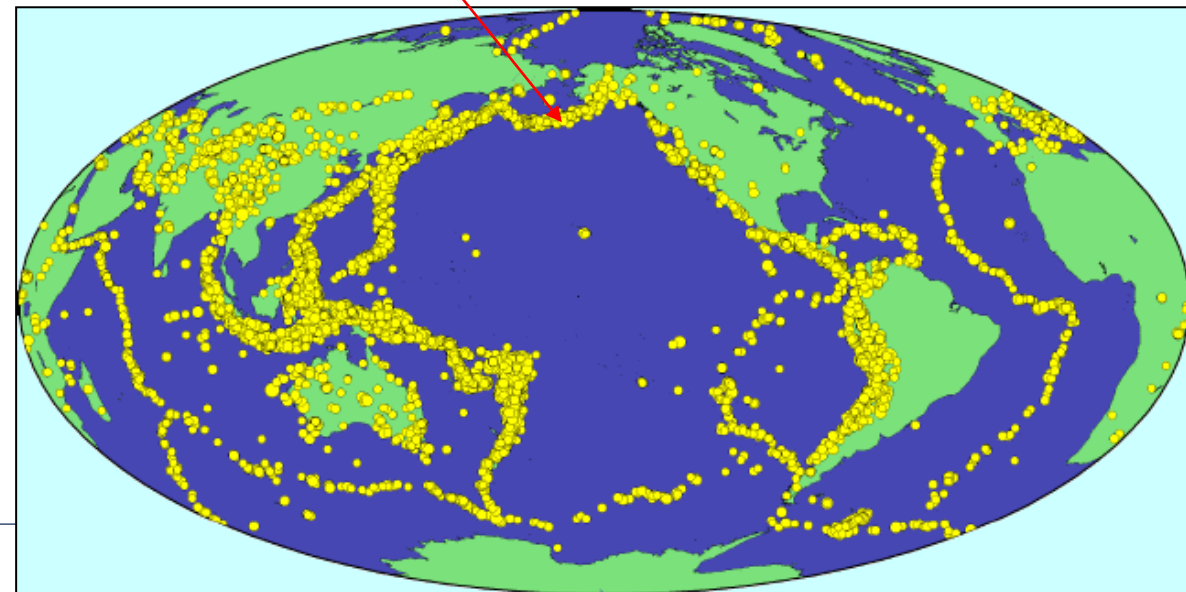


# Tettonica delle placche: cosa dice?

I “bordi” delle placche sono individuabili osservando la distribuzione dei terremoti



Circum Pacific belt:  
la più grande



Mid-Atlantic belt:  
la terza più grande

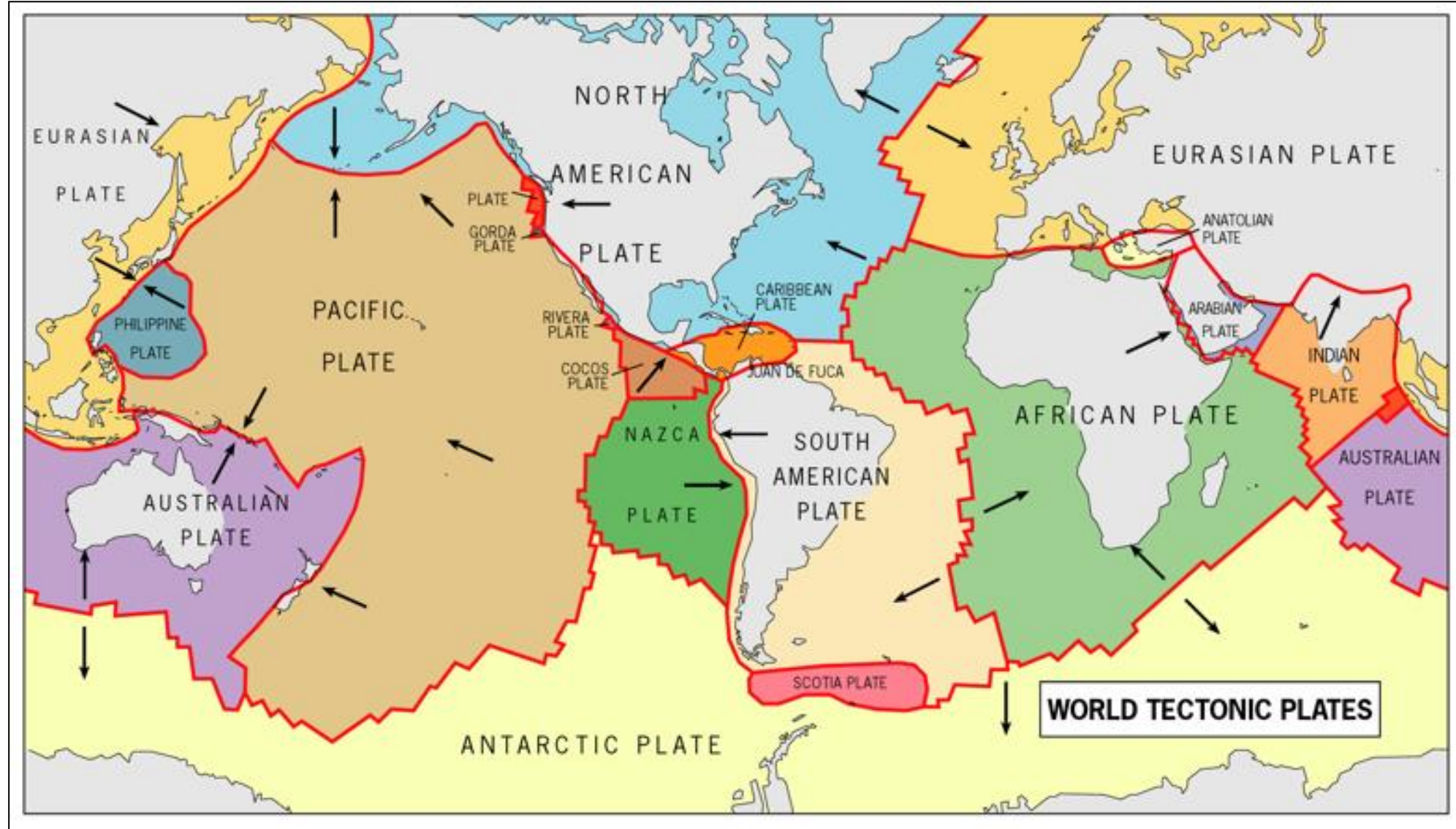
Alpide belt: la  
seconda grande



# Tettonica delle placche: cosa dice?

Esistono una dozzina di placche principali e molte più piccole

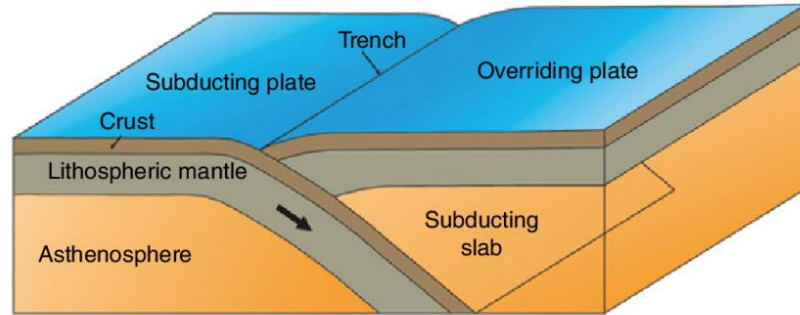
Alcune placche (tipo la Placca Pacifica) sono spesse, mentre altre (tipo la Placca Gorda e la Placca Cocos) sono più sottili





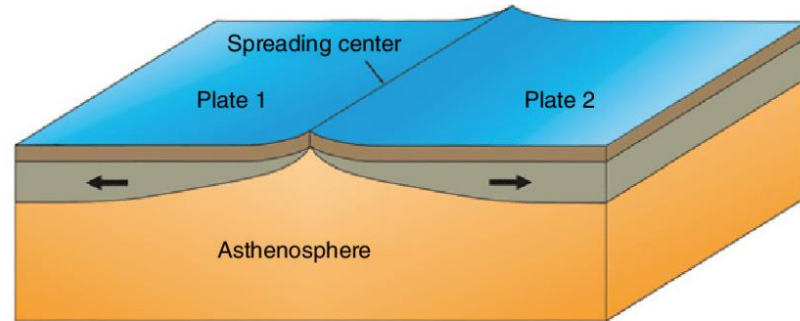
# Tettonica delle placche: cosa dice?

Convergent plate boundary: subduction zone



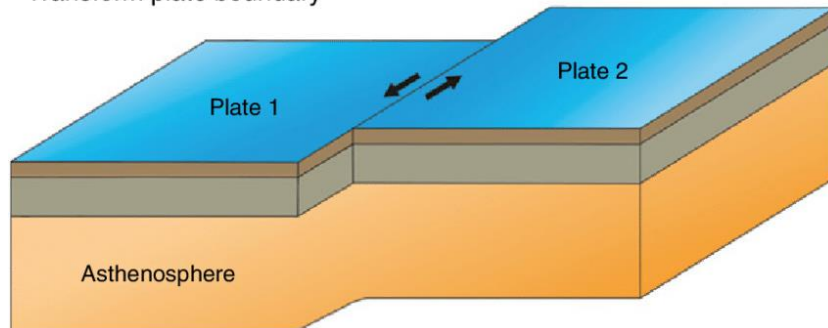
Margini  
convergenti

Divergent plate boundary



Margini  
divergenti

Transform plate boundary

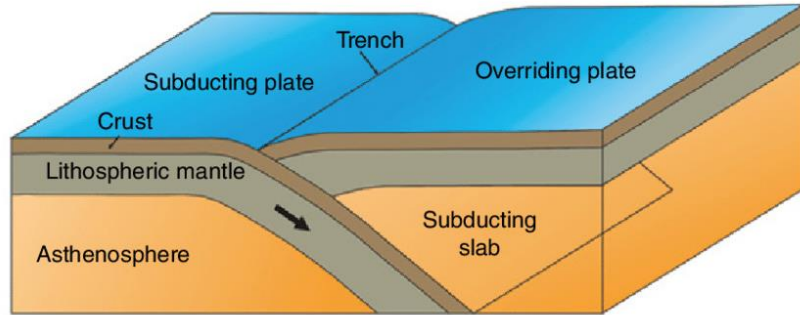


Margini  
conservativi

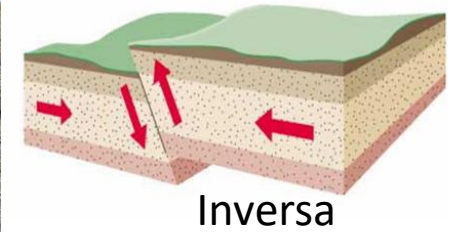
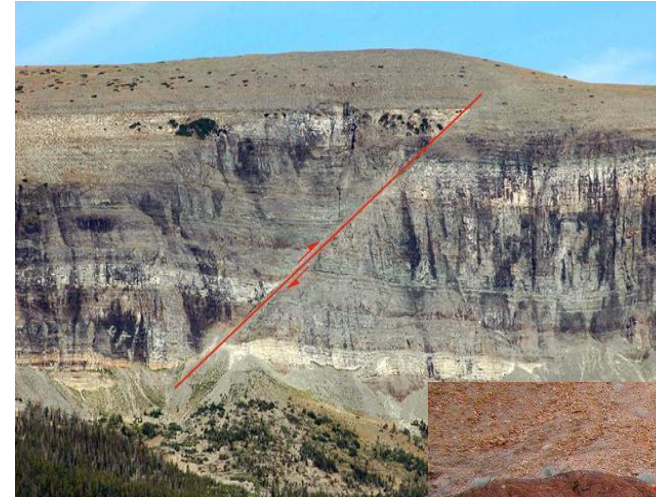
# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Tipologie di faglie

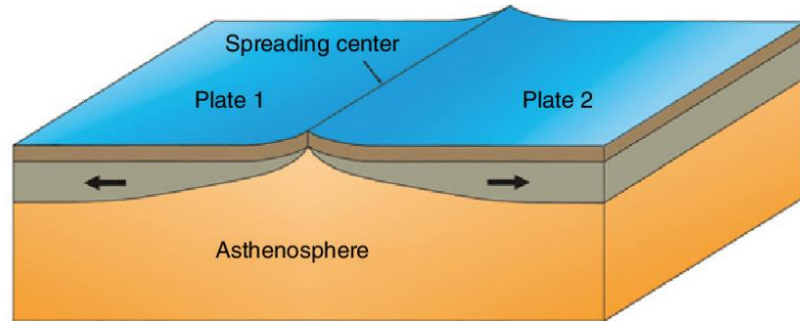
Convergent plate boundary: subduction zone



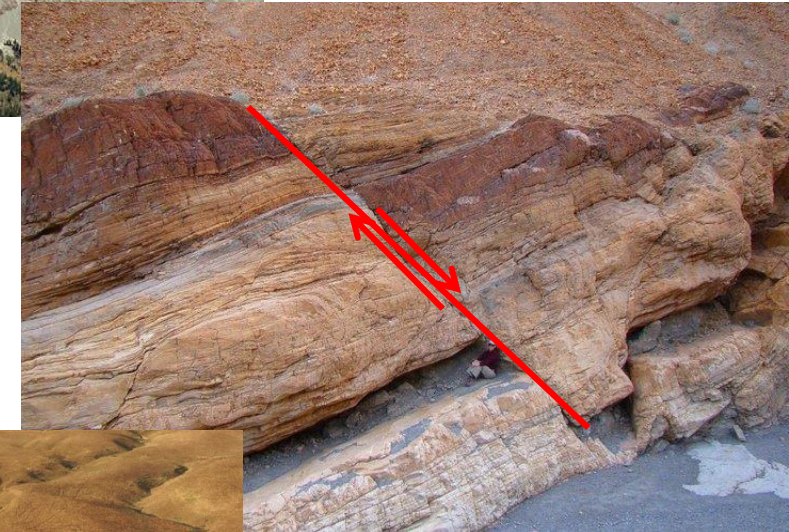
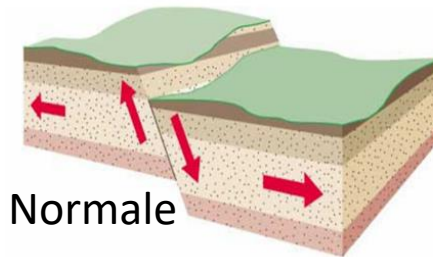
Margini convergenti



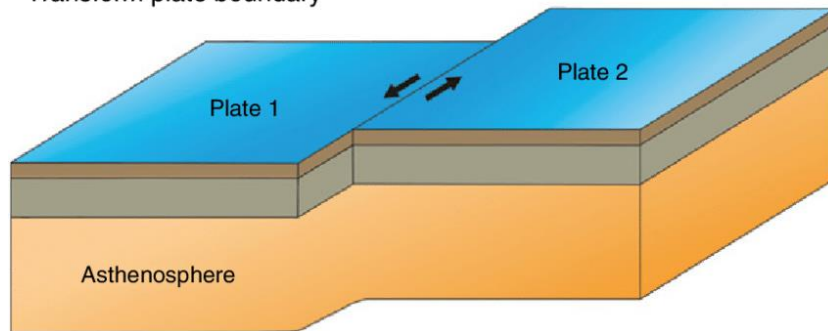
Divergent plate boundary



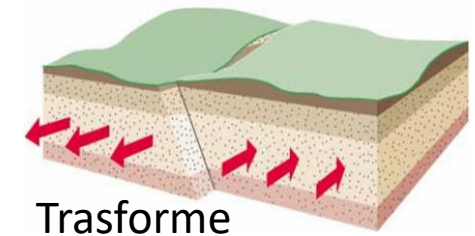
Margini divergenti



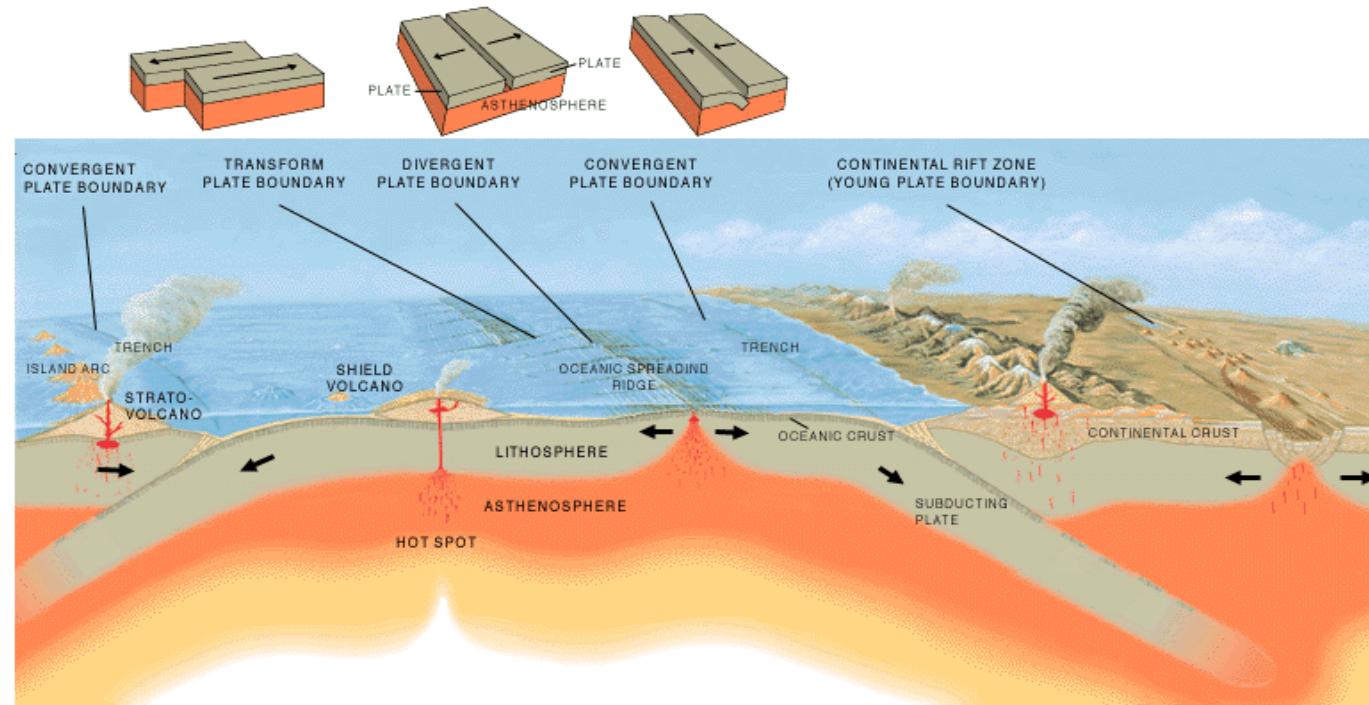
Transform plate boundary



Margini conservativi







Si distinguono tre tipi di limiti di placca:

Limiti di placca: **divergenti**: Nei punti in cui la temperatura del mantello è elevata, il materiale viene portato in superficie e spinge le placche a separarsi. Le placche si separano e si forma una nuova litosfera.

Limiti di placca **convergenti**: Nei punti in cui le placche si incontrano, si forma una zona di subduzione. La litosfera scompare.

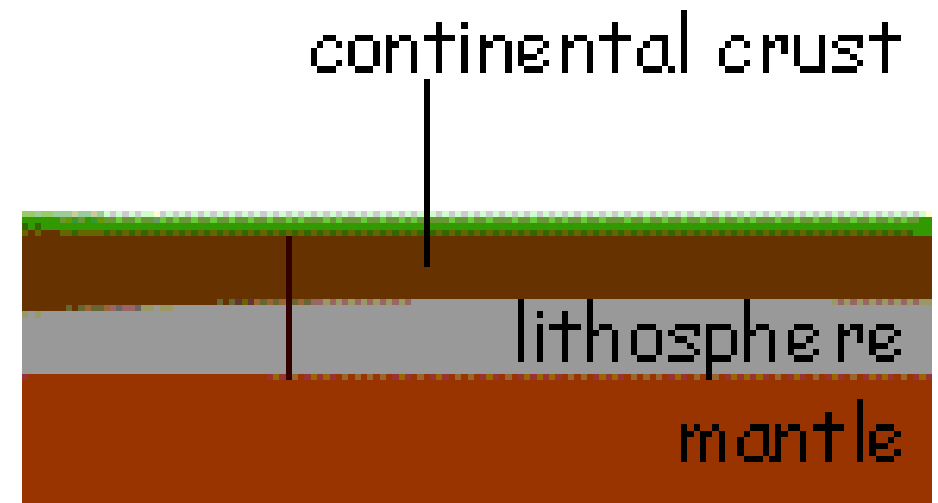
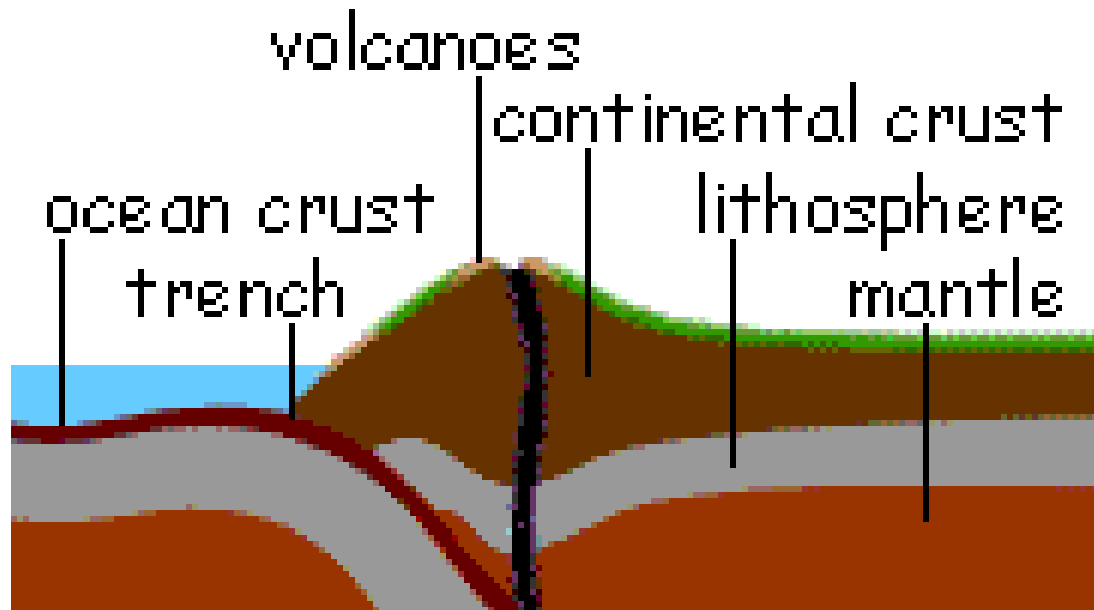
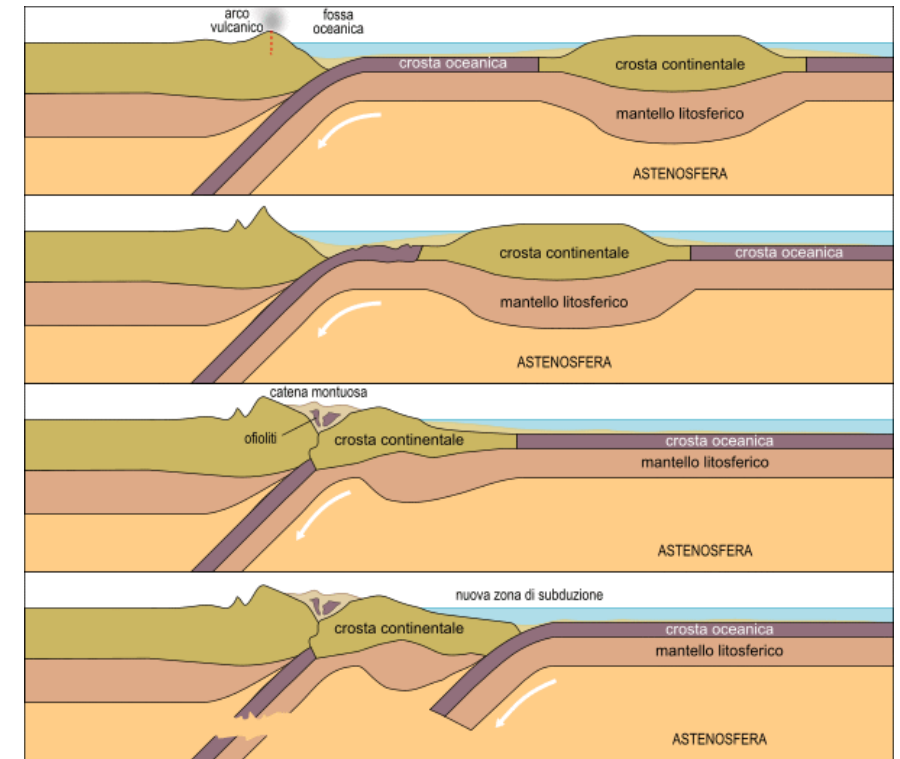
Limiti di placca **conservativi**: le placche si muovono parallelamente ai loro confini. La litosfera rimane intatta.

# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini convergenti/distruttivi

Le placche si scontrano l'una dall'altra

Una delle due placche (quella più densa) si immerge sotto l'altra fino ad arrivare al mantello dove viene distrutta





# Tettonica delle placche: cosa dice?

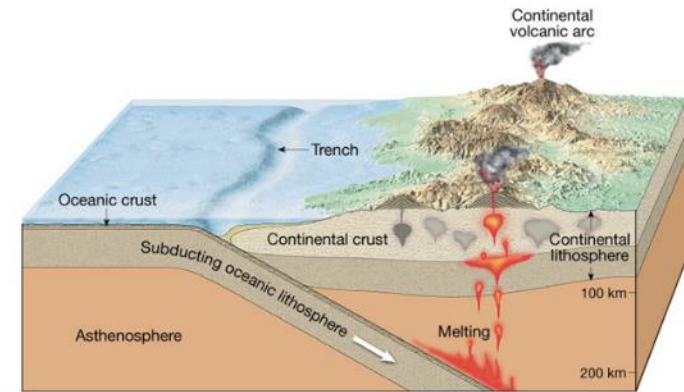
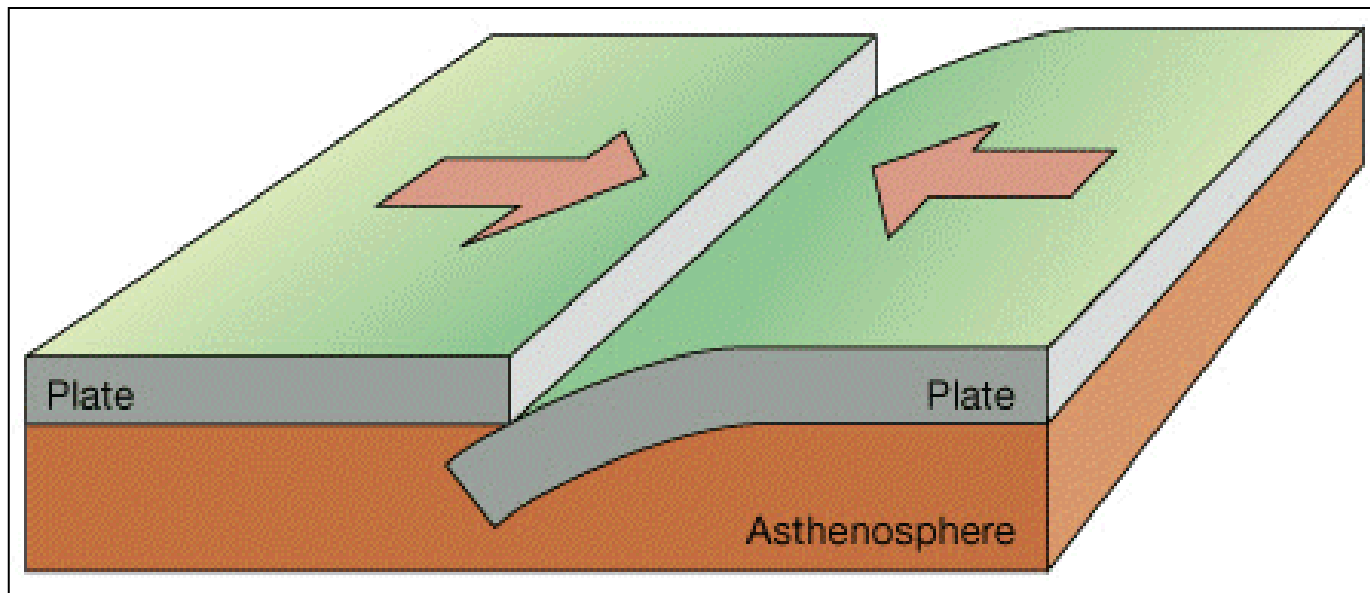
## Margini convergenti/distruttivi

Le combinazioni sono di tre tipi:

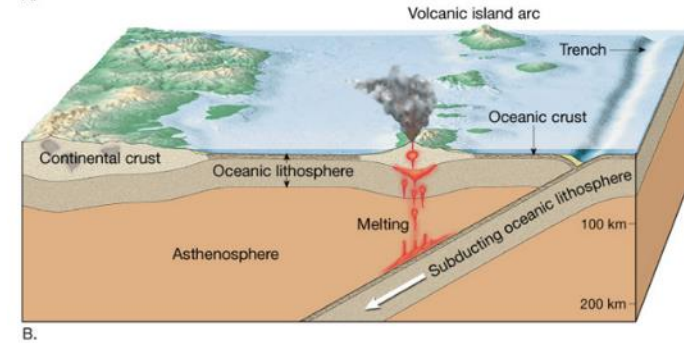
oceanica – continentale (fosse oceaniche)

oceanica – oceanica (sistemi di archi insulari)

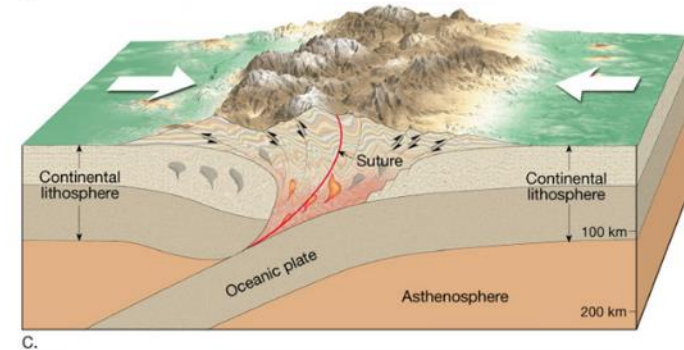
continentale – continentale (catene montuose)



Oceanica  
Continentale



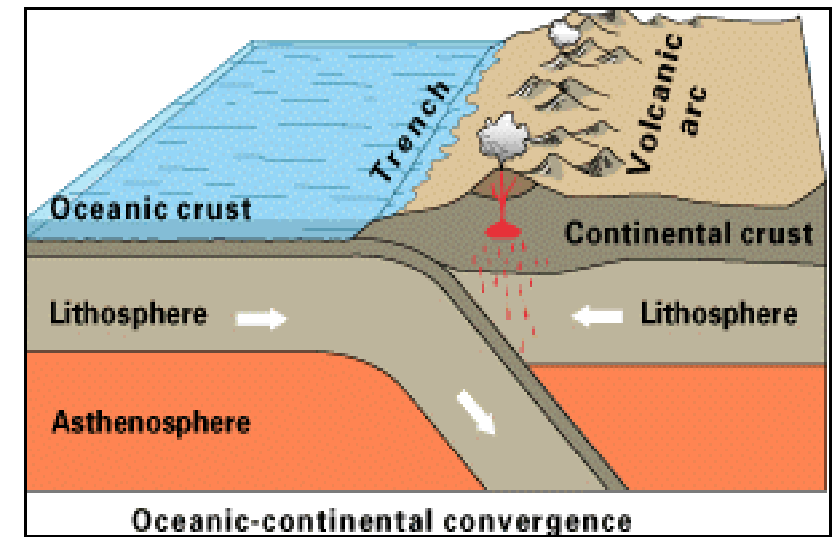
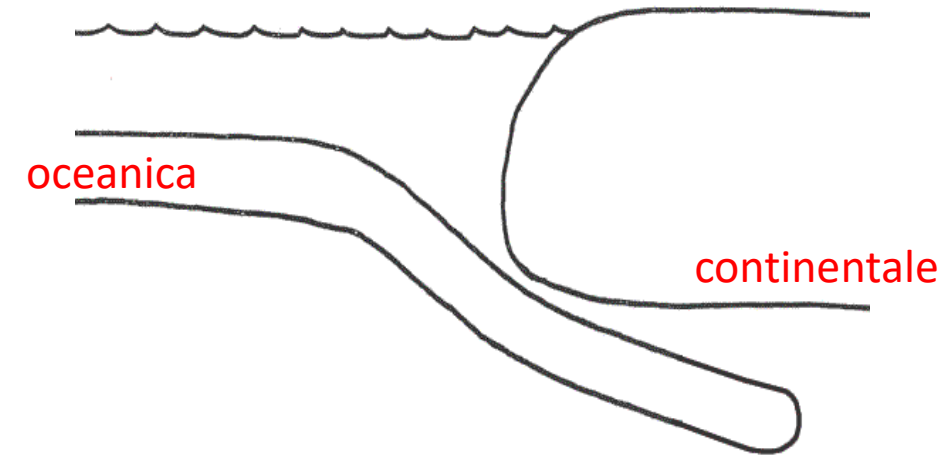
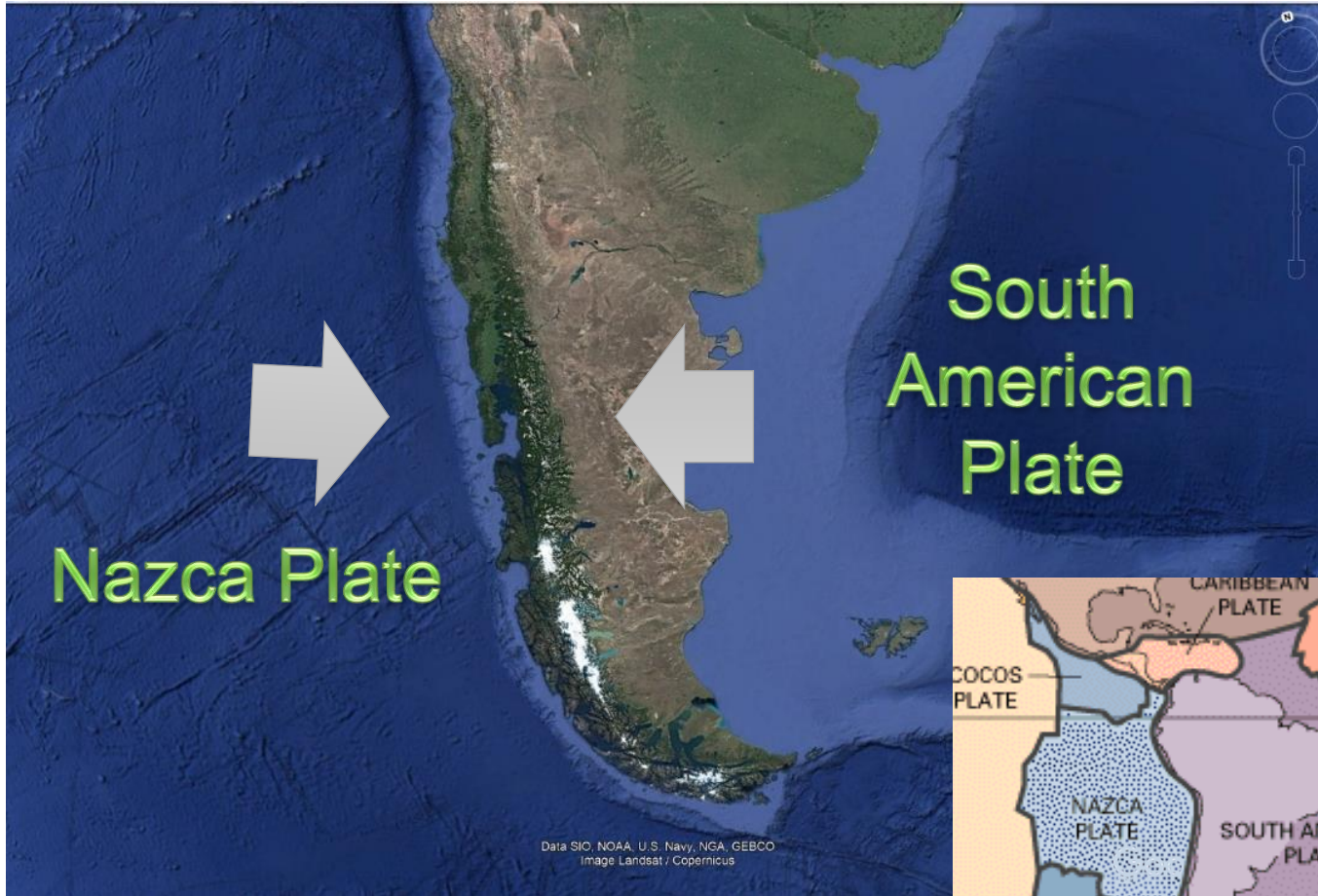
Oceanica  
Oceanica



Continentale  
Continentale

# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini convergenti/distruttivi: oceanica e continentale

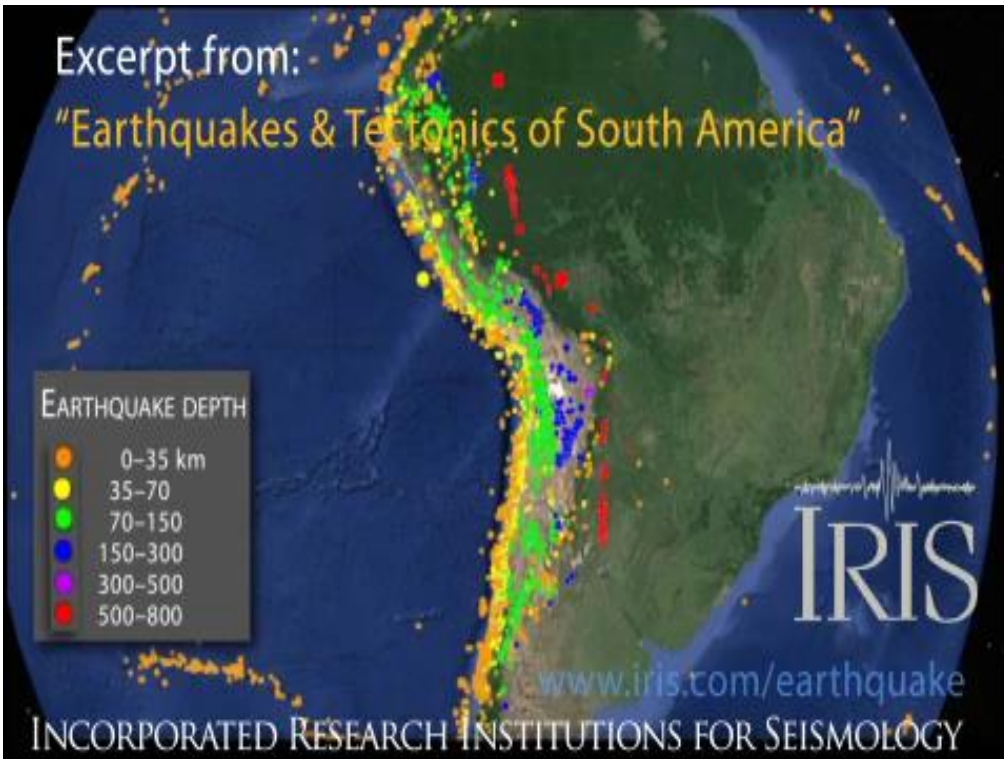
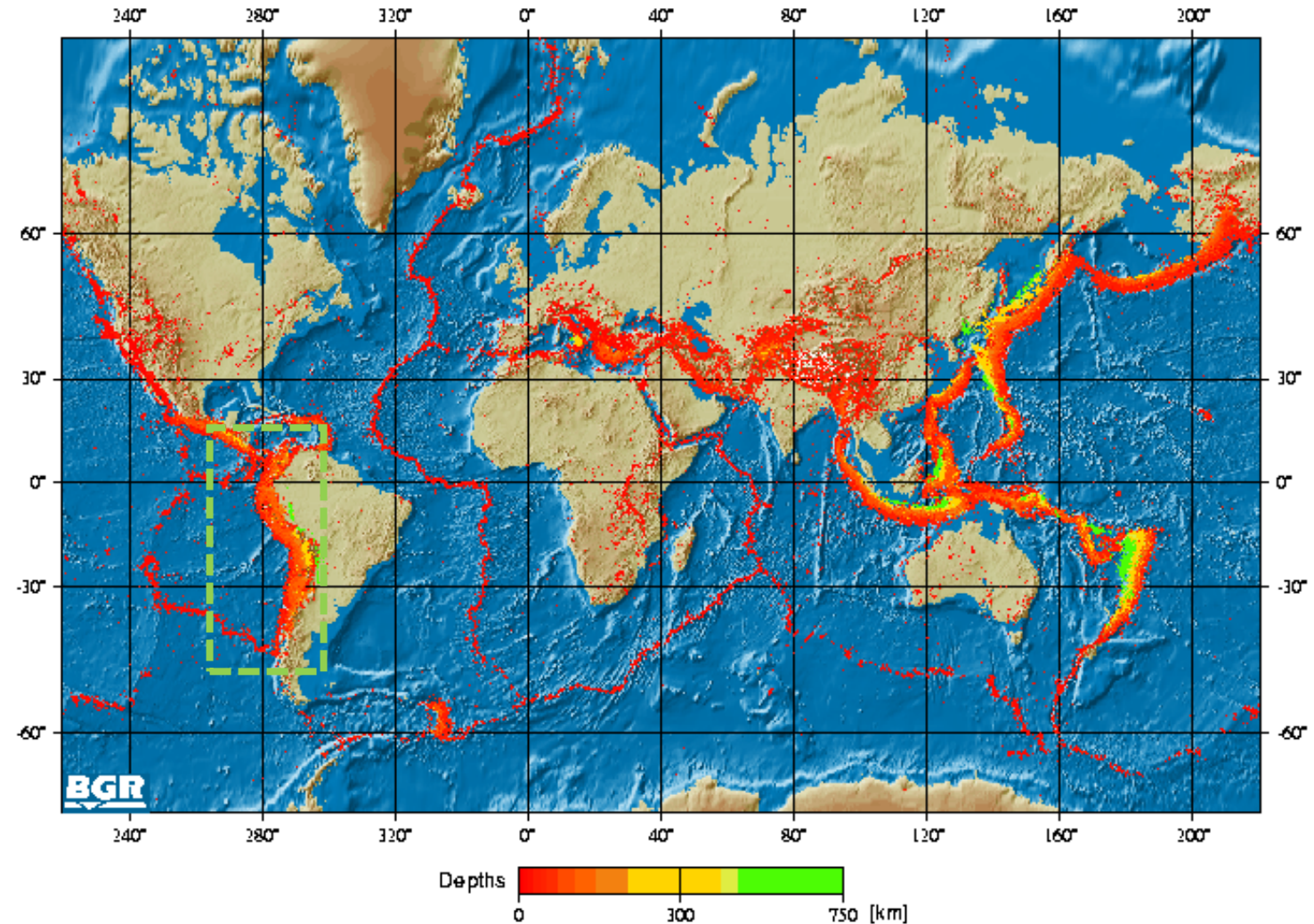




# Tettonica delle placche: cosa dice?

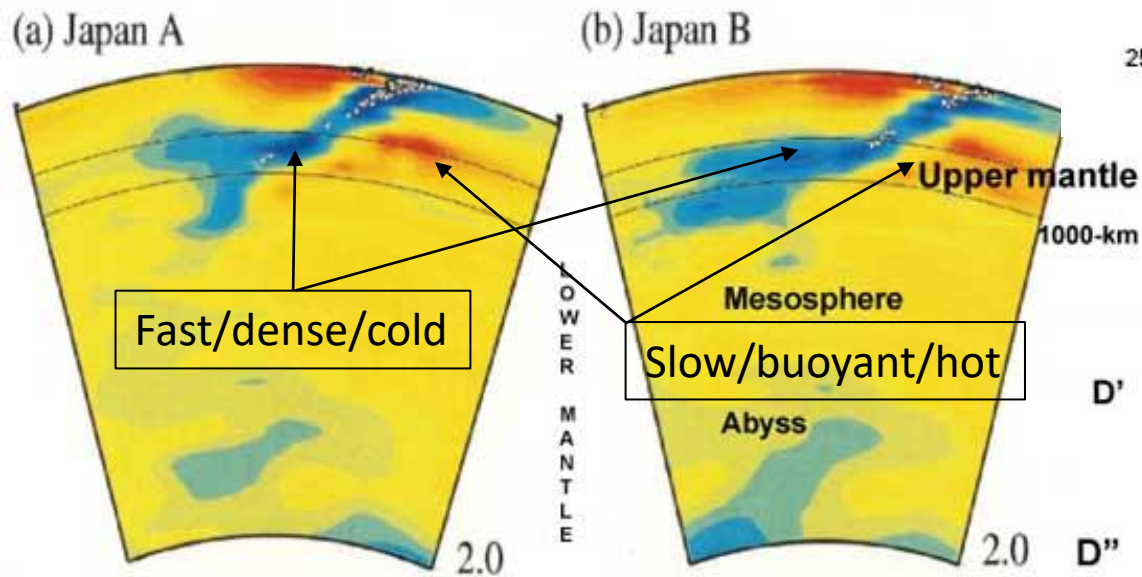
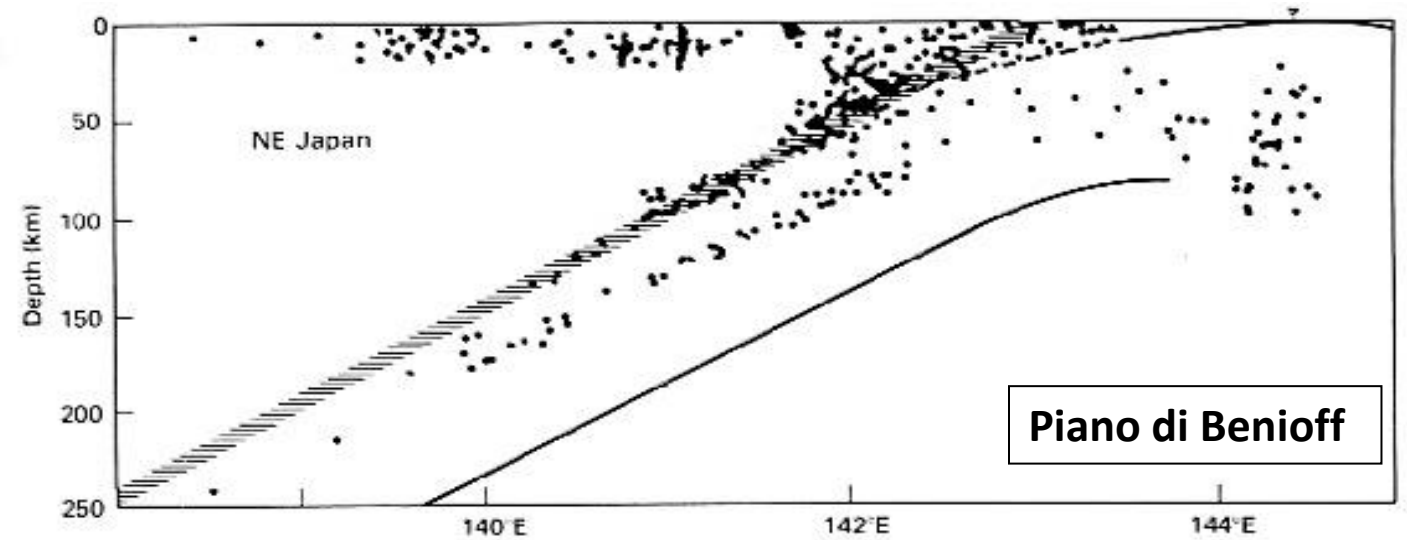
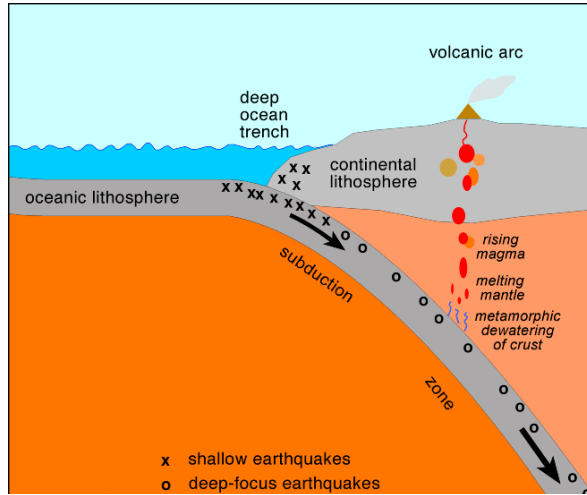
## Margini convergenti/distruttivi: oceanica e continentale

In corrispondenza di questo tipo di margini si concentrano i terremoti più profondi



# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini convergenti/distruttivi: oceanica e continentale

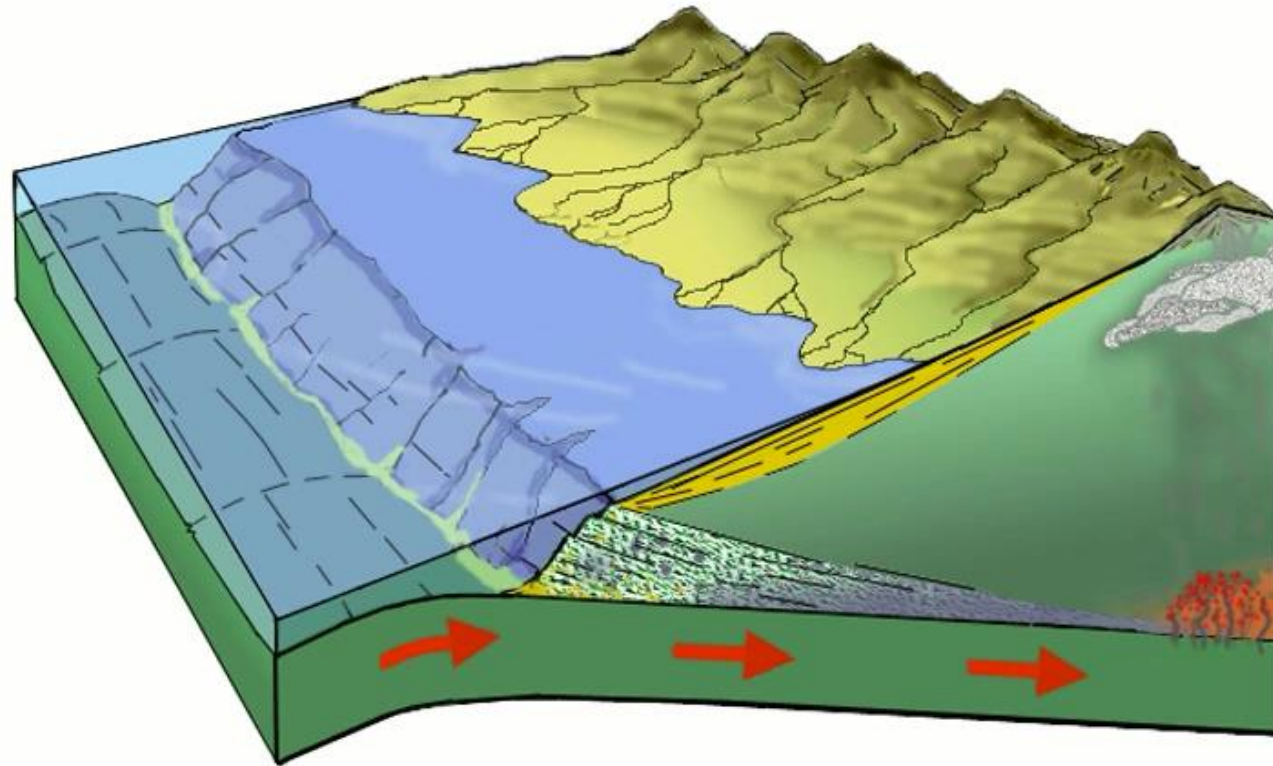


**Piano di Benioff:** Una zona di terremoti planare (piatta) in immersione prodotta dall'interazione di una placca crostale oceanica discendente con una placca continentale. Questi terremoti possono essere prodotti da scivolamento lungo la faglia di subduzione o da faglie all'interno della placca discendente come risultato della flessione e dell'estensione quando la placca viene tirata nel mantello.



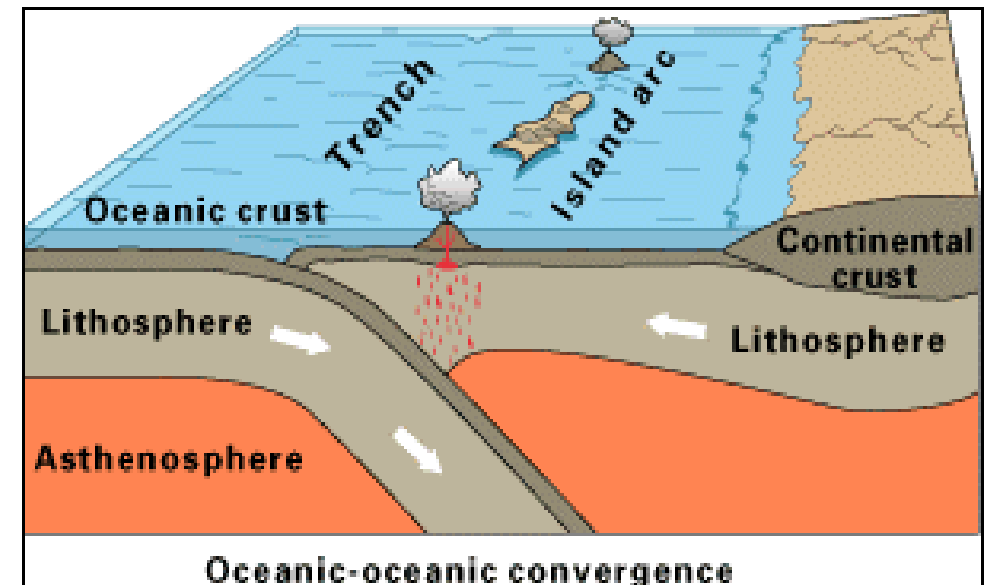
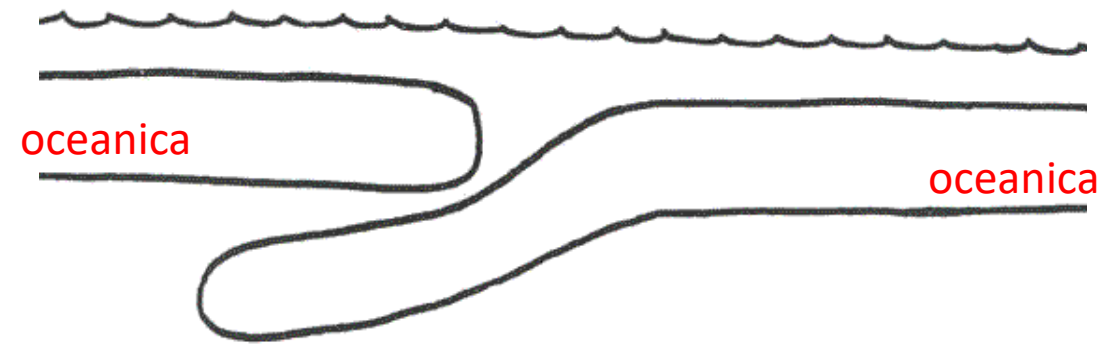
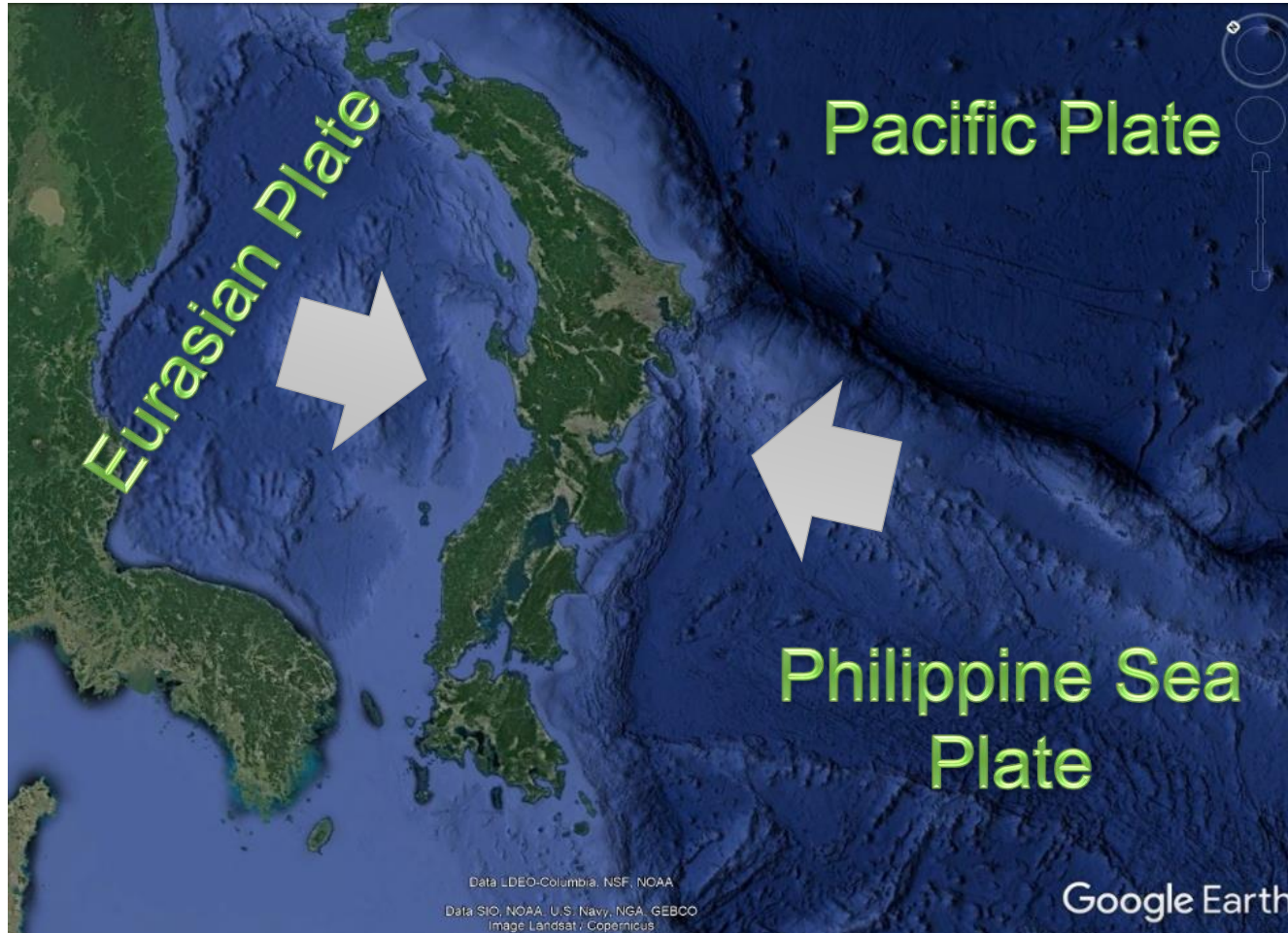
# Tettonica delle placche: cosa dice?

## **Margini convergenti/distruttivi: oceanica e continentale**



# Tettonica delle placche: cosa dice?

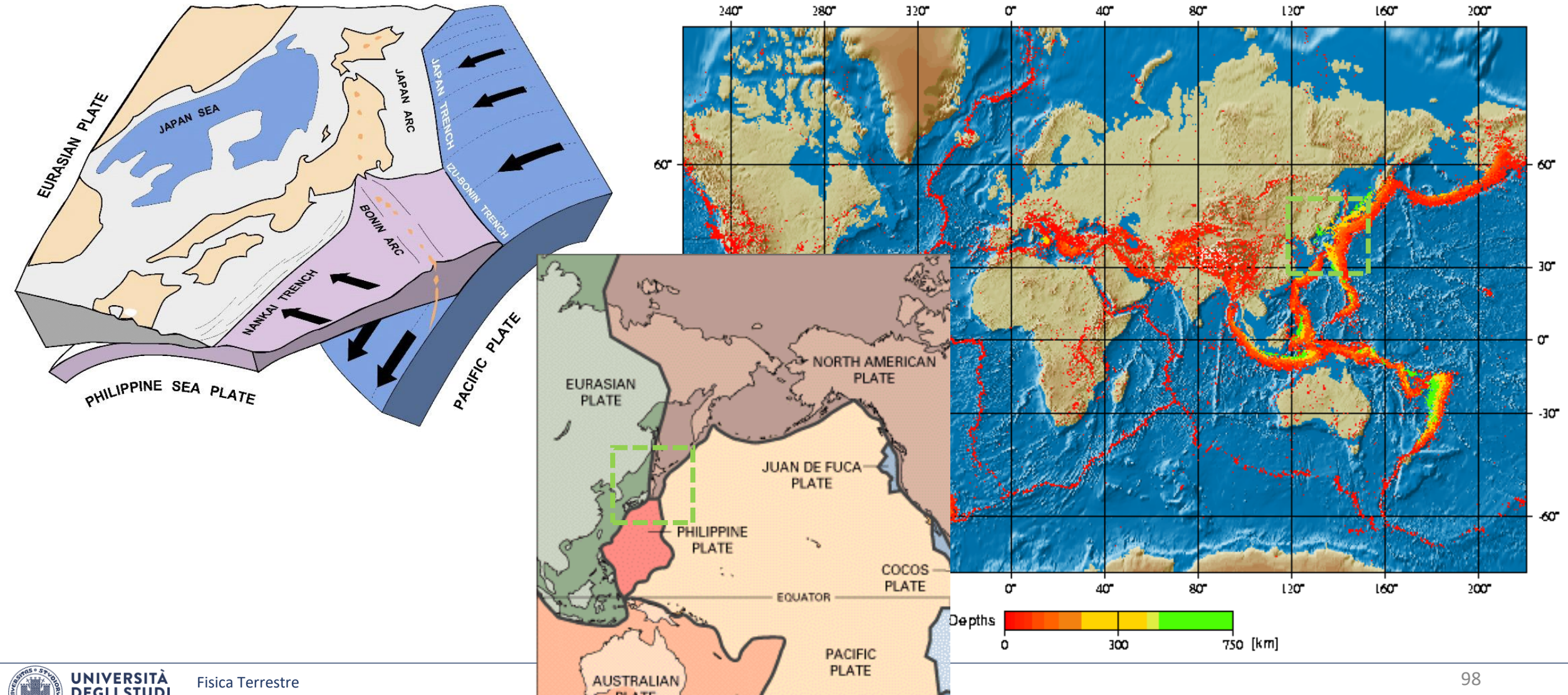
## Margini convergenti/distruttivi: oceanica e oceanica





# Tettonica delle placche: cosa dice?

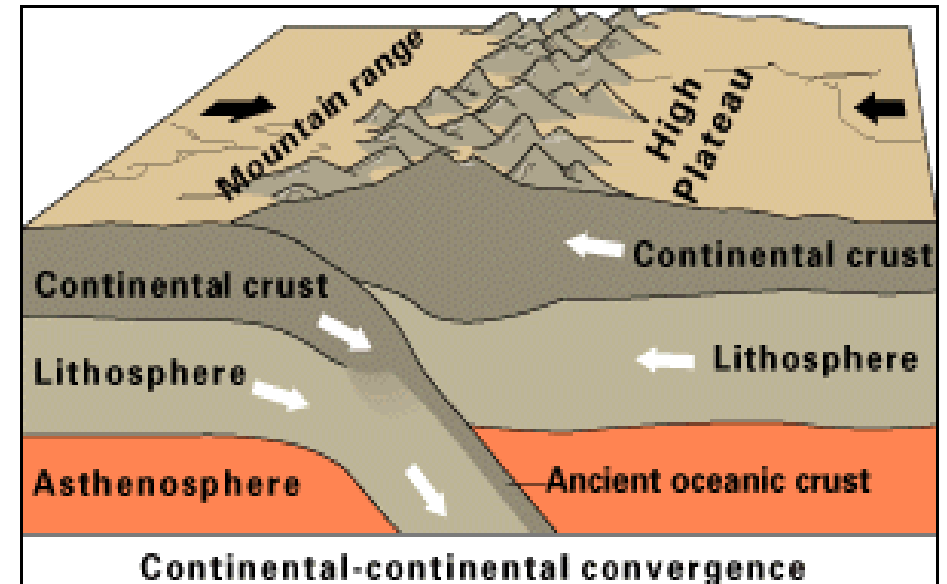
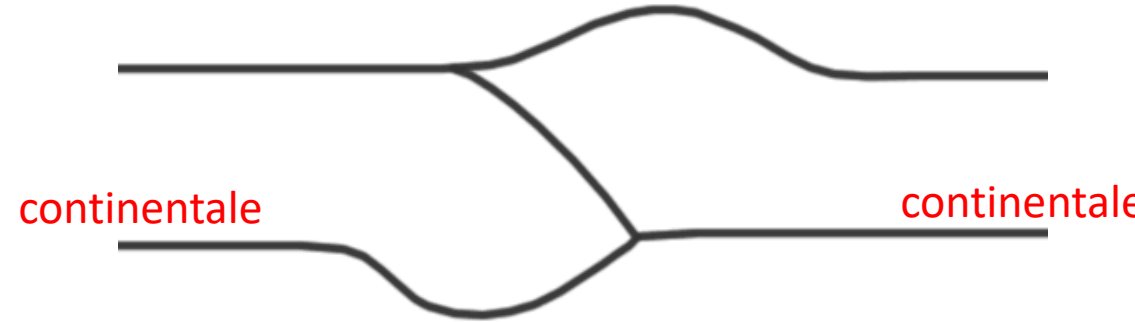
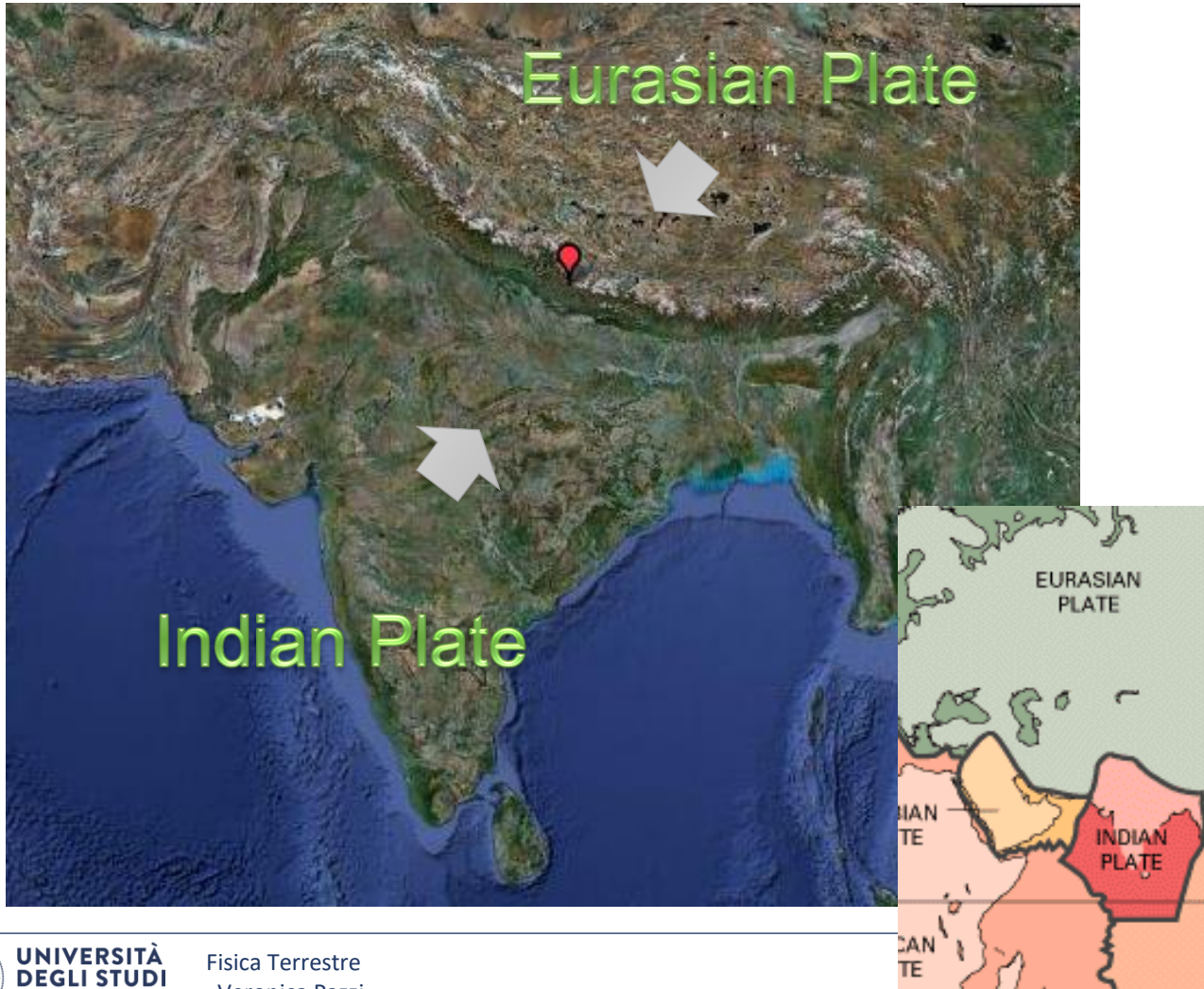
## Margini convergenti/distruttivi: oceanica e oceanica





# Tettonica delle placche: cosa dice?

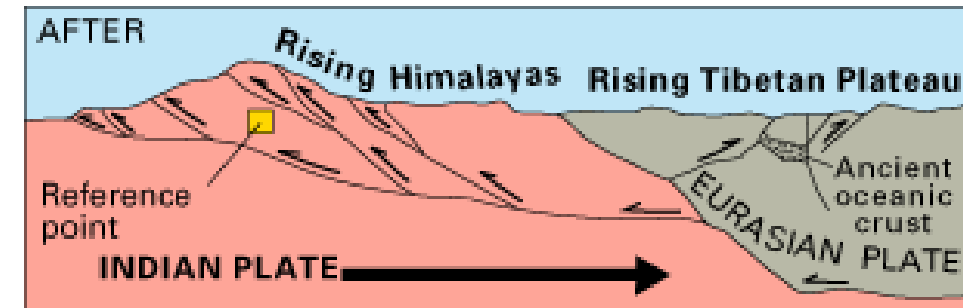
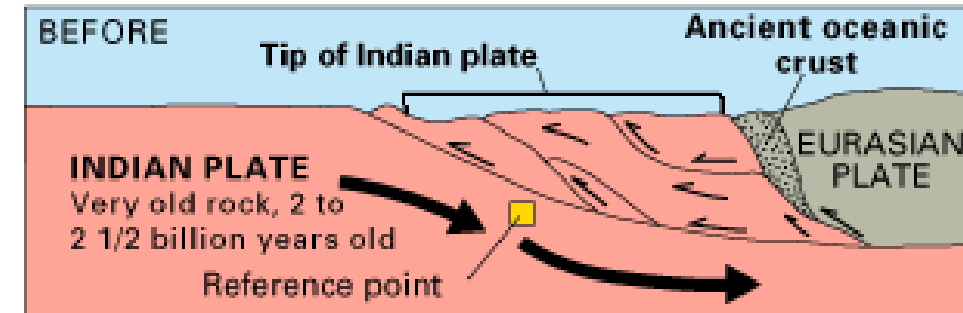
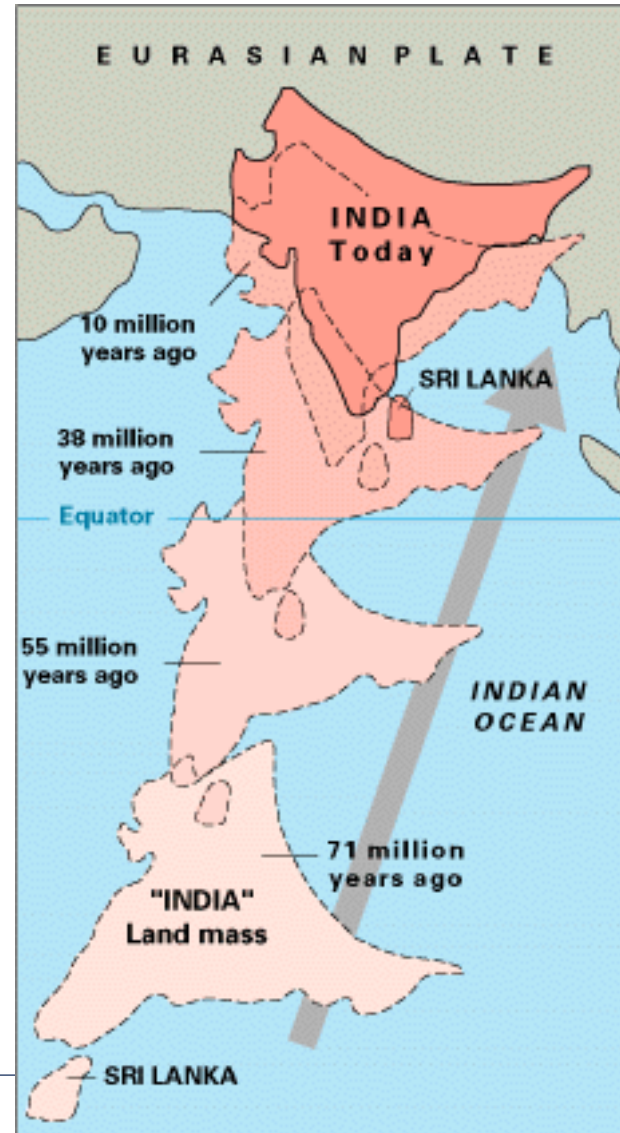
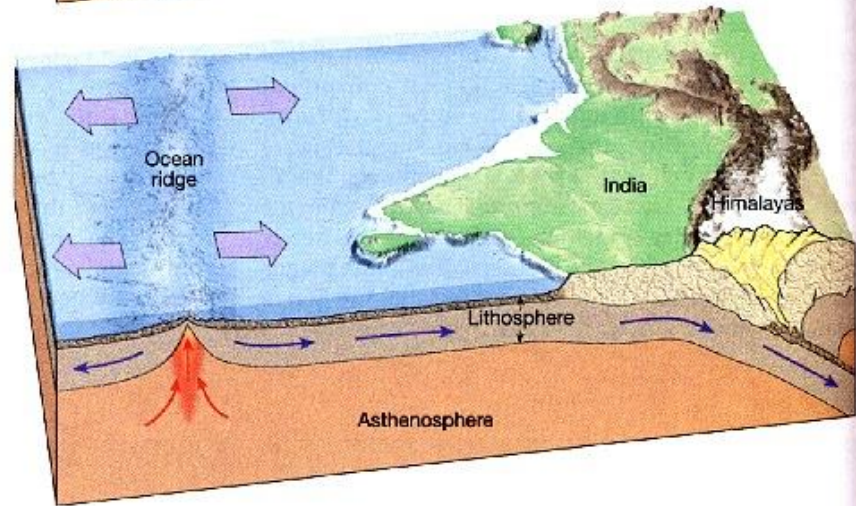
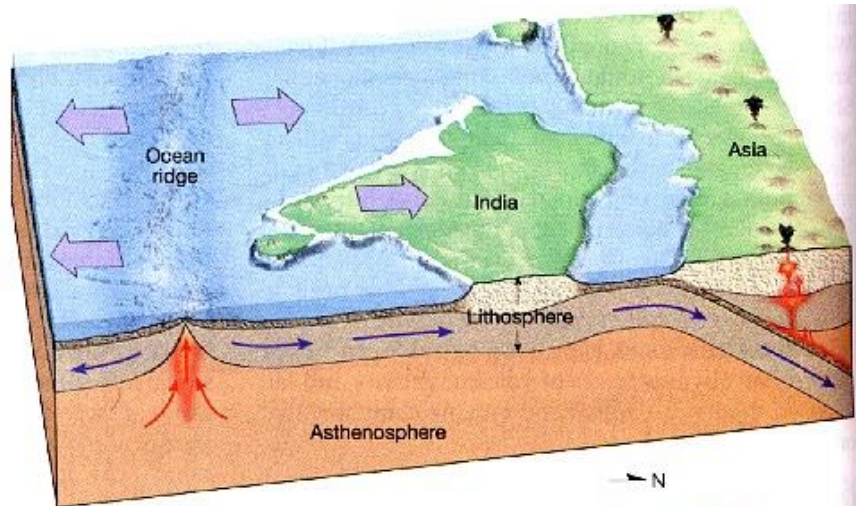
## Margini convergenti/distruttivi: continentale e continentale





# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini convergenti/distruttivi: continentale e continentale

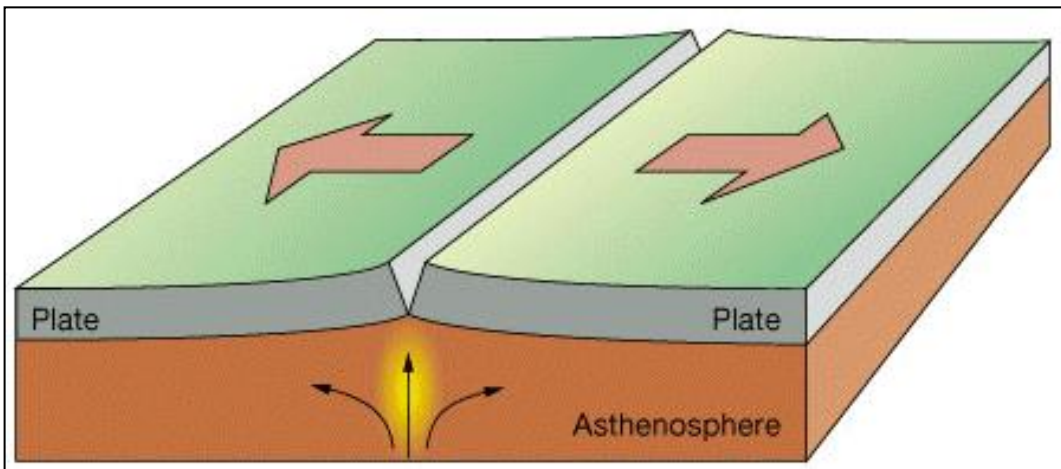
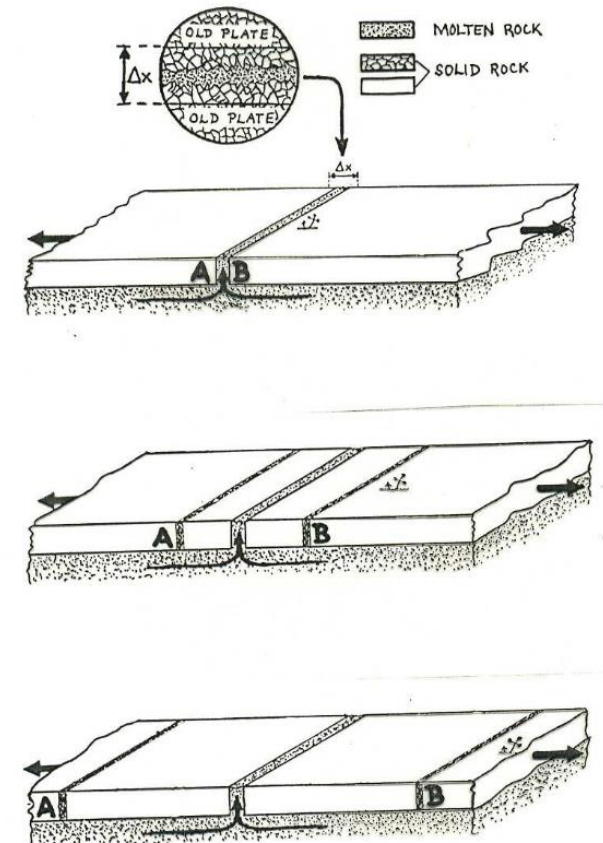


# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

Le placche si allontanano l'una dall'altra

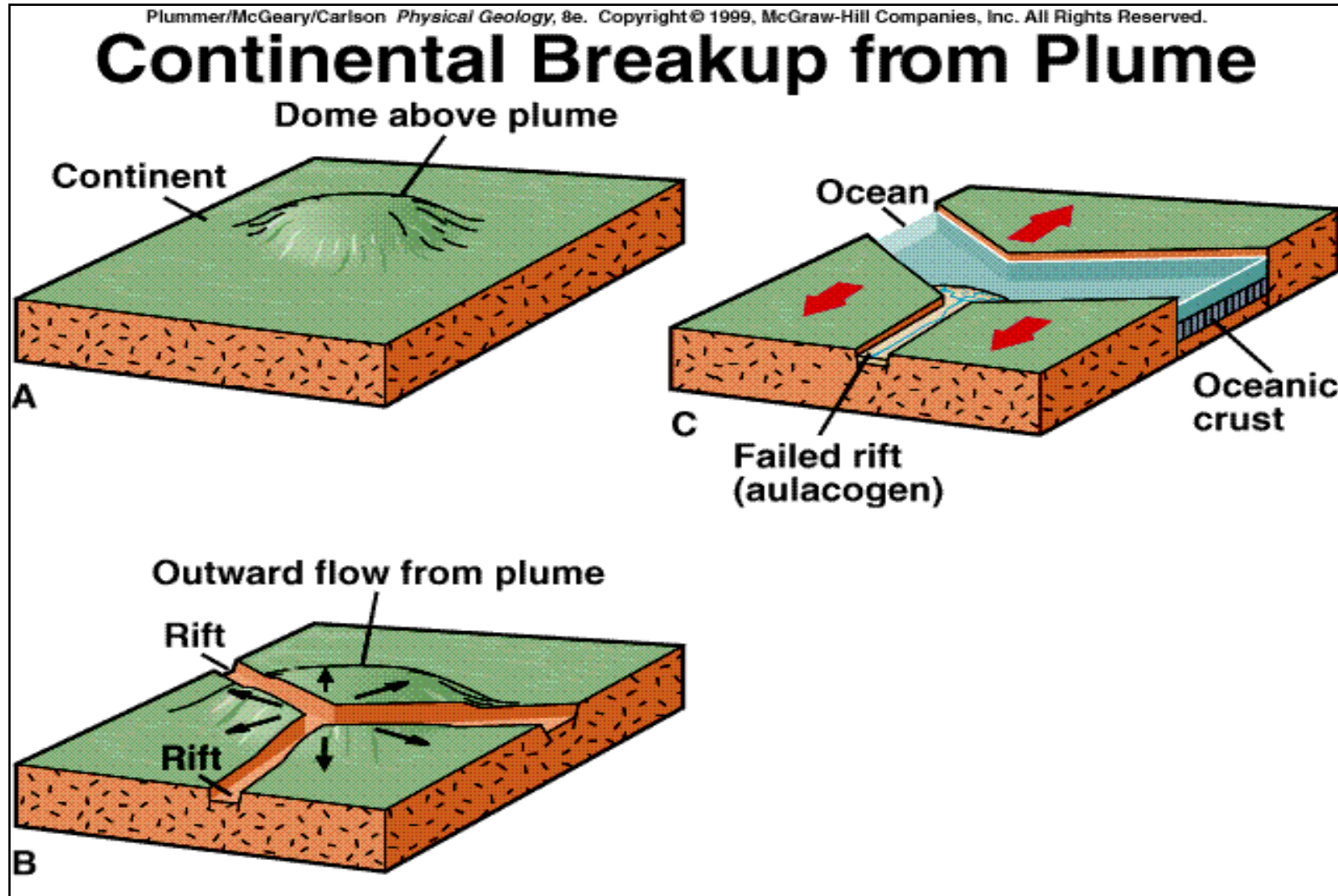
Nuovo materiale proveniente dal mantello si aggiunge alla placca





# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

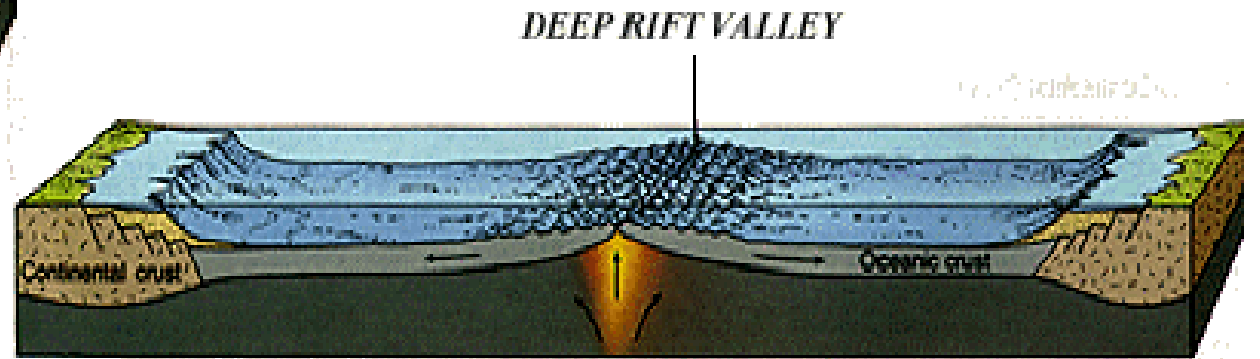
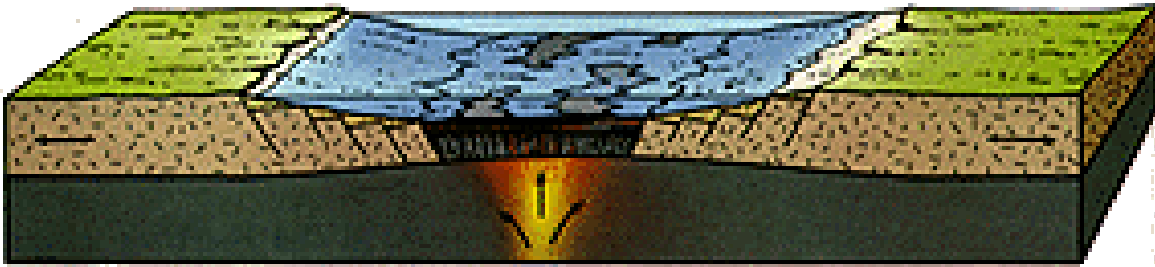
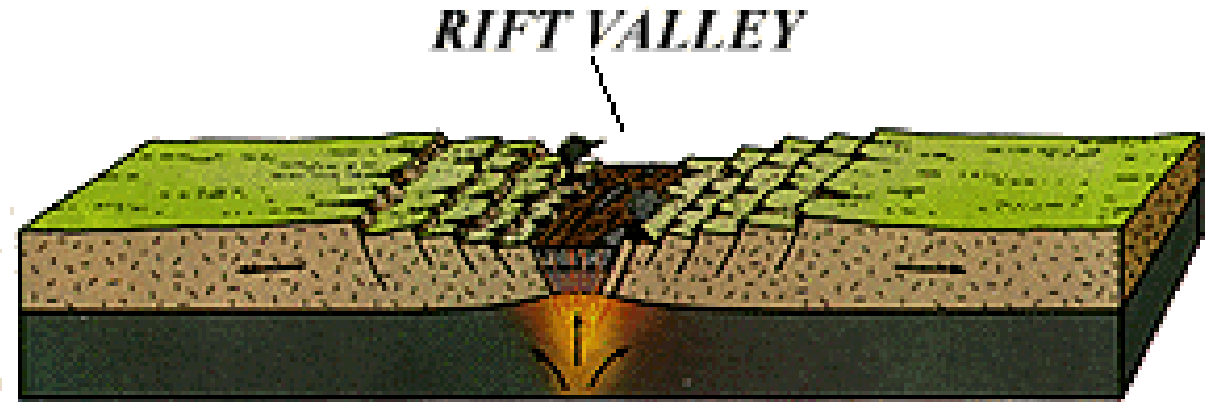
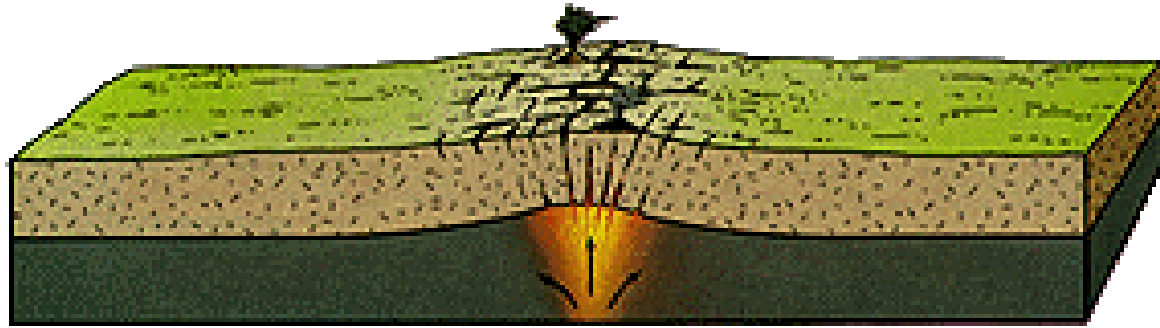


Fenomeni che si verificano:

- Rifting/formazione di graben
- Eruzioni basaltiche (Flood Basalt)
- Uplifting
- Estensione/faglie normali
- Terremoti superficiali
- Creazione di crosta oceanica
- Formazione di salgemma nella spaccatura

# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi



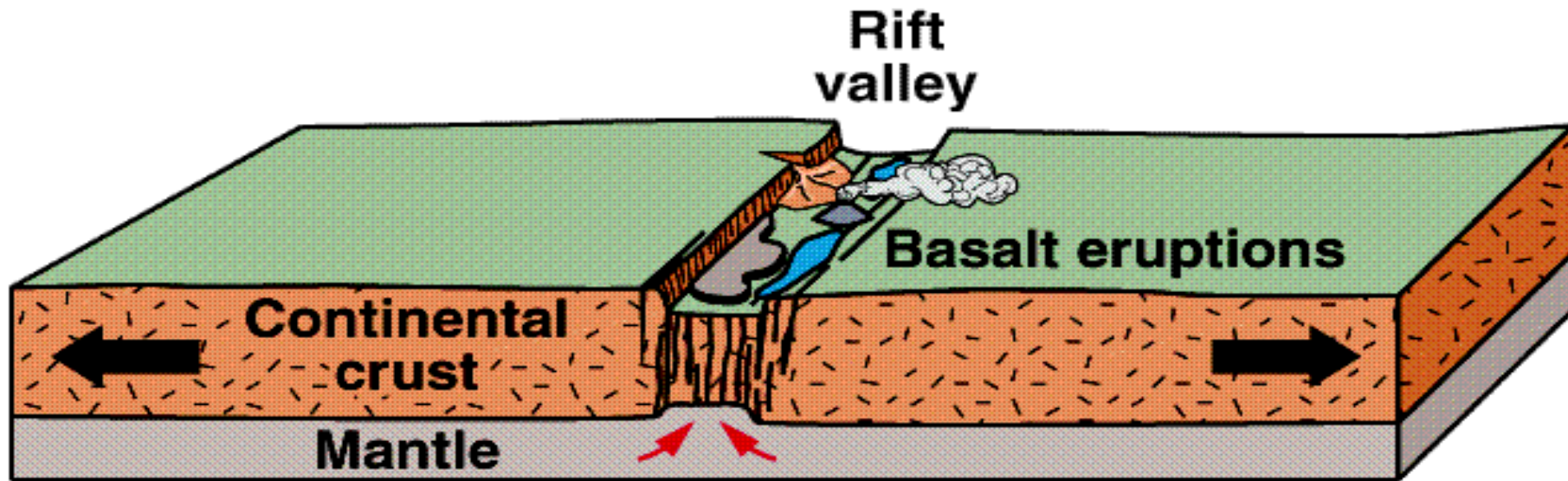


# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

Plummer/McGeary/Carlson *Physical Geology*, 8e. Copyright © 1999, McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights Reserved.

## Continent Undergoes Extension



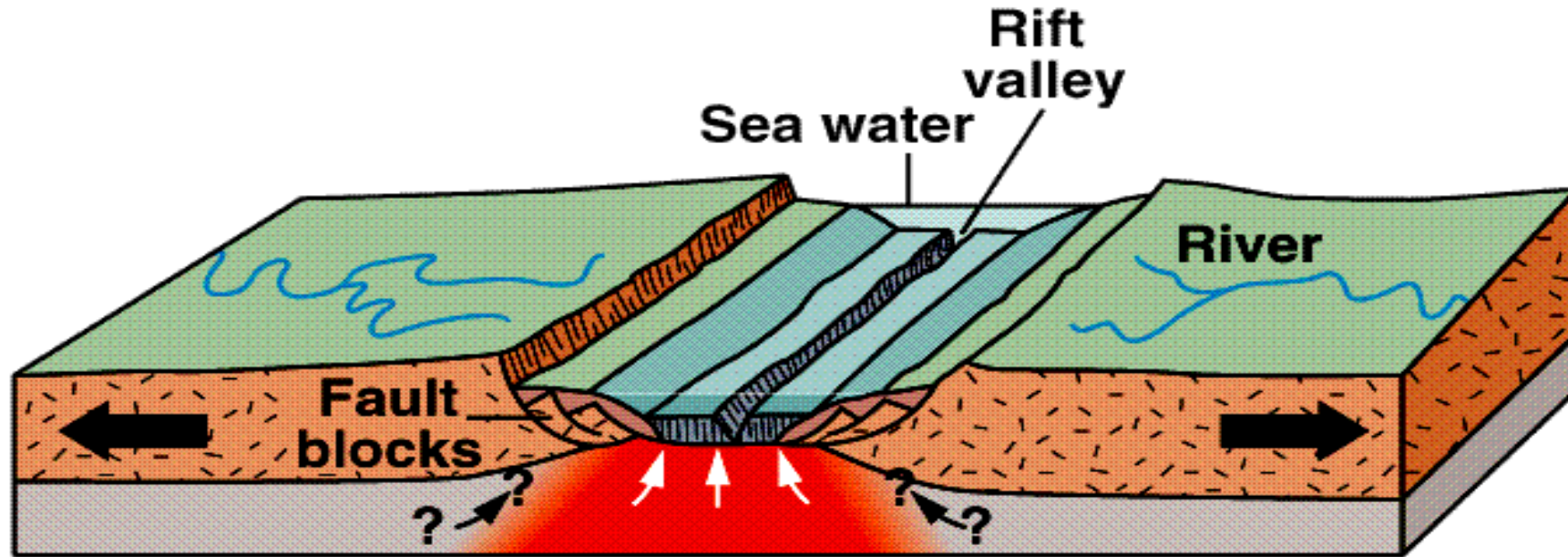
**A Continent undergoes extension. The crust is thinned and a rift valley forms (East African Rift Valleys).**

# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

Plummer/McGeary/Carlson *Physical Geology*, 8e. Copyright © 1999, McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights Reserved.

## Continent Tears in Two



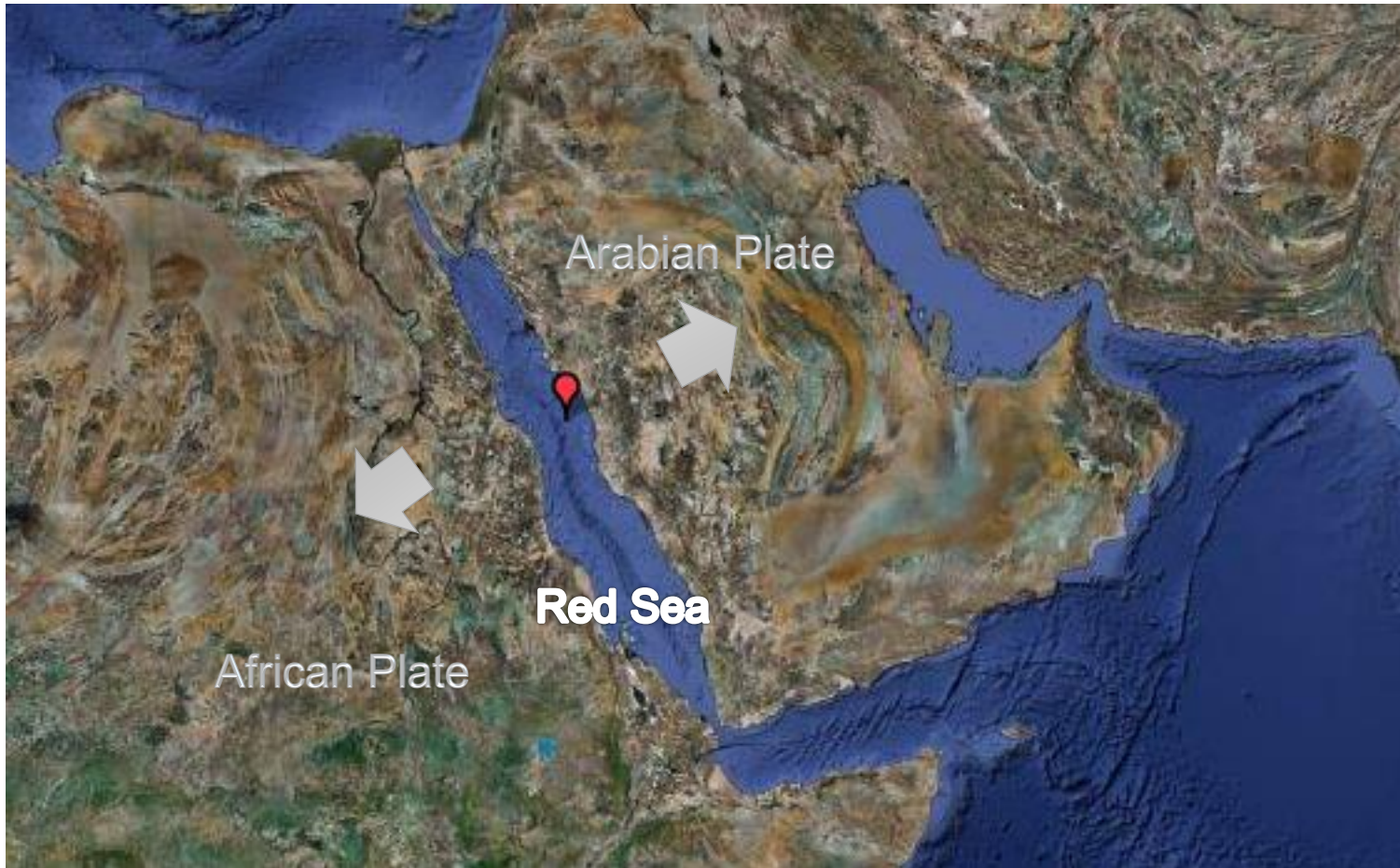
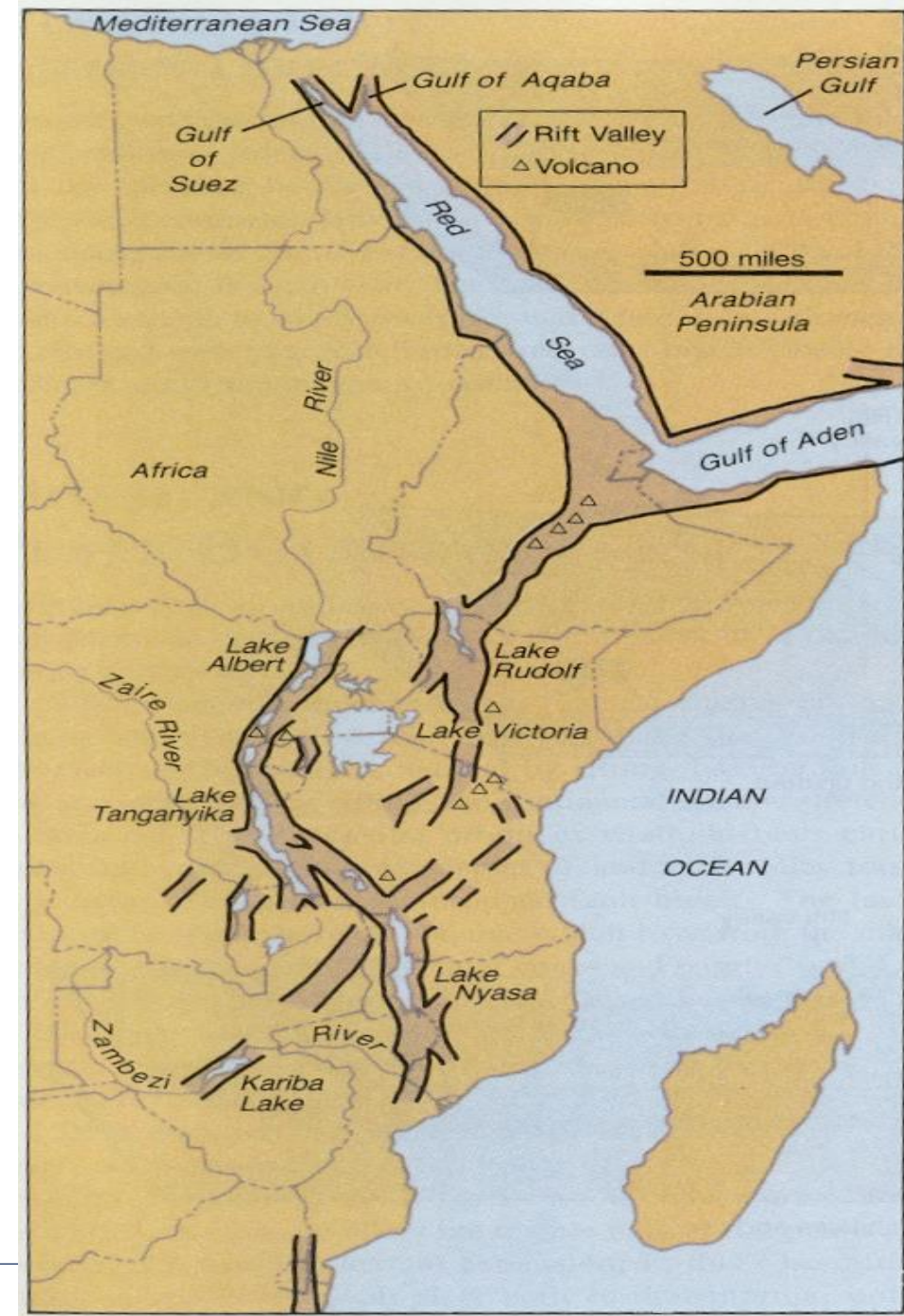
**B** Continent tears in two. Continent edges are faulted and uplifted. Basalt eruptions form oceanic crust (Red Sea).



# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

### East African Rift System



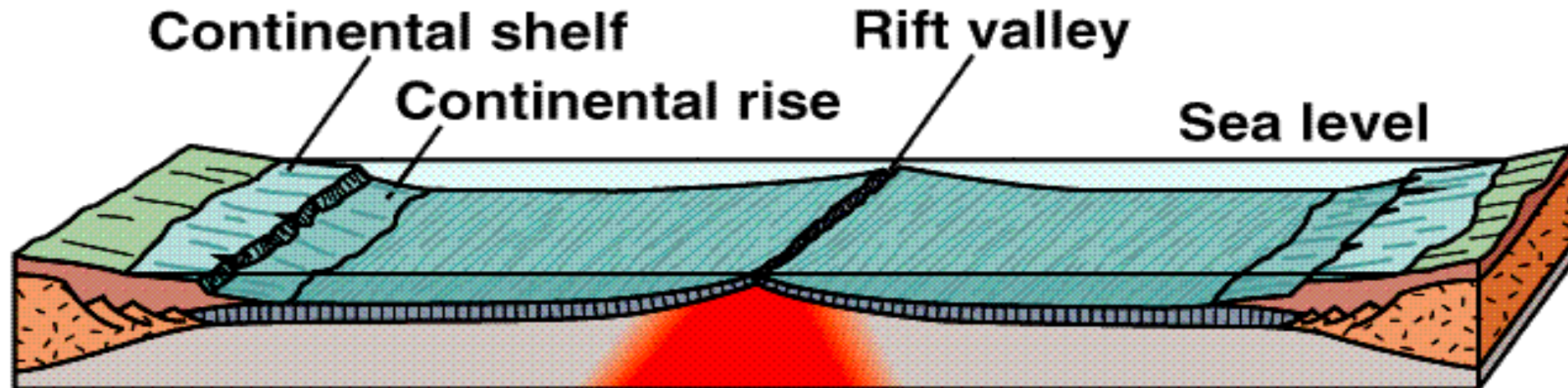


# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

Plummer/McGeary/Carlson *Physical Geology*, 8e. Copyright © 1999, McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights Reserved.

## Divergent Plate Boundary Formed



**C** Continental sediments blanket the subsiding margins to form continental shelves and rises. The ocean widens and a mid-oceanic ridge develops (Atlantic Ocean).



# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

Fondale marino in espansione

Sistema di dorsali medio-oceaniche:

lunghezza: 70,000 km

larghezza: 30-35 km

profondità: 1-2 km



# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

Fondale marino in espansione

Sistema di dorsali medio-oceaniche:

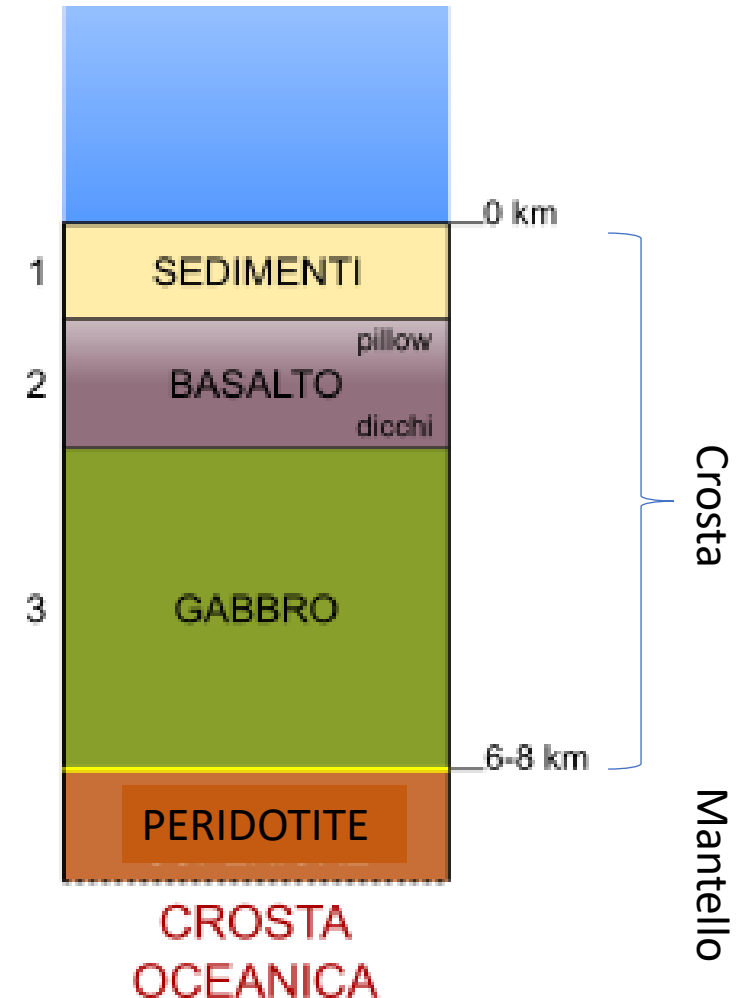
lunghezza: 70,000 km

larghezza: 30-35 km

profondità: 1-2 km

Nuova crosta oceanica: sequenza ofiolitica

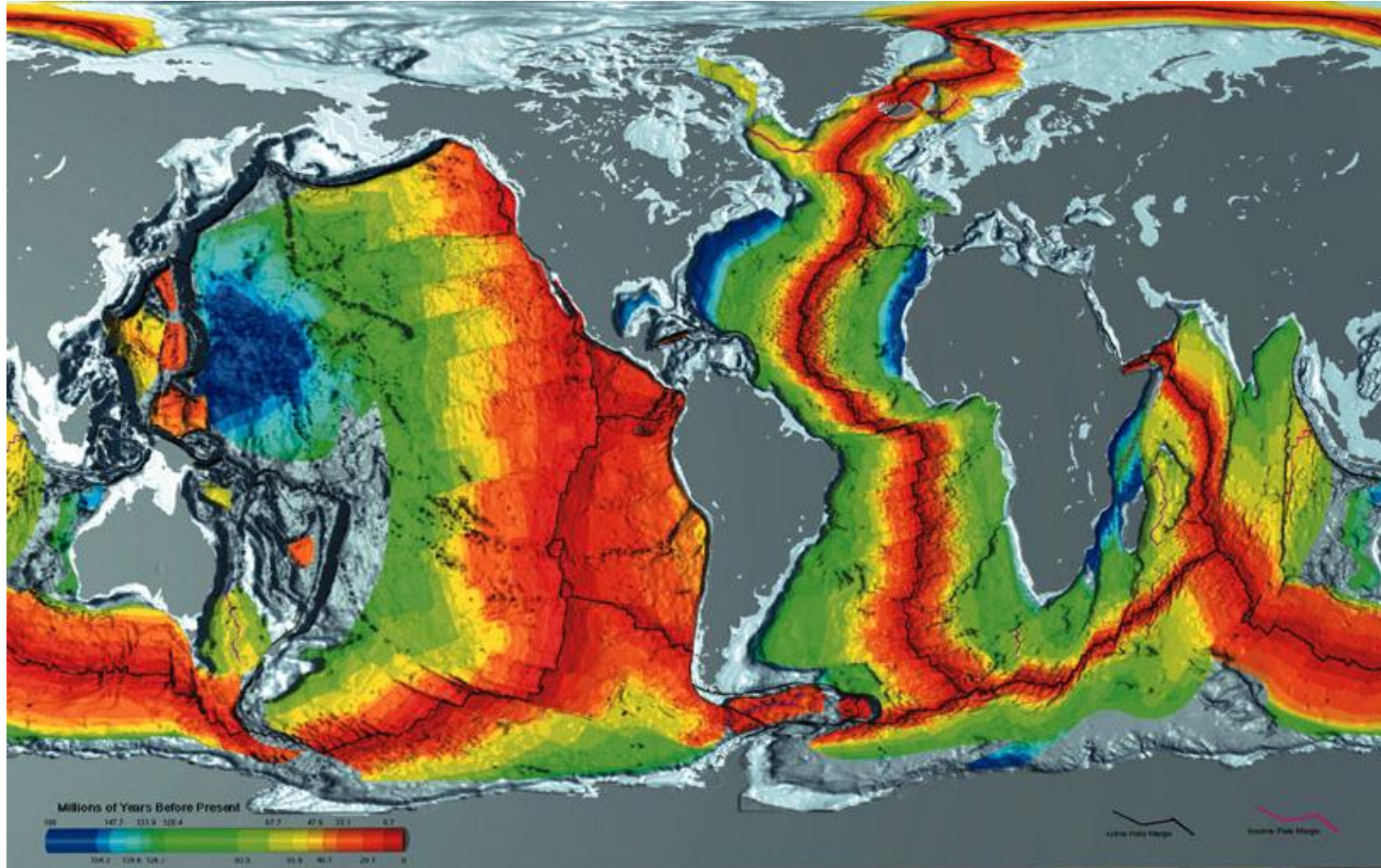
I sedimenti ricoprono i margini continentali che sono passivi





# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi



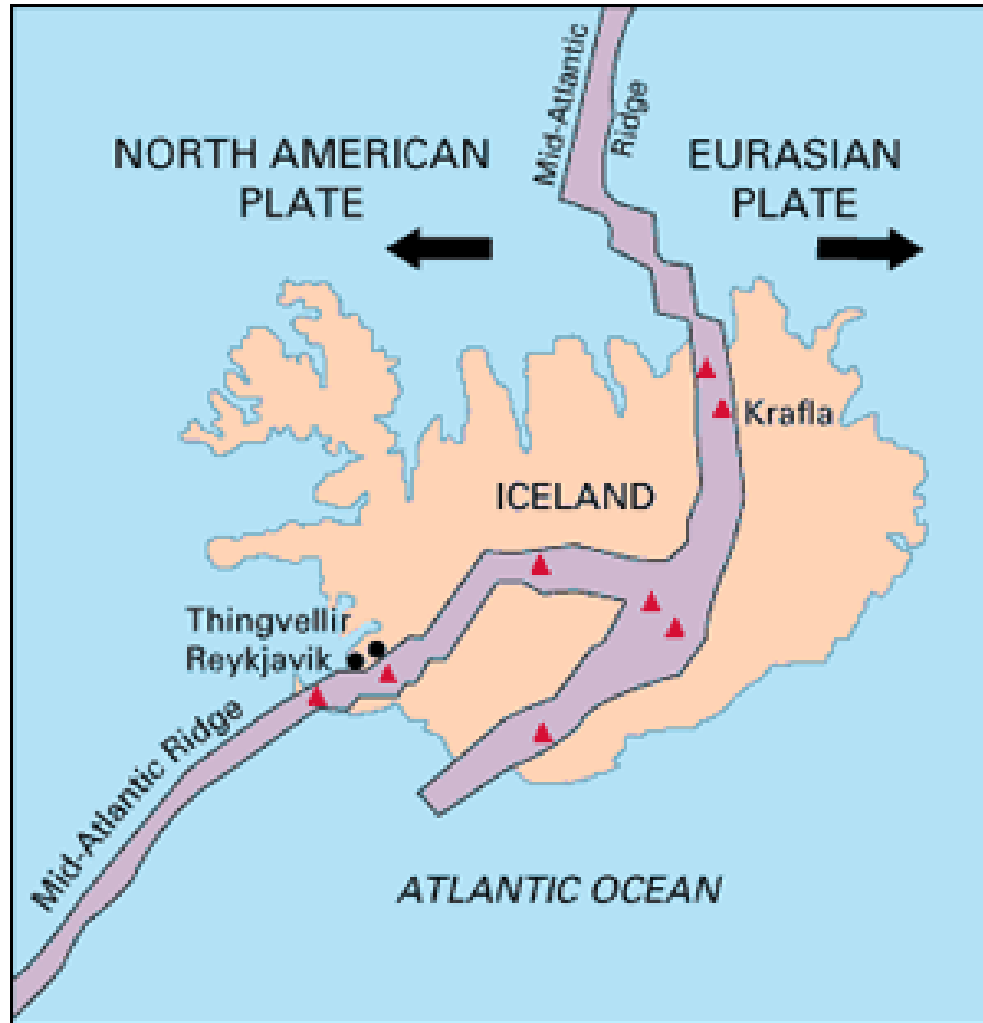
Rosso = più giovane  
Blu = più antico



# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini divergenti/costruttivi

Islanda

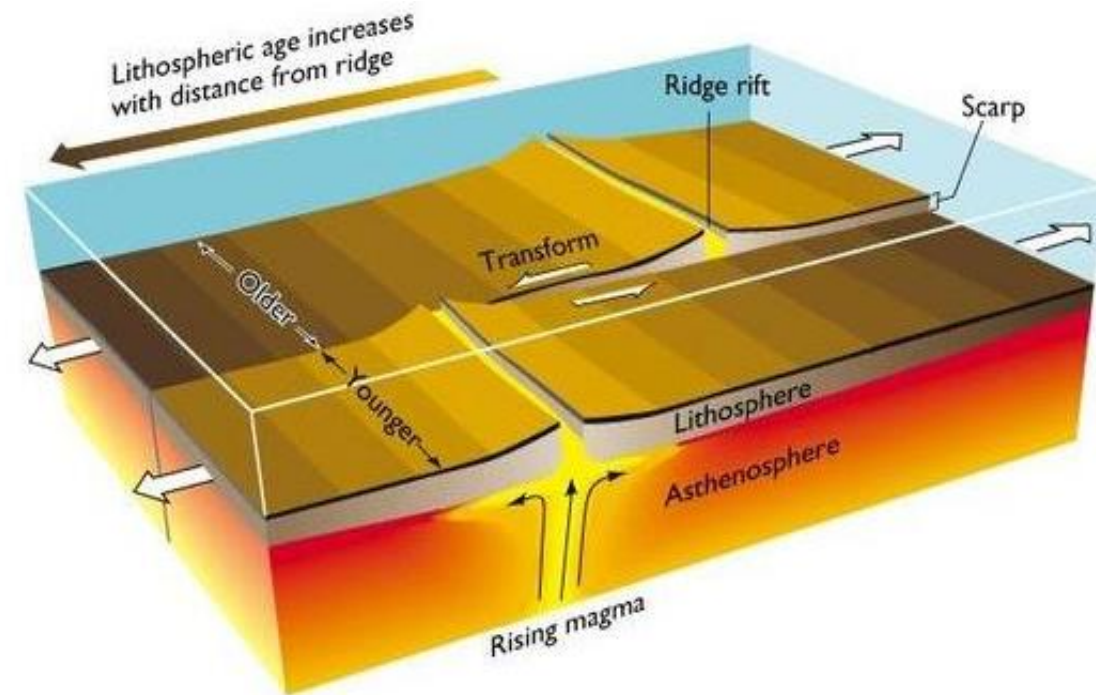
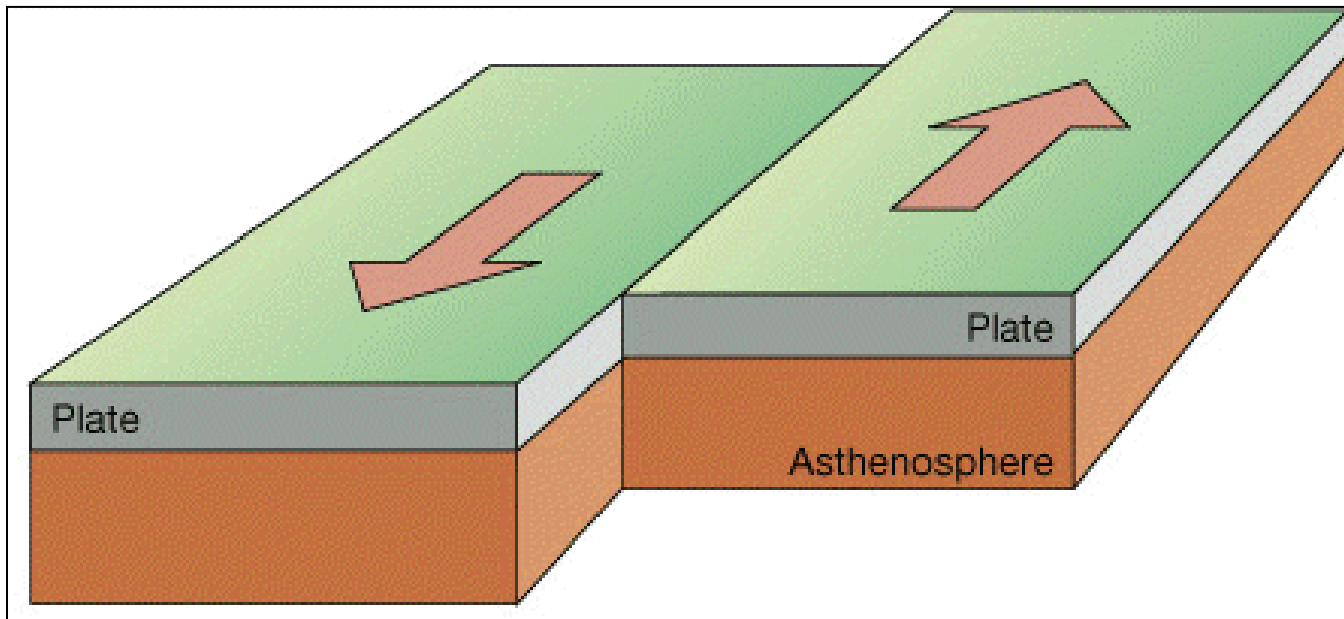


# Tettonica delle placche: cosa dice?

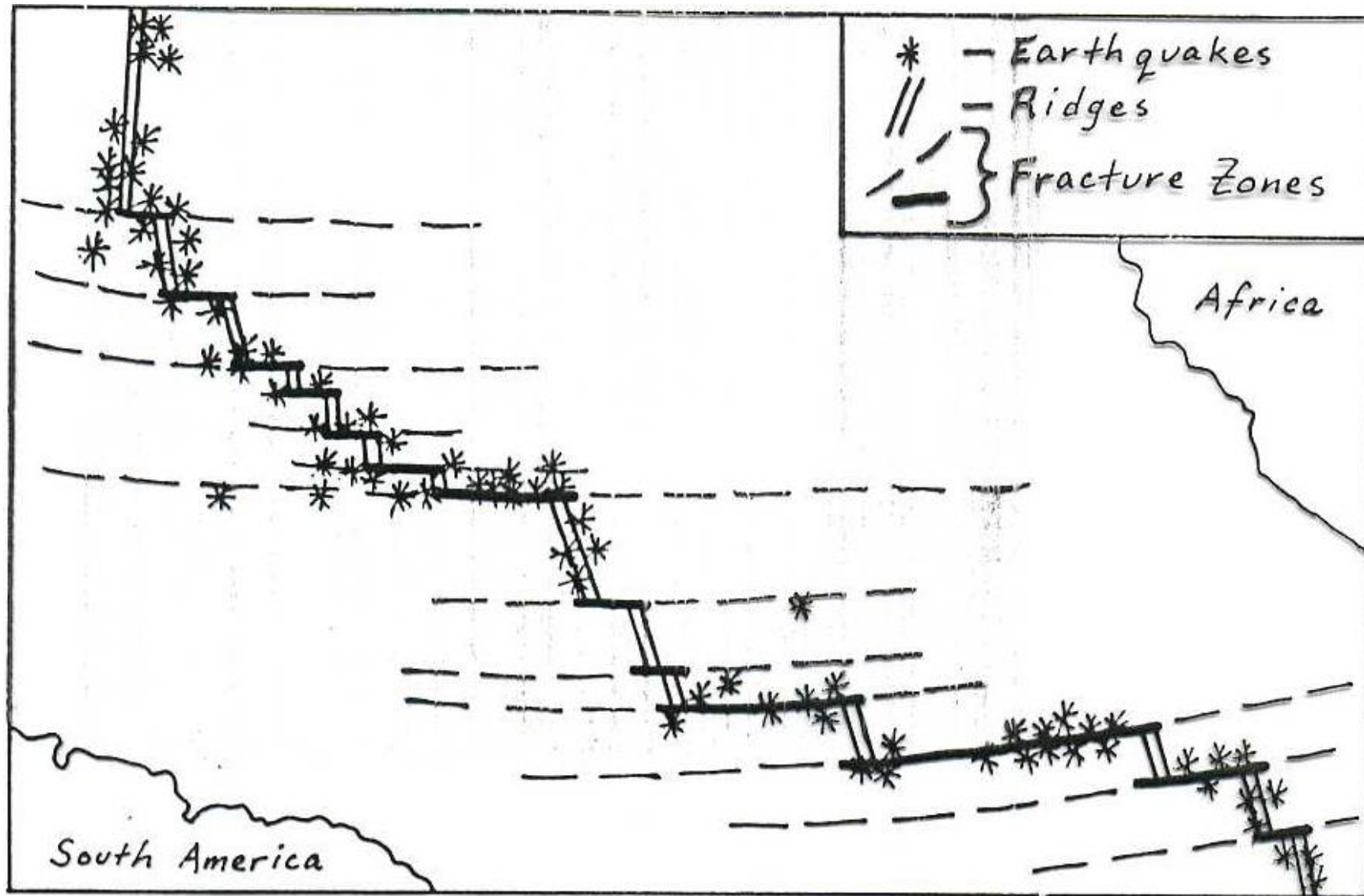
## Margini conservativi

Le placche si muovono lateralmente una rispetto all'altra

La litosfera non viene né creata né distrutta



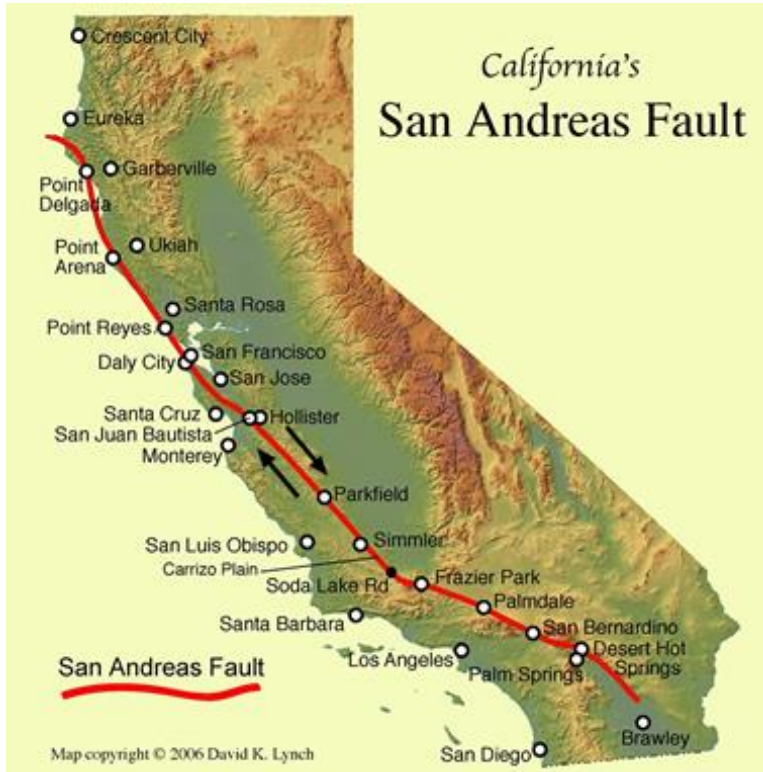
# Tettonica delle placche: cosa dice?



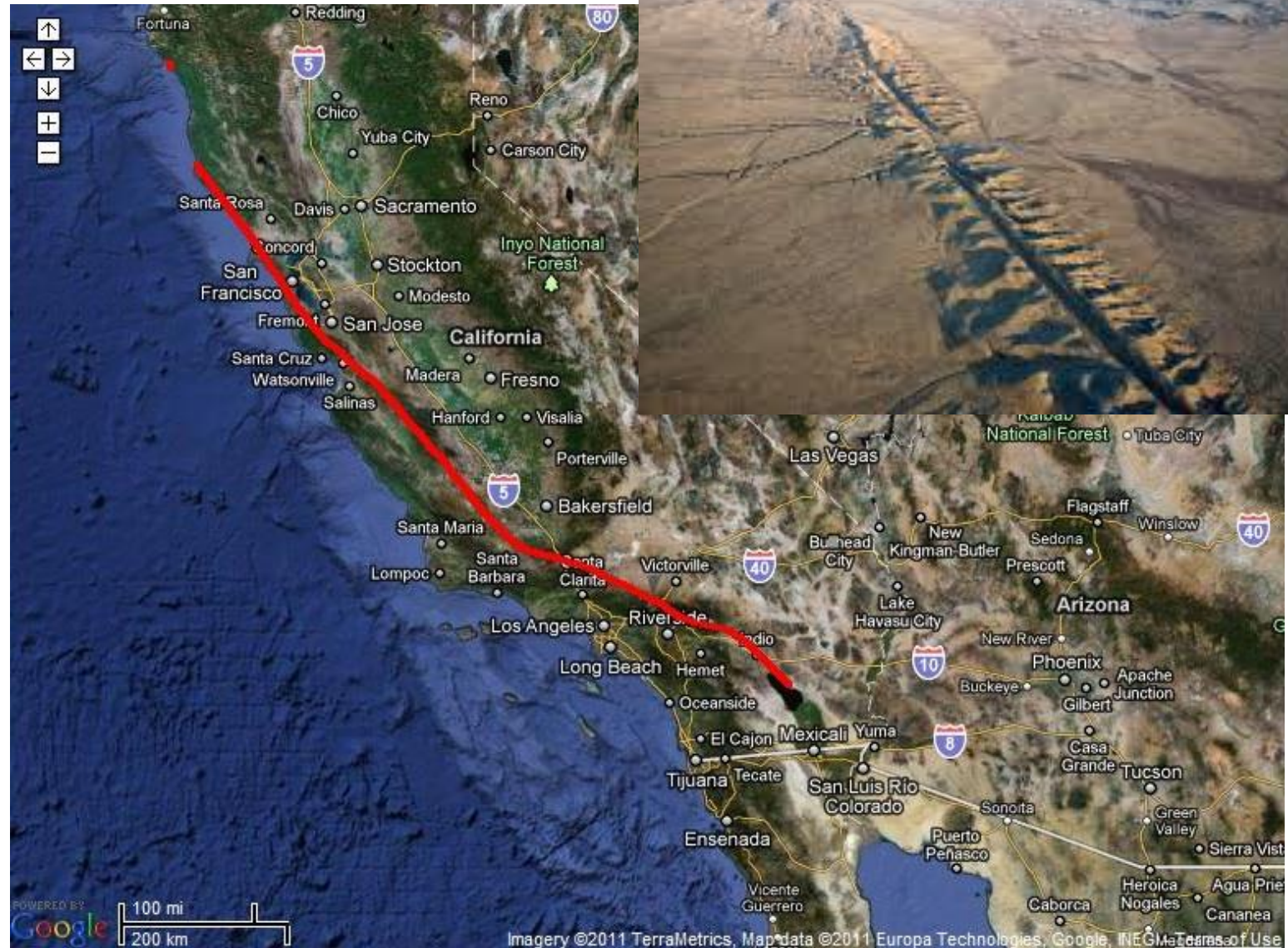


# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Margini conservativi



Faglia di San Andrea

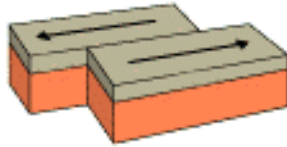




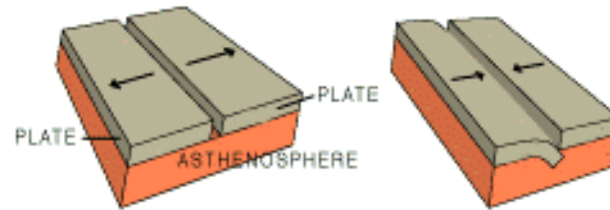
# Tettonica delle placche: cosa dice?

## Tipologie di margini tra placche

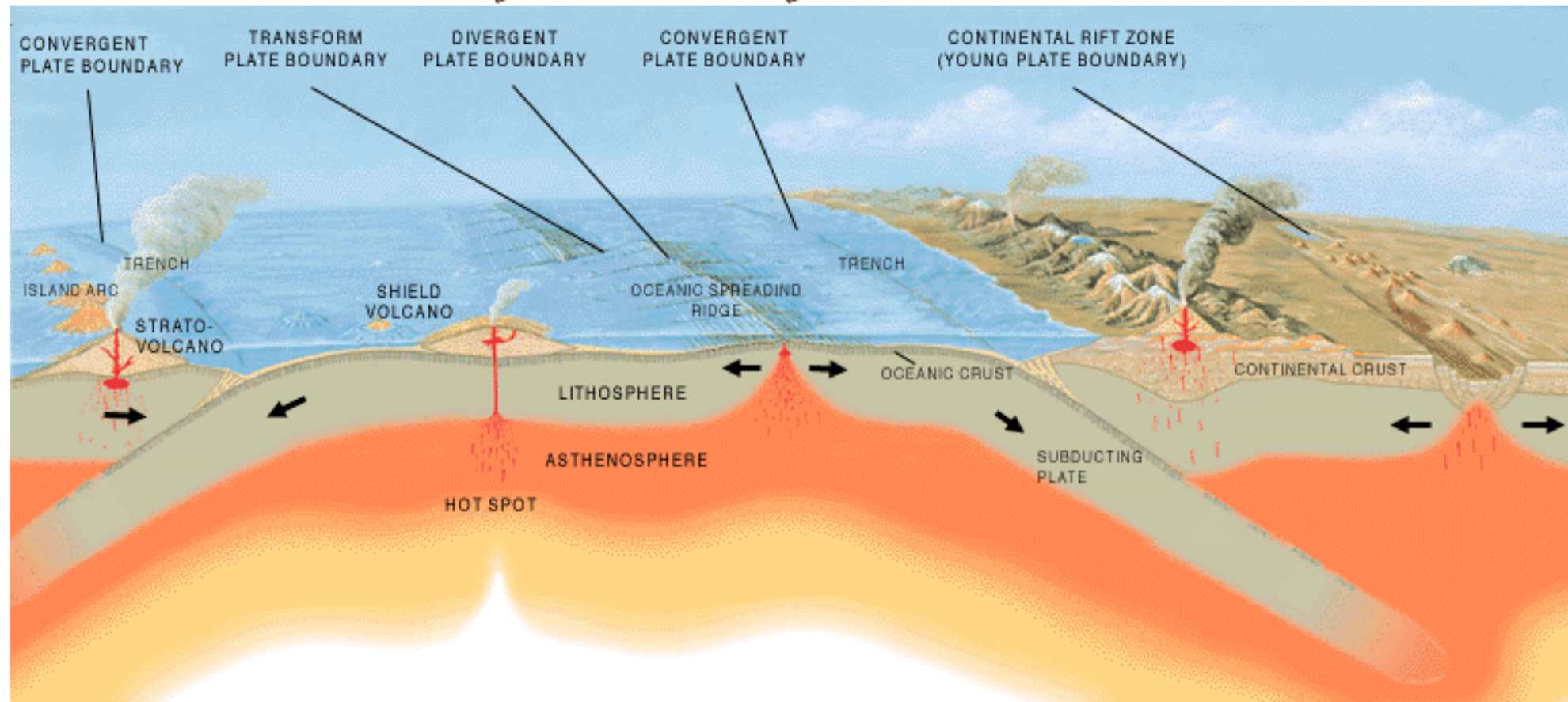
TRASFORME  
(CONSERVATIVO)



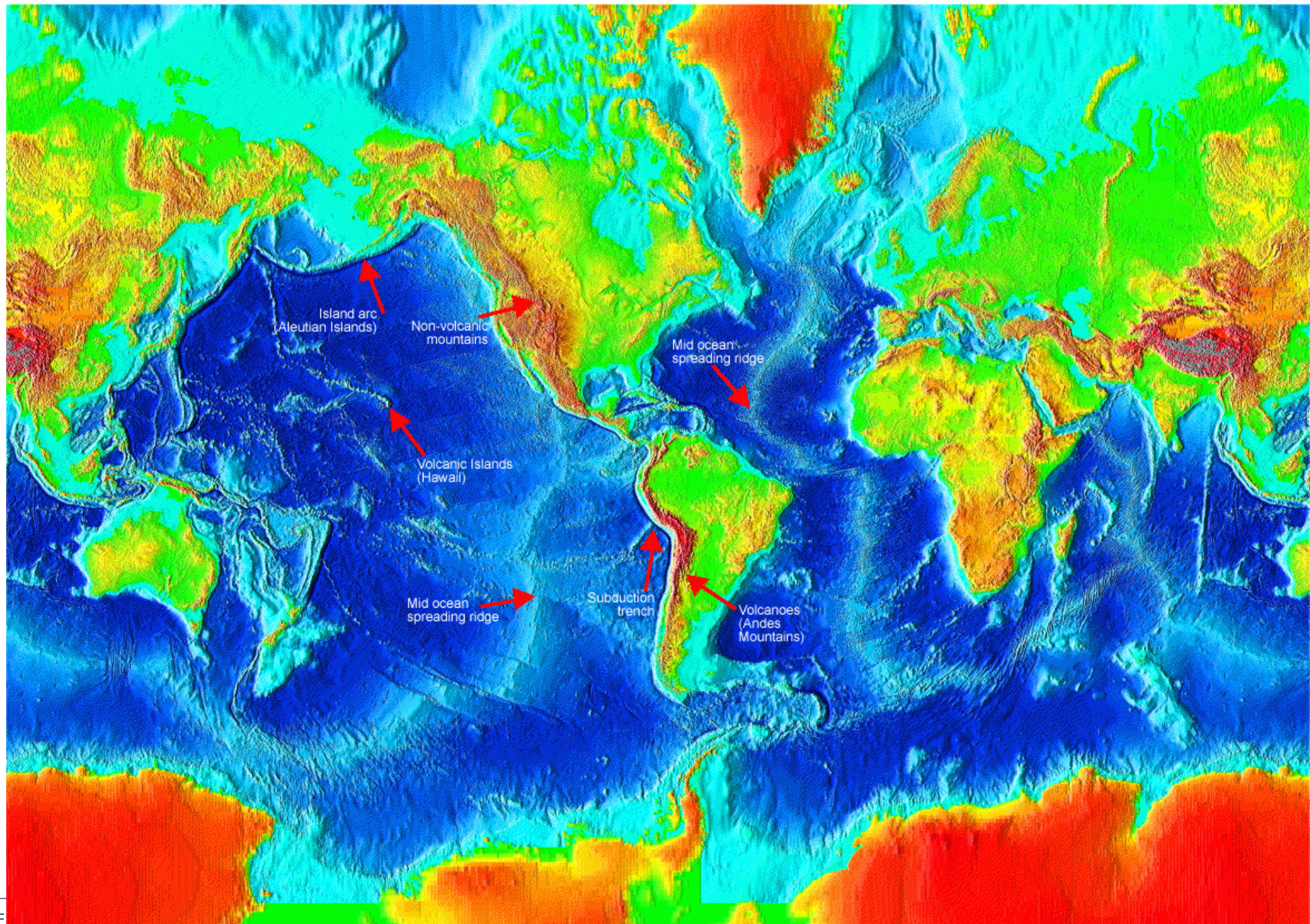
RIFTING (DIVERGENTE)



SUBDUZIONE  
(CONVERGENTE)

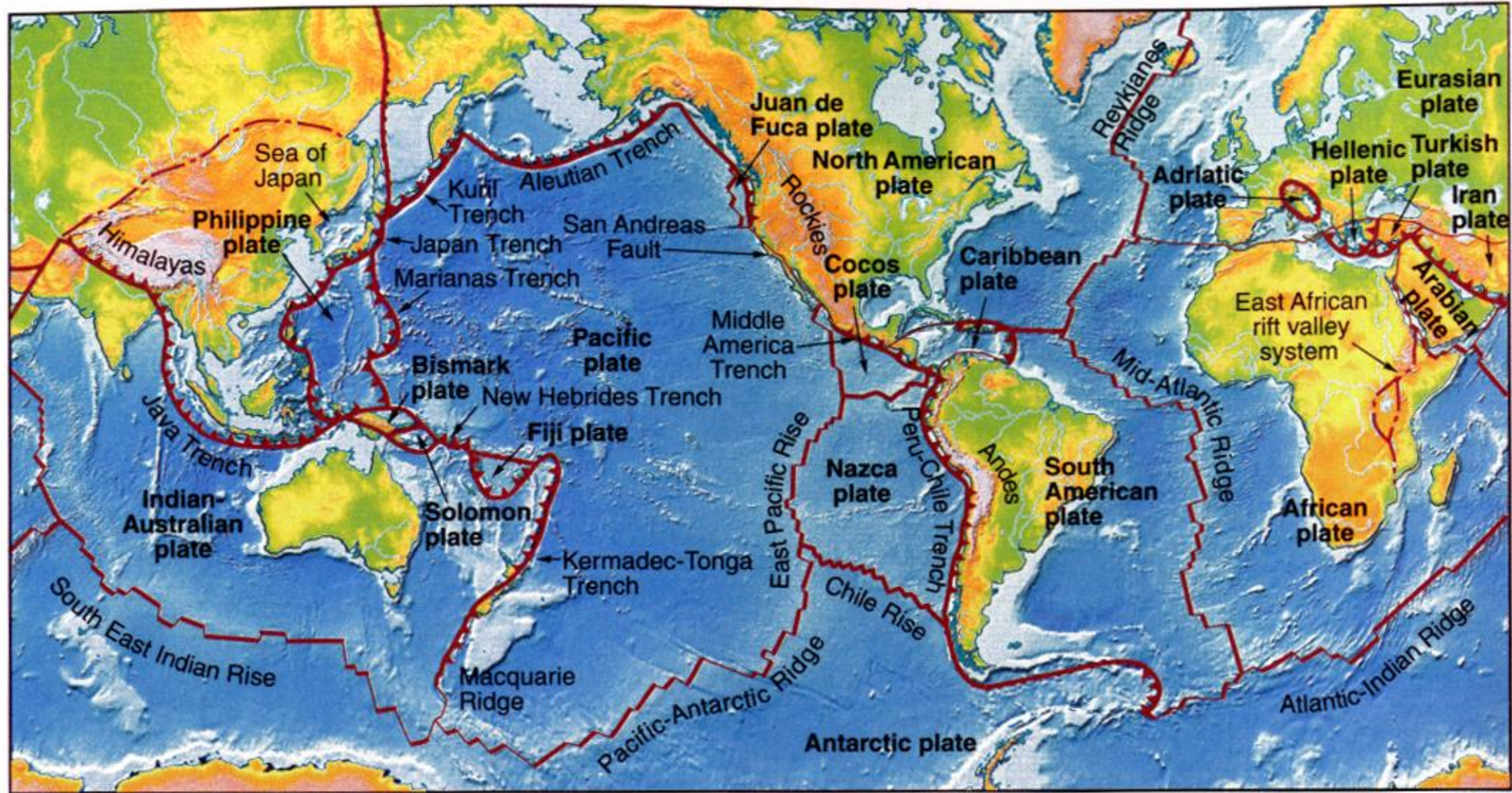








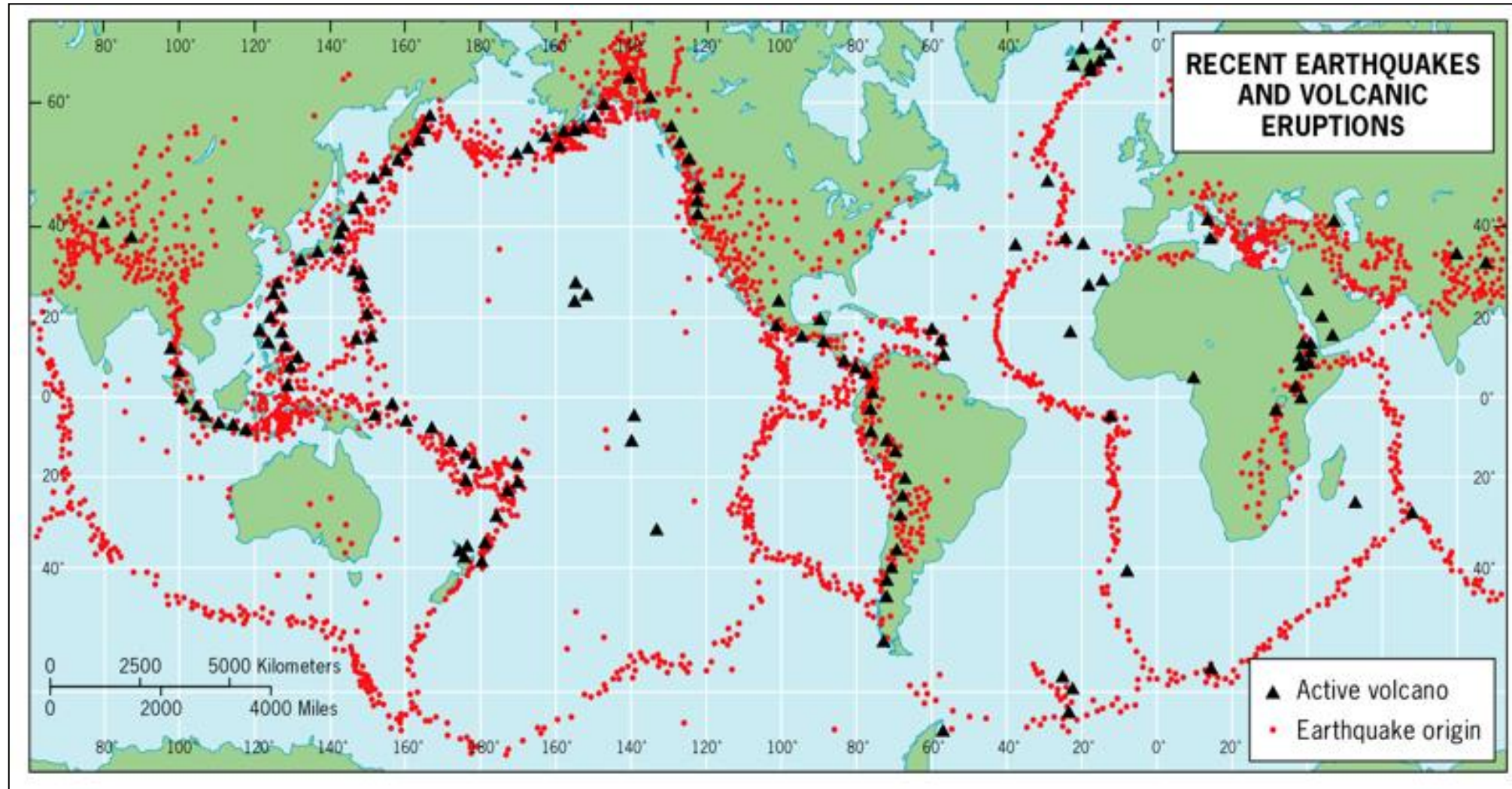
# Tettonica delle placche: cosa dice?





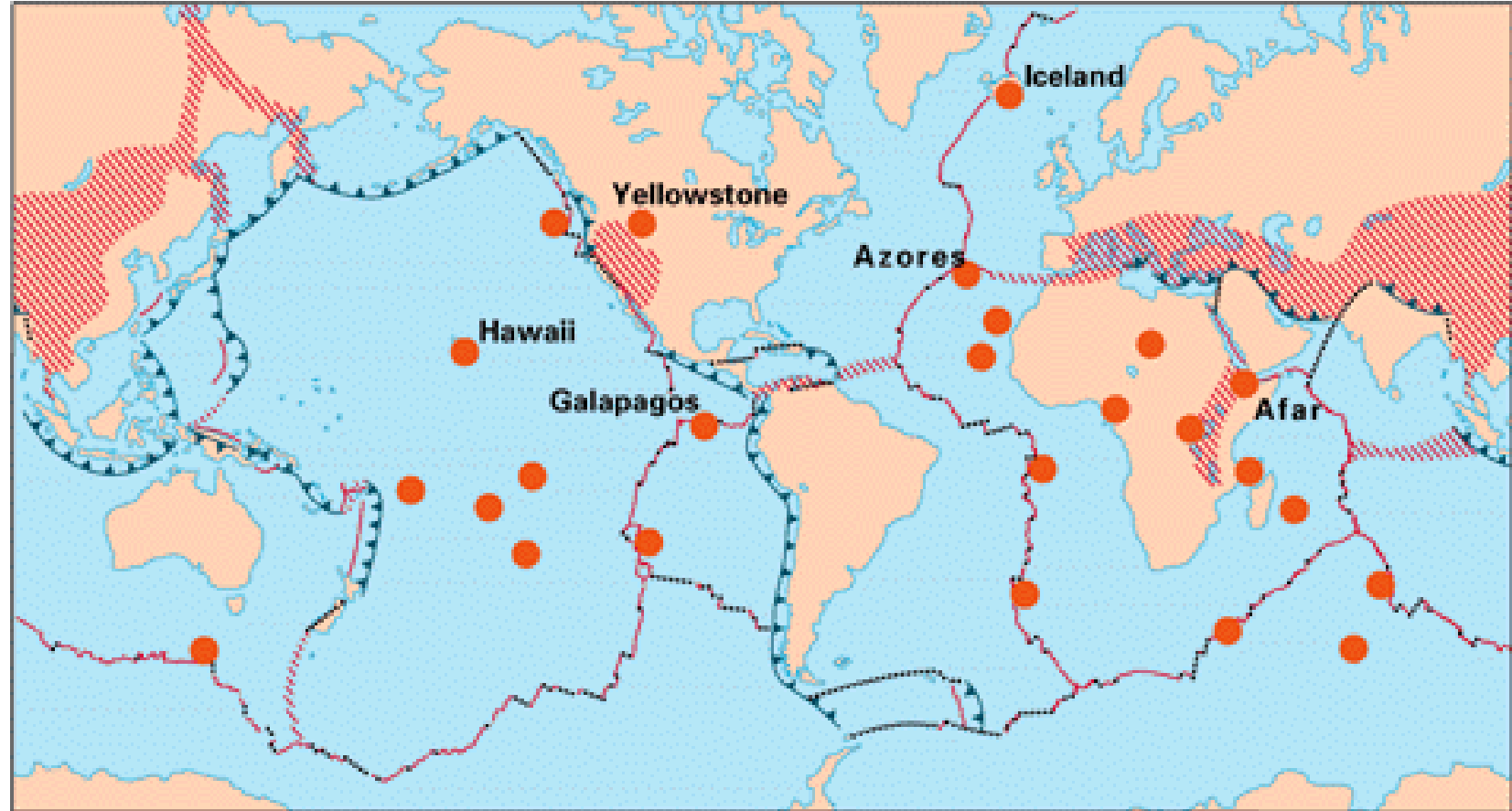
# Tettonica delle placche: cosa dice?

La maggior parte dell'attività vulcanica a livello mondiale è concentrata lungo i bordi delle placche in corrispondenza delle "cinture sismiche"



# Tettonica delle placche: cosa dice?

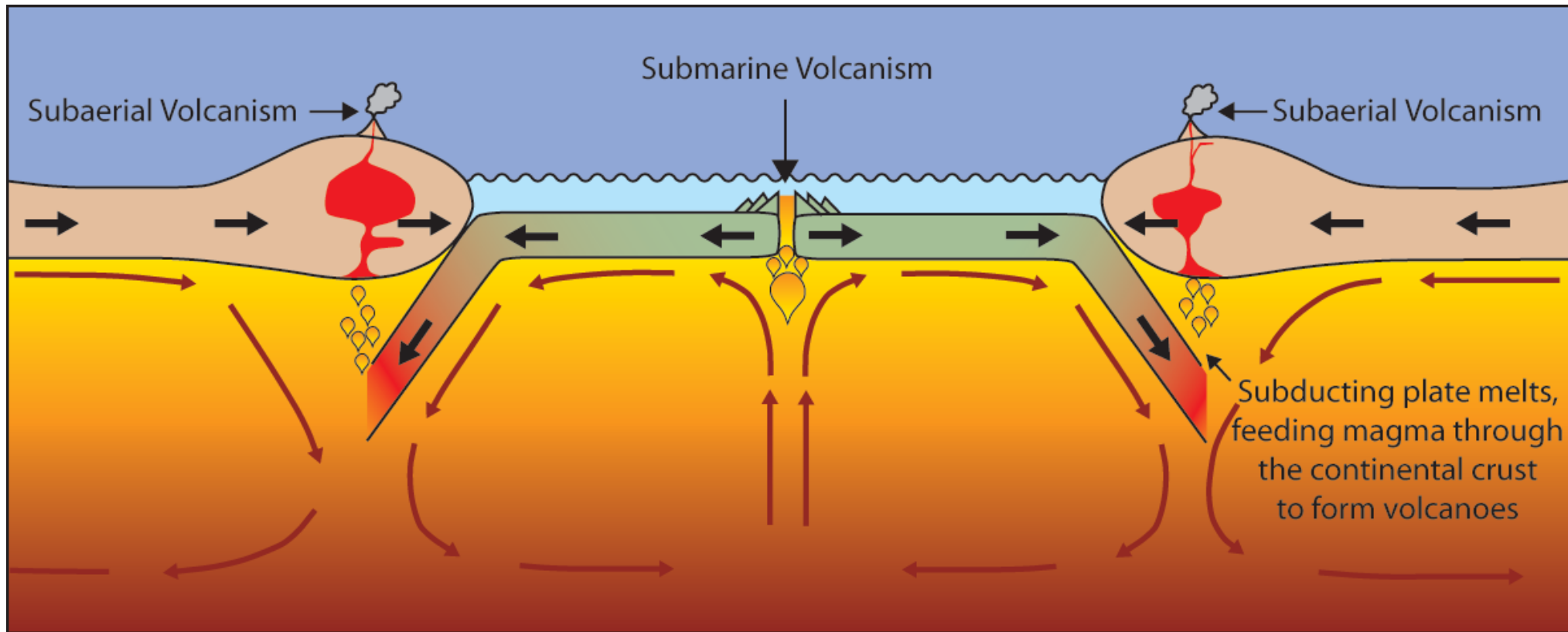
Tuttavia si riscontrano esempi di vulcanismo isolato e intra-placca in quelle che sono chiamate “catene di isole vulcaniche”, dove il vulcano attivo è ad un estremo della catena/arco





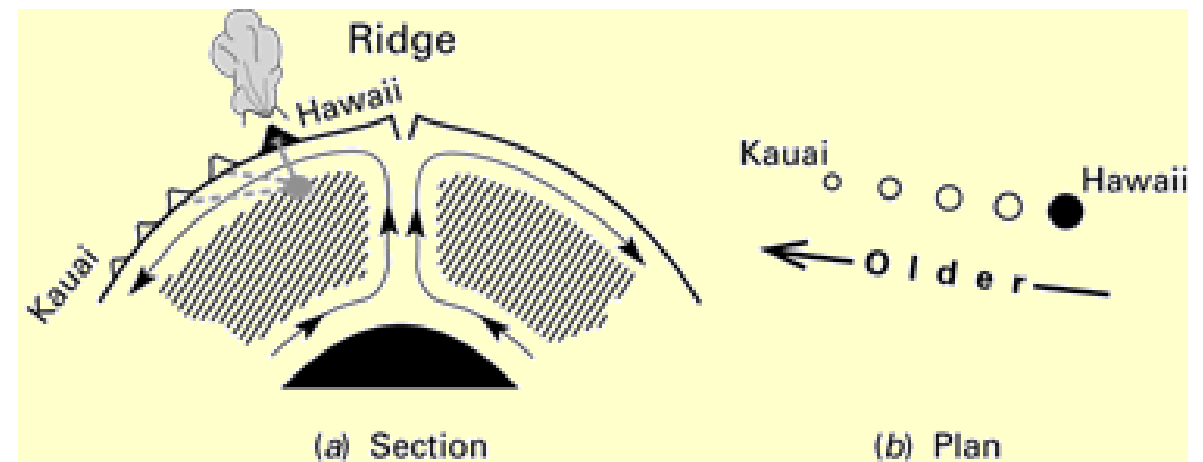
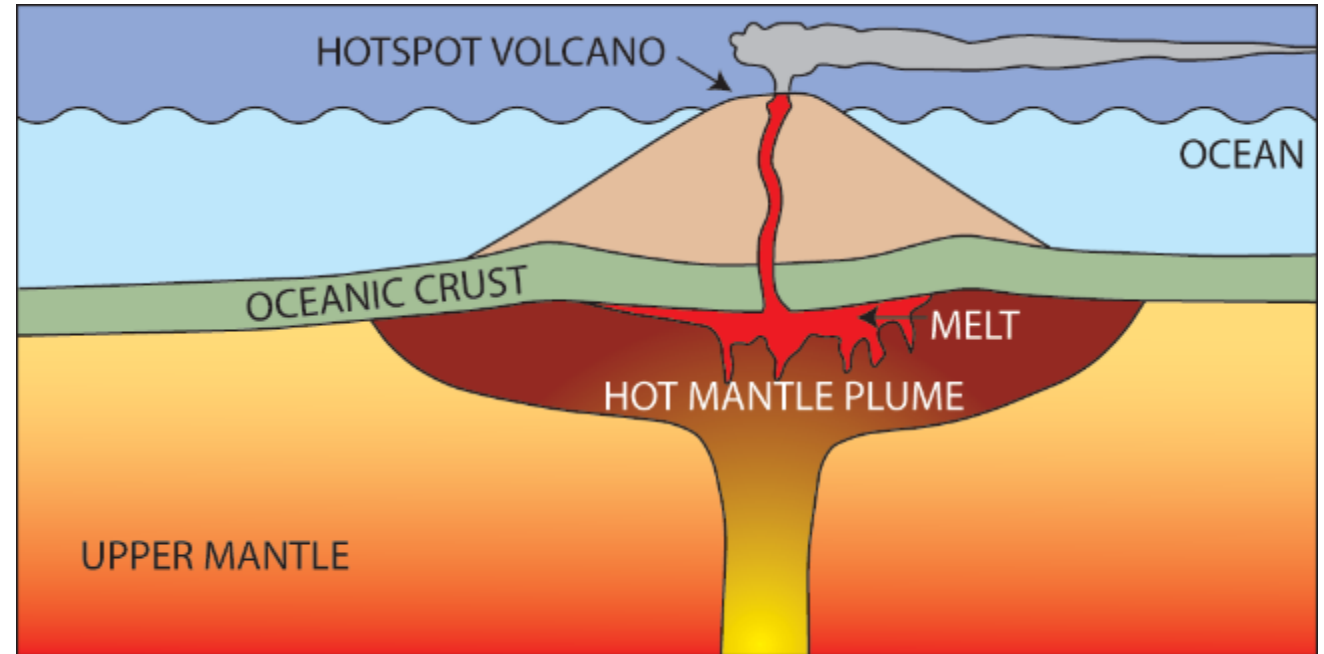
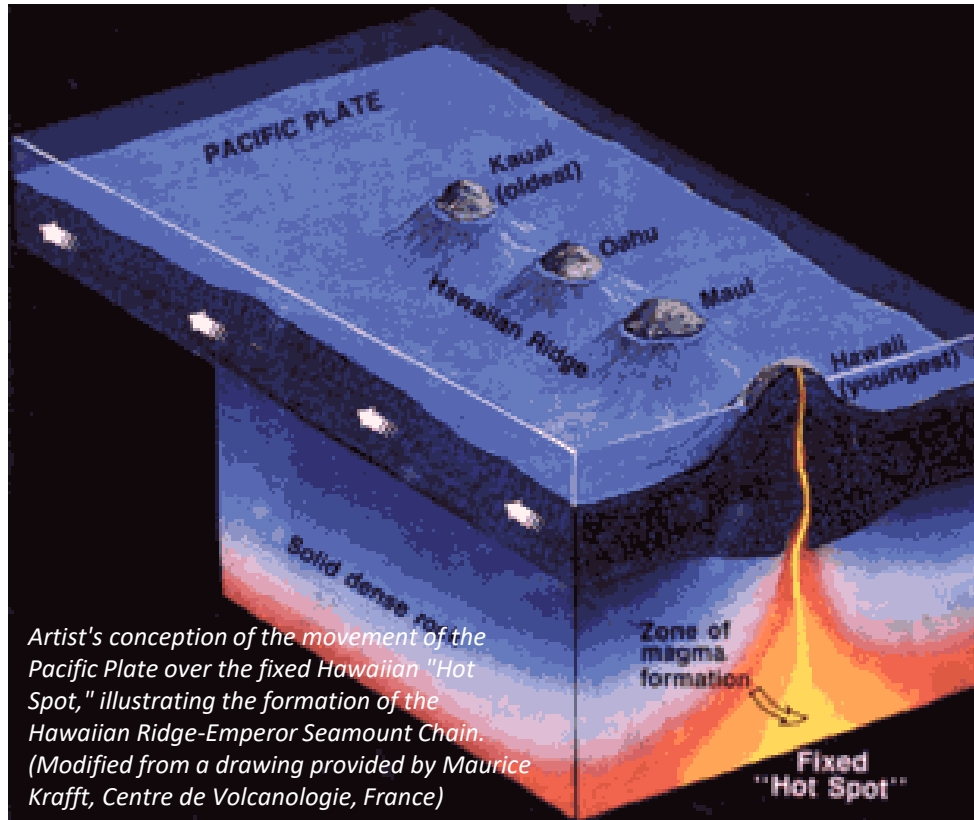
# Tettonica delle placche: cosa dice?

I vulcani si formano nelle **zone in subduzione** (vulcani subaerei), in corrispondenza delle **dorsali oceaniche** (vulcani sottomarini) e come **hotspots**



# Tettonica delle placche: cosa dice?

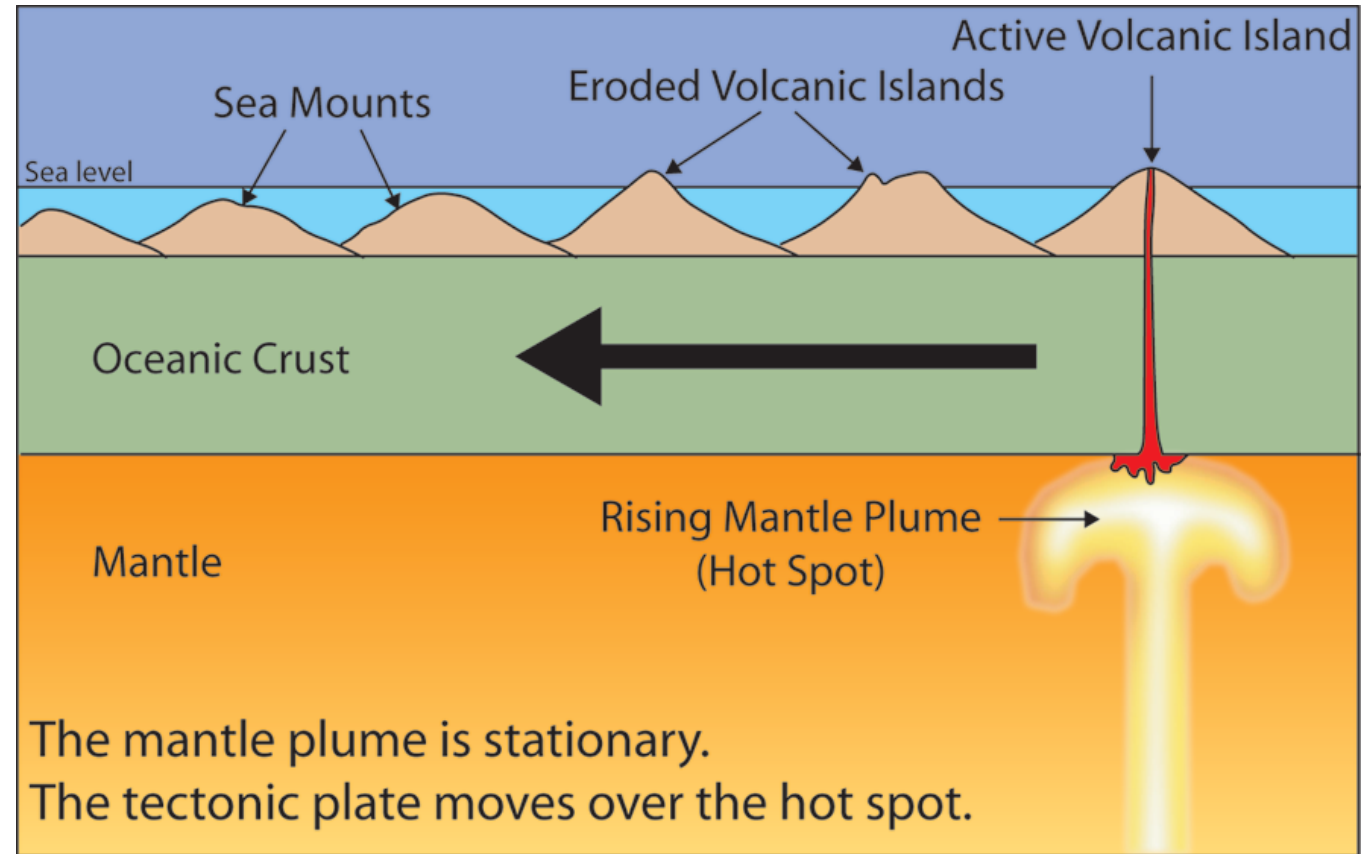
Secondo una teoria degli anni '60, gli **hotspots** sono pennacchi di mantello caldo che rompono la superficie nel mezzo di una placca tettonica



# Tettonica delle placche: cosa dice?

Il **plume**, proveniente da una zona vicina all'interfaccia mantello/nucleo, è **stazionario** e la **composizione chimica** della lava è differente sia da quella dei vulcani in aree di subduzione che da quella delle creste medio-oceaniche

La **placca** tettonica **si muove** al di sopra di un hotspot fisso (risalita di magma dal mantello) e forma catene di vulcani



Vulcani più antichi sono più lontani dal plume

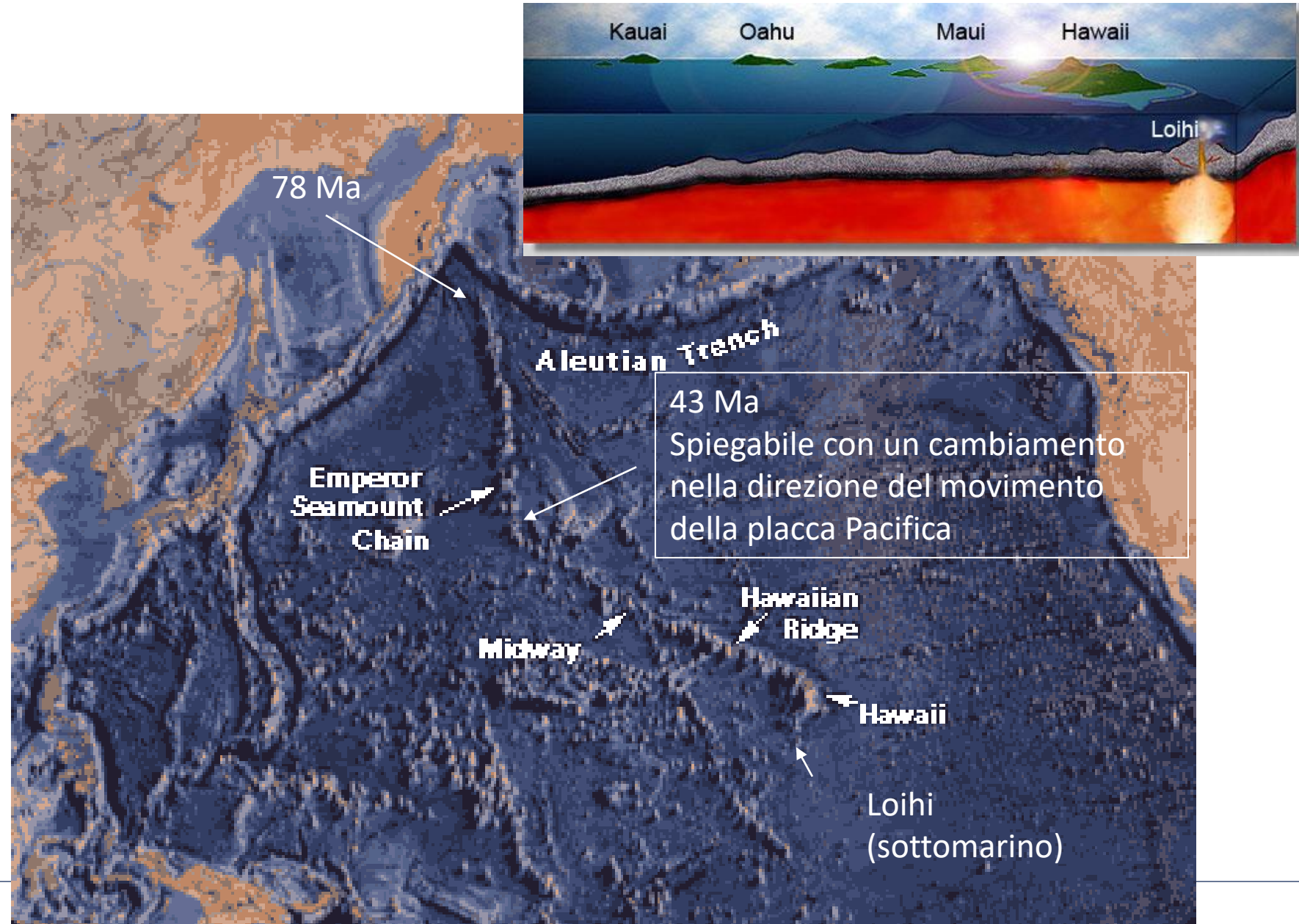


# Tettonica delle placche: cosa dice?

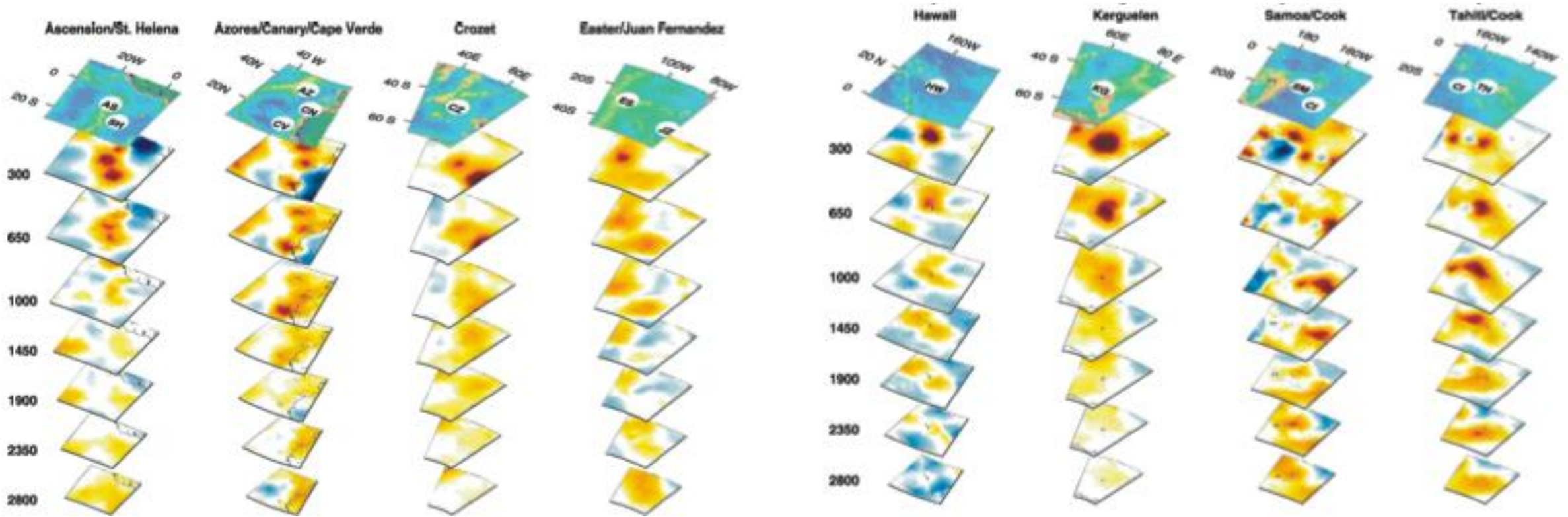
La catena di isole hawaiane (The Emperor–Hawaiian seamount chain) è un esempio di vulcani hotspot: Loihi: il vulcano più giovane e attivo della catena

Altri esempi:

- Yellowstone
- Galapagos Islands (pacific off South America)
- Iceland
- Azores Atlantic (at junction between NA, Europe and African plate)



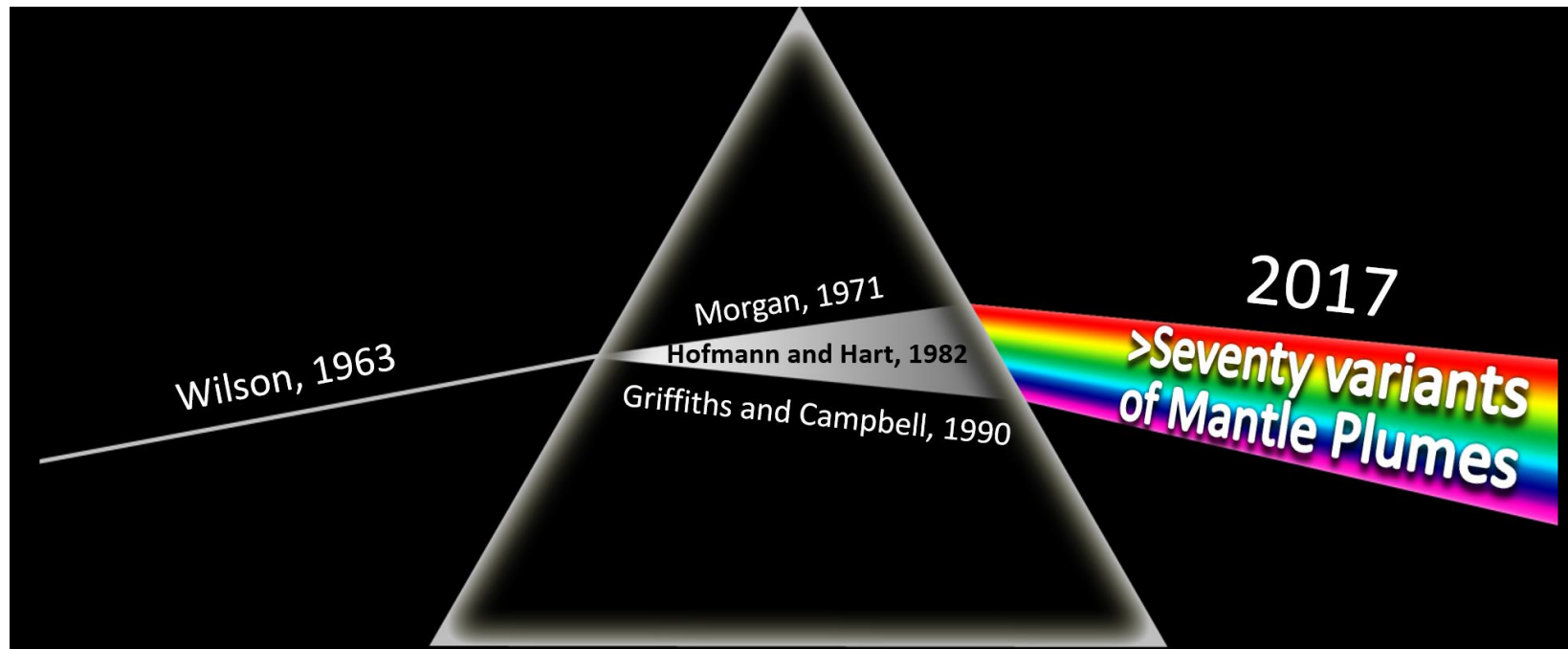
# Tettonica delle placche: cosa dice?



Tomografie sismiche che (secondo alcuni) indicano che alcuni plume del mantello si originano in profondità, in corrispondenza della discontinuità D''

# Tettonica delle placche: cosa dice?

Studi recenti sostengono che gli hotspot non siano né fenomeni di origine profonda né causati da sorgenti stazionarie di magma





# Tettonica delle placche: cosa dice?

Studi recenti sostengono che gli hotspot non siano né fenomeni di origine profonda né causati da sorgenti stazionarie di magma perché il mantello superiore potrebbe spiegare l'origine dei basalti dei vulcani intraplacca

## A POSSIBLE ORIGIN OF THE HAWAIIAN ISLANDS

*shallow*

J. TUZO WILSON

Wilson (1963)  
Can. J. Phys., 41, 863-870

*Institute of Earth Sciences, University of Toronto, Toronto, Ontario*

Received March 15, 1963

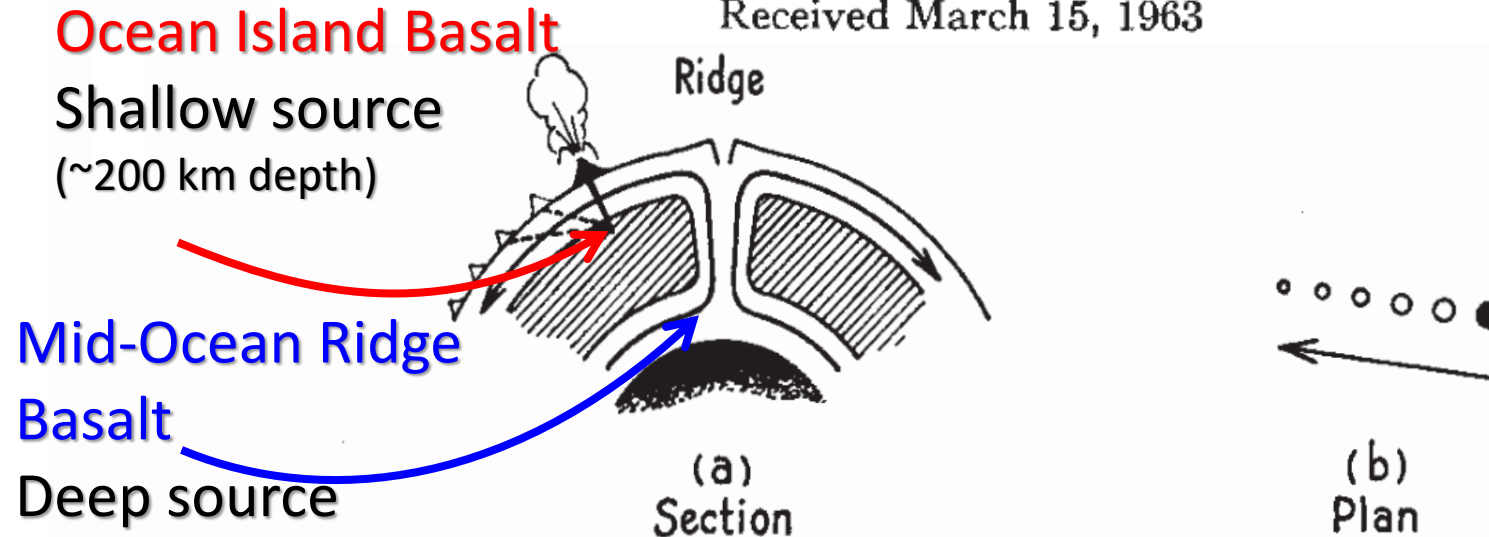


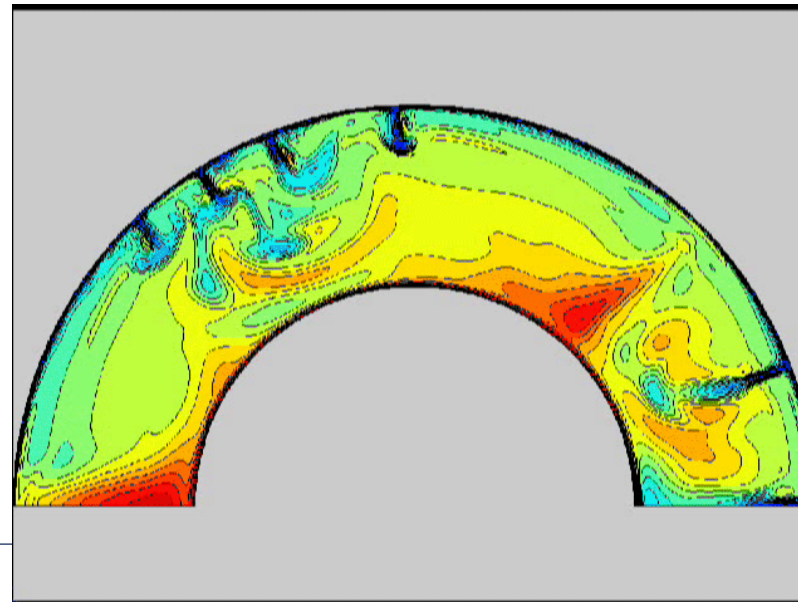
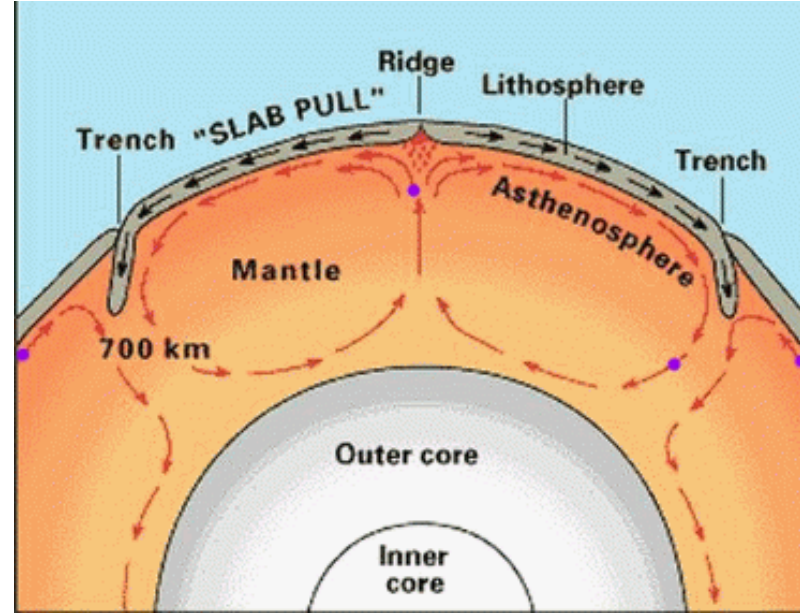
FIG. 5. Diagram to illustrate that if lava is generated in the stable core of a convection cell, and the surface is carried by the jet stream, then one source can give rise to a chain of extinct volcanoes even if the source is not over a rising current. This is proposed as a possible origin of the Hawaiian chain of islands.

[www.mantleplumes.or](http://www.mantleplumes.or)

# Tettonica delle placche: cosa dice?

Tre concetti chiave:

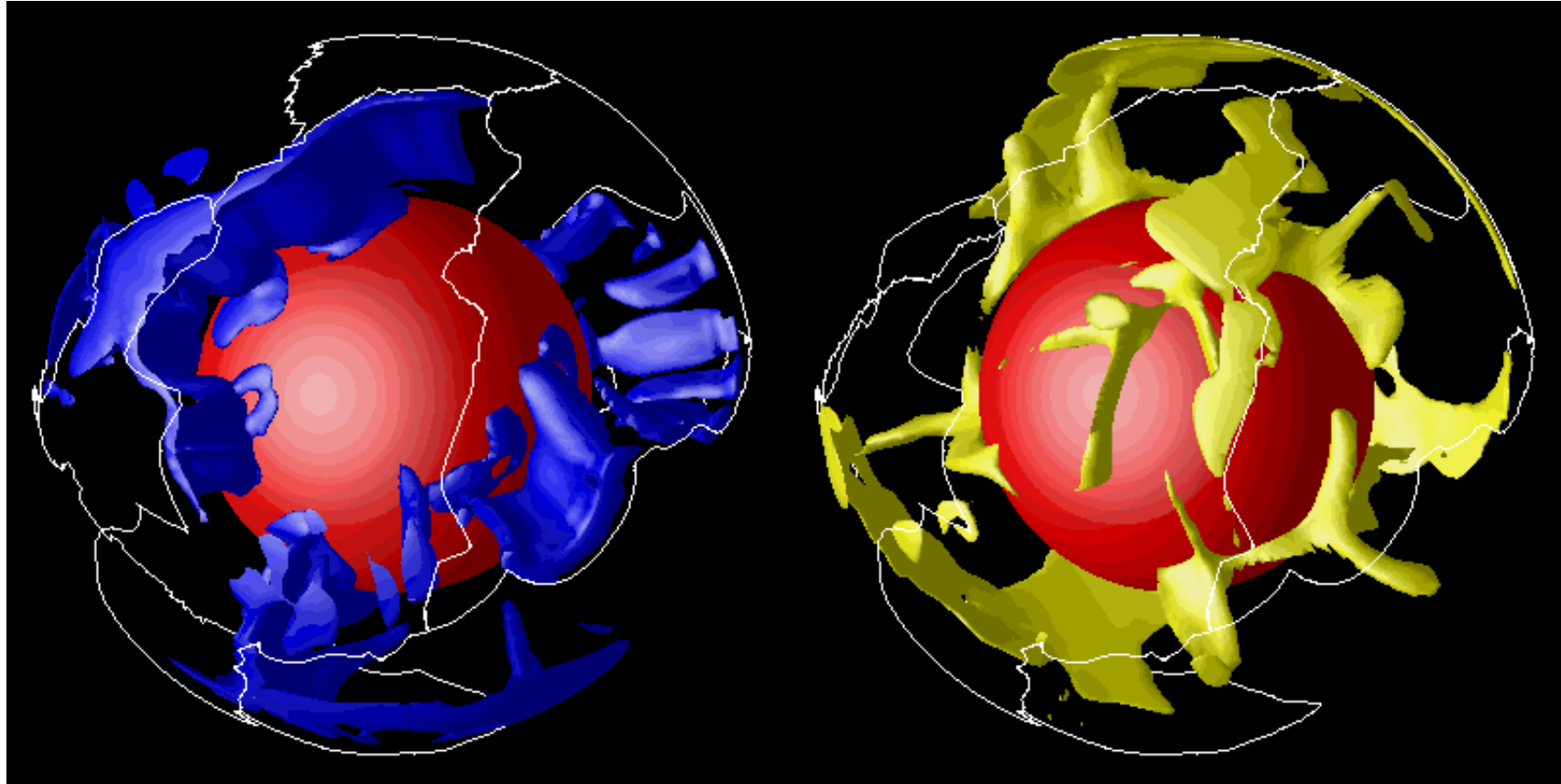
1. Il guscio più esterno della terra (litosfera) è suddiviso in placche dai bordi irregolari che si muovono una rispetto all'altra "galleggiando" su uno strato plastico (astenosfera)
2. Il limite litosfera/astenosfera condiziona i movimenti delle placche
3. La convezione nell'astenosfera rappresenta il meccanismo di trazione



# Tettonica delle placche: cosa dice?

Flusso discendente freddo

Flusso ascendente caldo



Evoluzione della struttura termica all'interno del mantello in un periodo di circa 4 tempi di transito (equivalenti a  $\sim 200$  Ma).

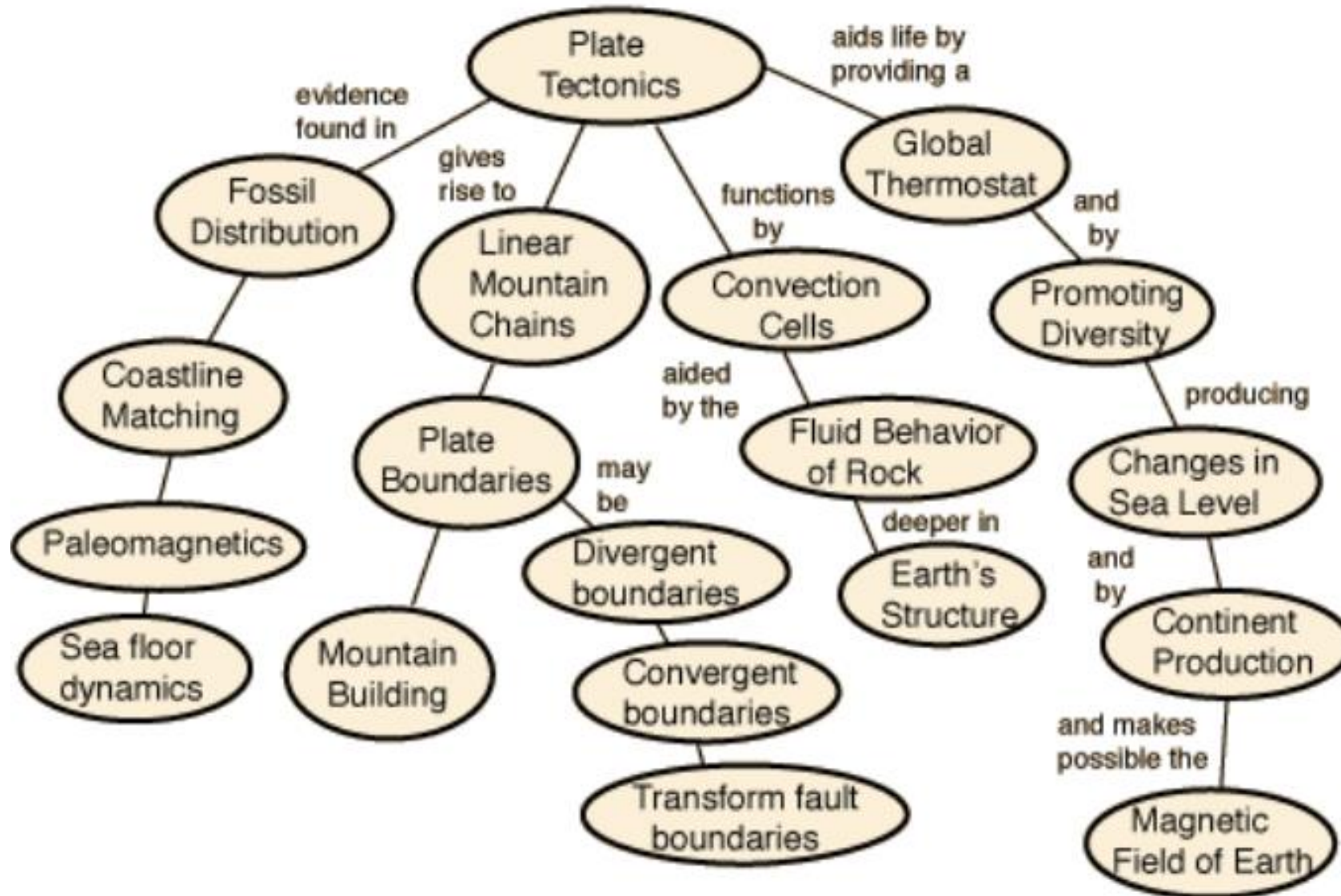


# Domande iniziali

- Quale è la sorgente che muove le placche?



# Tettonica delle placche: cosa dice?



# Tettonica delle placche: cosa dice?

Perché la teoria della tettonica delle placche convinse più delle precedenti teorie?



# Tettonica delle placche: cosa dice?

Perché la teoria della tettonica delle placche convinse più delle precedenti teorie?

Perché permetteva di fare previsioni che potevano essere verificate con le osservazioni.

In particolare:

## Geometria

La terra è composta da strati concentrici  
con differente rigidità e reologia

↳ Se il mantello fosse stato uno strato unico, il moto in superficie sarebbe stato irregolare e simile a quello dell'acqua in un bollitore scaldato dal basso, invece è più simile a quello di una lastra di ghiaccio in uno stagno/lago

# Tettonica delle placche: cosa dice?

Perché la teoria della tettonica delle placche convinse più delle precedenti teorie?

Perché permetteva di fare previsioni che potevano essere verificate con le osservazioni.

In particolare:

## Geometria

La terra è composta da strati concentrici con differente rigidità e reologia

I limiti tra le placche sono esattamente di 3 tipi

[Published: 24 July 1965](#)

## **A New Class of Faults and their Bearing on Continental Drift**

[J. TUZO WILSON](#)

[Nature](#) 207, 343–347 (1965) | [Cite this article](#)

3648 Accesses | 929 Citations | 14 Altmetric | [Metrics](#)

# Tettonica delle placche: cosa dice?

Perché la teoria della tettonica delle placche convinse più delle precedenti teorie?

Perché permetteva di fare previsioni che potevano essere verificate con le osservazioni.

In particolare:

## Geometria

La terra è composta da strati concentrici con differente rigidità e reologia

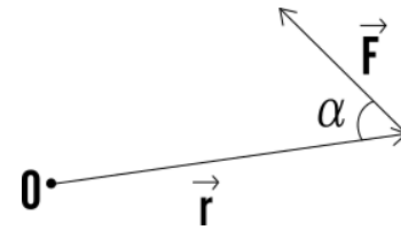
I limiti tra le placche sono esattamente di 3 tipi

Esiste un'analogia tra le linee in un piano e gli archi su una sfera

In un piano un oggetto spinto da una forza costante si muove lungo una retta, su una sfera un oggetto mosso da un momento costante\* si muove lungo una circonferenza



\*Momento di una forza: il prodotto vettoriale tra il braccio della forza e la forza stessa



Le placche si muovono per effetto di un momento quasi costante da decine di milioni di anni -> si muovono lungo circonferenze la cui posizione può essere dedotta da misure geologiche e geofisiche



# Tettonica delle placche: cosa dice?

Perché la teoria della tettonica delle placche convinse più delle precedenti teorie?

Perché permetteva di fare previsioni che potevano essere verificate con le osservazioni.

In particolare:

## Geometria

La terra è composta da strati concentrici con differente rigidità e reologia

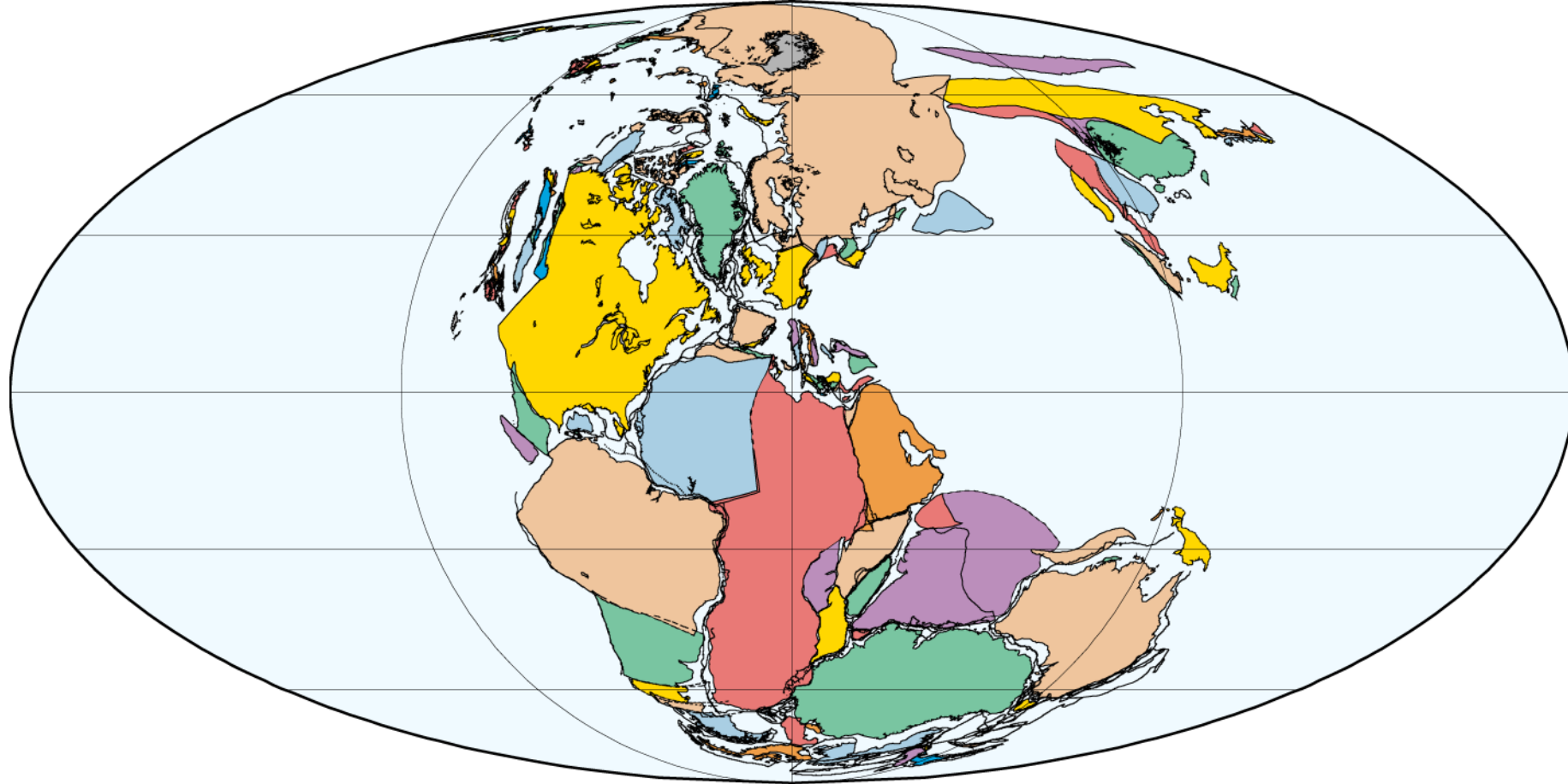
I limiti tra le placche sono esattamente di 3 tipi

Esiste un'analogia tra le linee in un piano e gli archi su una sfera

## Tempo

La datazione delle rocce (fossili-> radiodatazione-> paleomagnetismo) da ragione all'espansione dei fondali

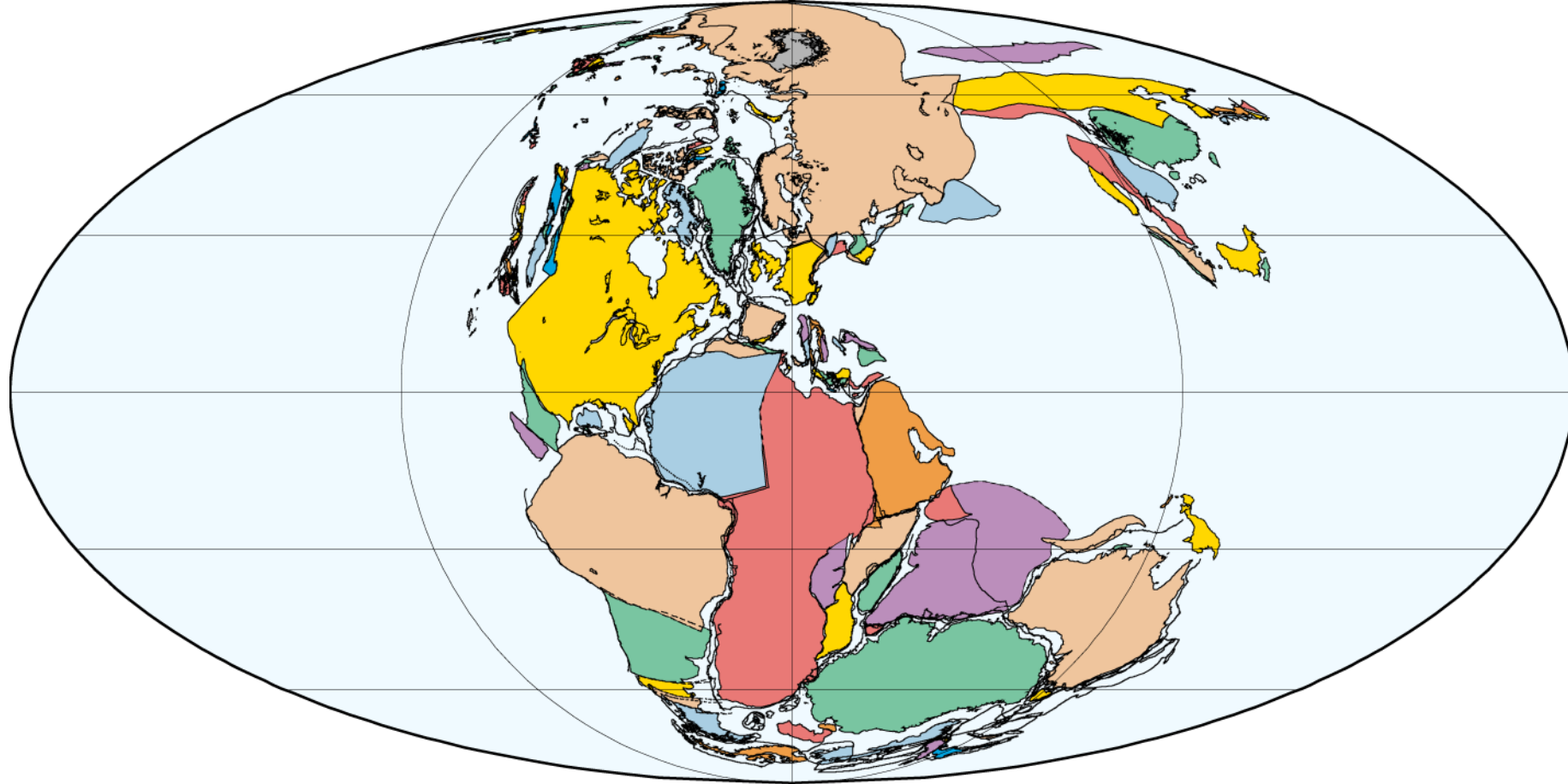
# Tettonica delle placche: cosa dice?



200 Ma  
Sinemurian (Early Jurassic)

PLATES/UTIG  
August 2002

# Tettonica delle placche: cosa dice?

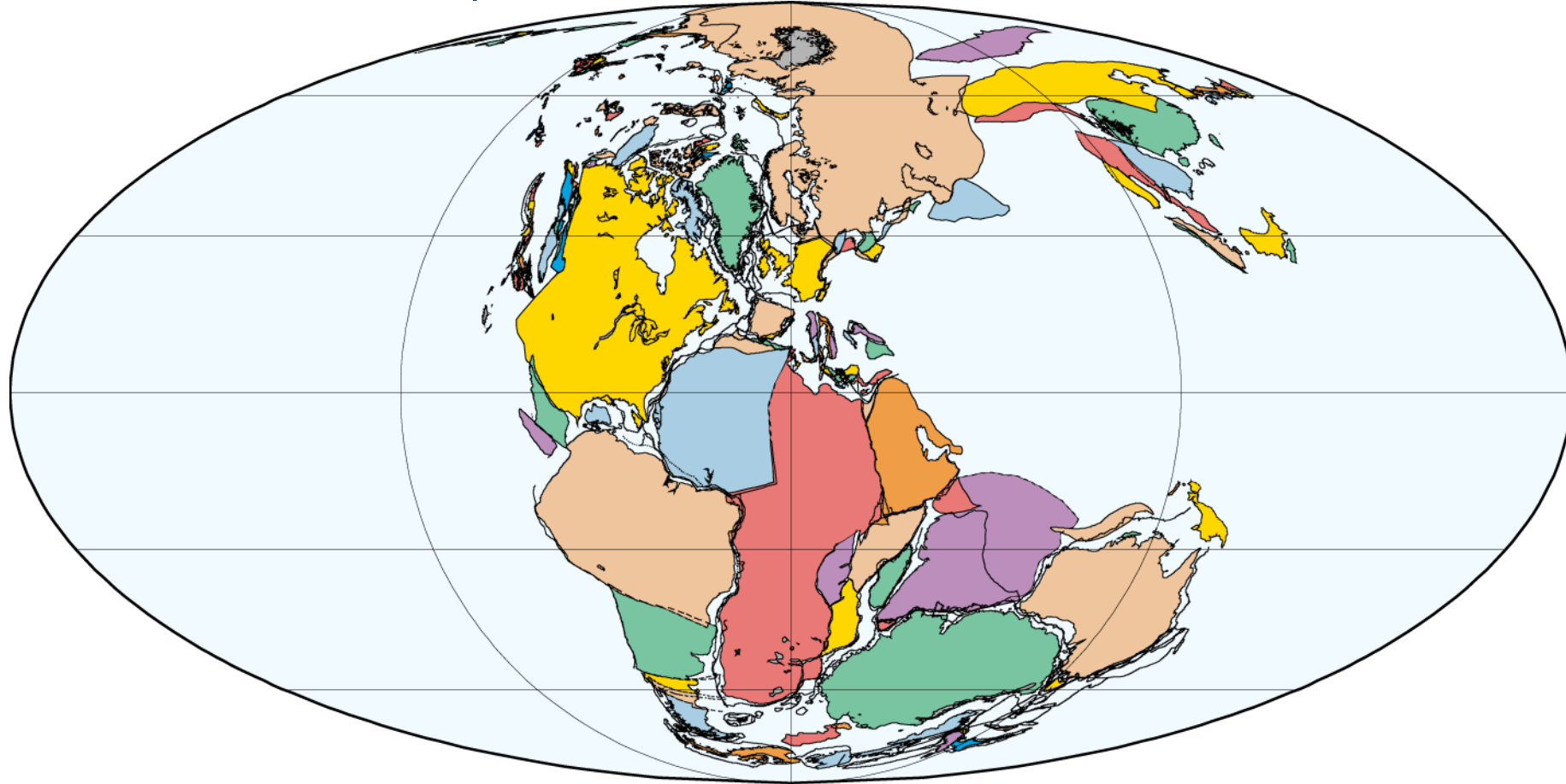


190 Ma  
Pliensbachian (Early Jurassic)

PLATES/UTIG  
August 2002



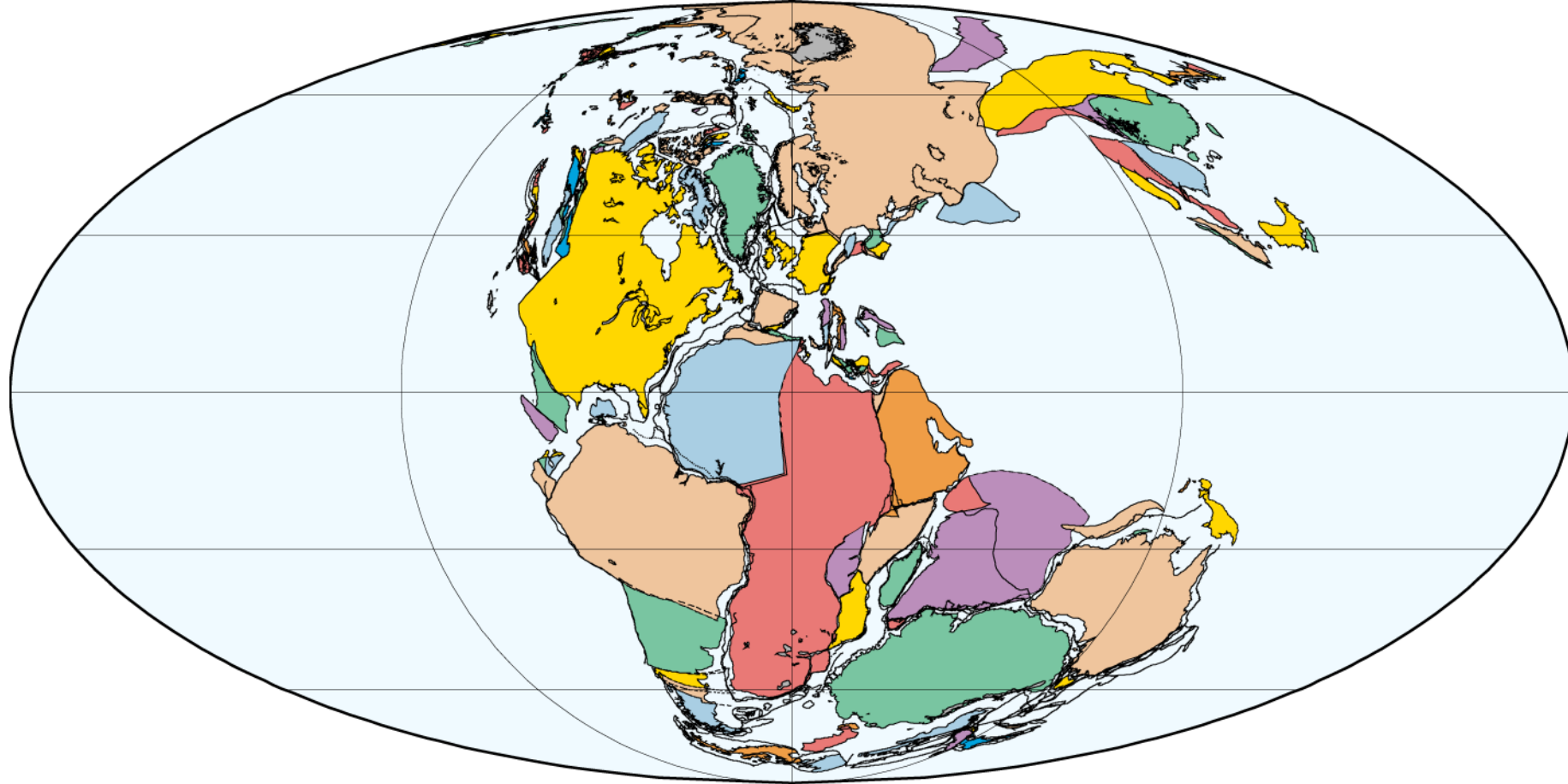
# Tettonica delle placche: cosa dice?



180 Ma  
Aalenian (Middle Jurassic)

PLATESUTIG  
August 2002

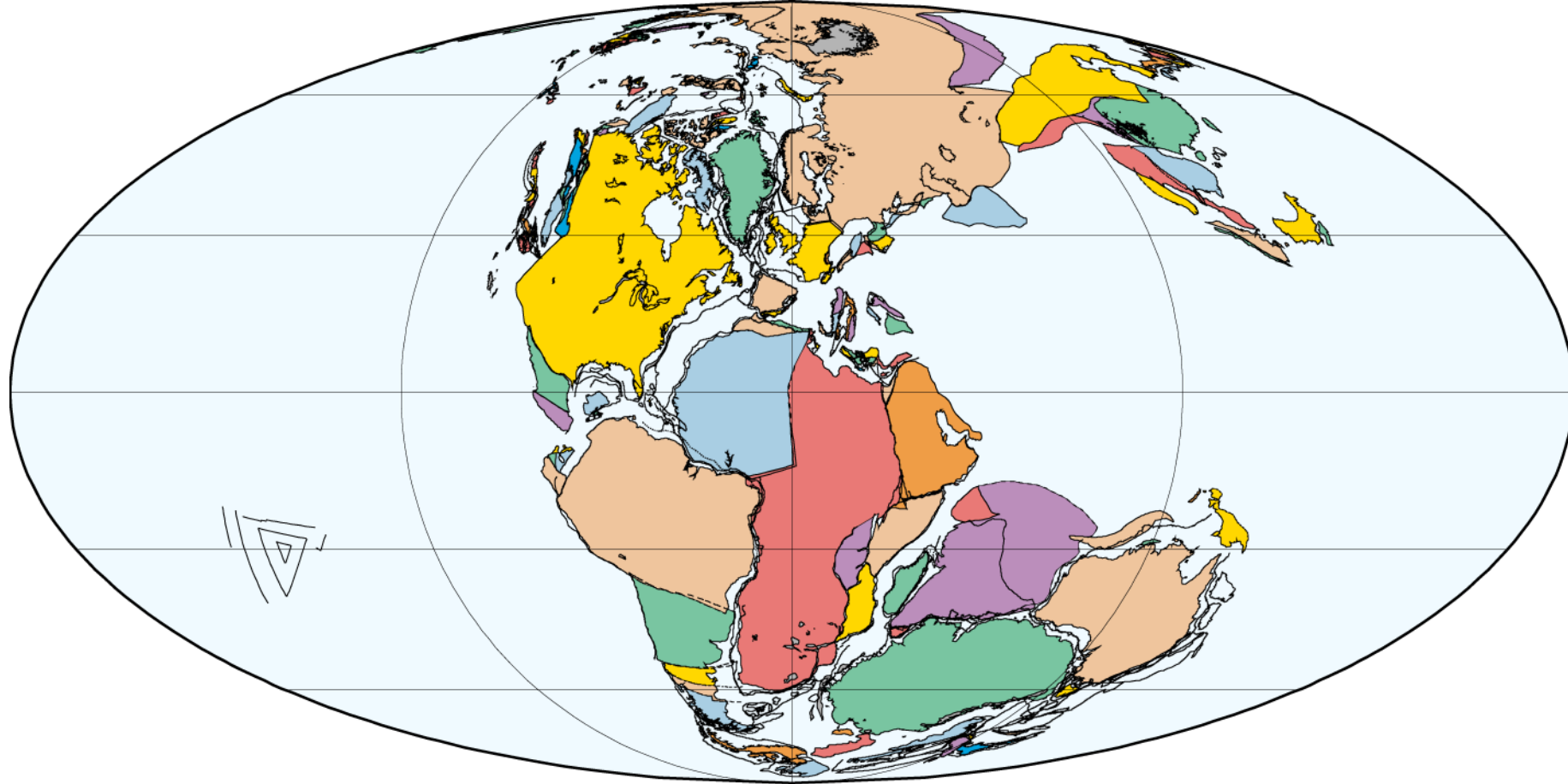
# Tettonica delle placche: cosa dice?



170 Ma  
Bajocian (Middle Jurassic)

PLATES/UTIG  
August 2002

# Tettonica delle placche: cosa dice?

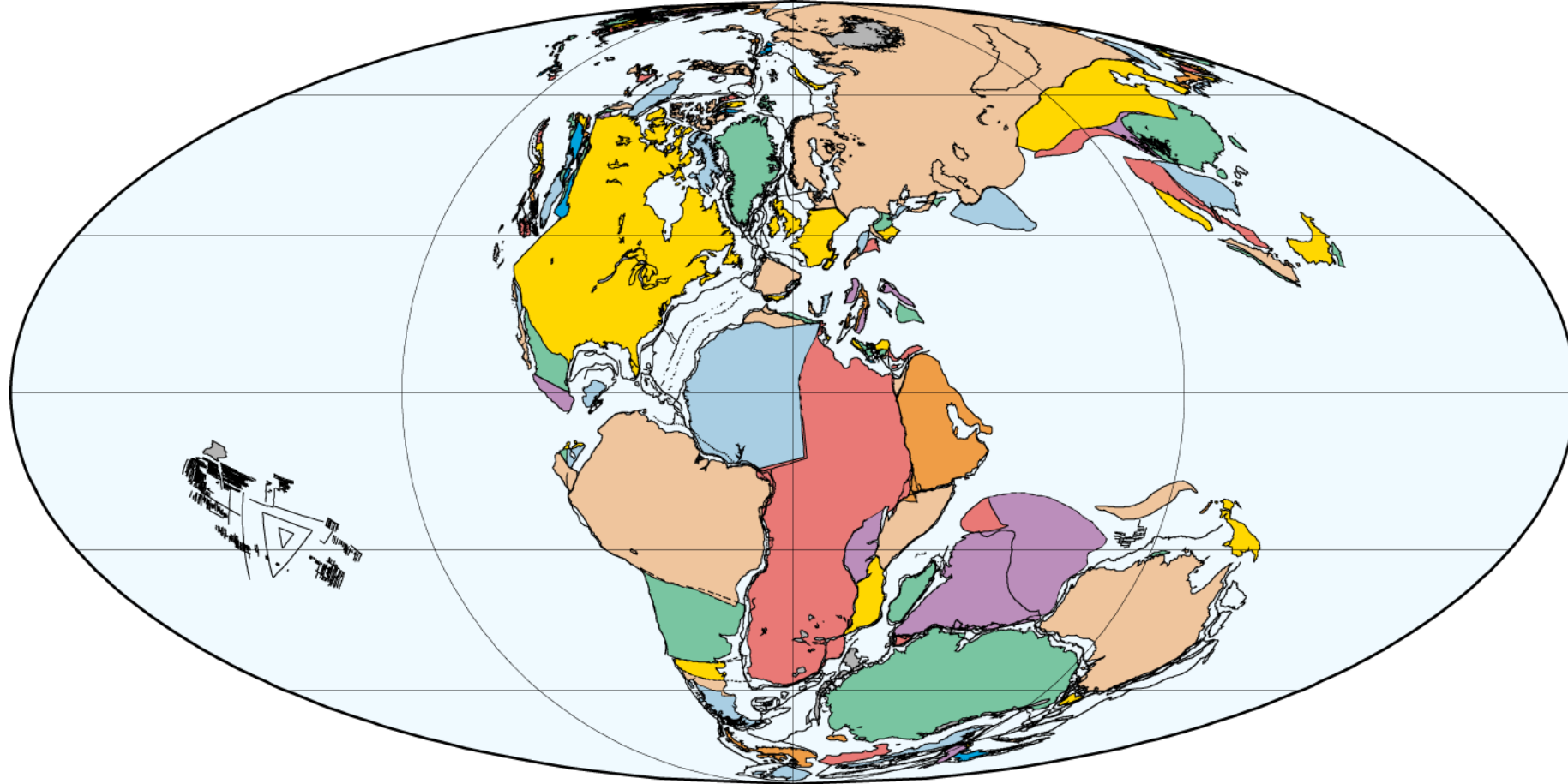


160 Ma  
Callovian (Middle Jurassic)

PLATESUTIG  
August 2002



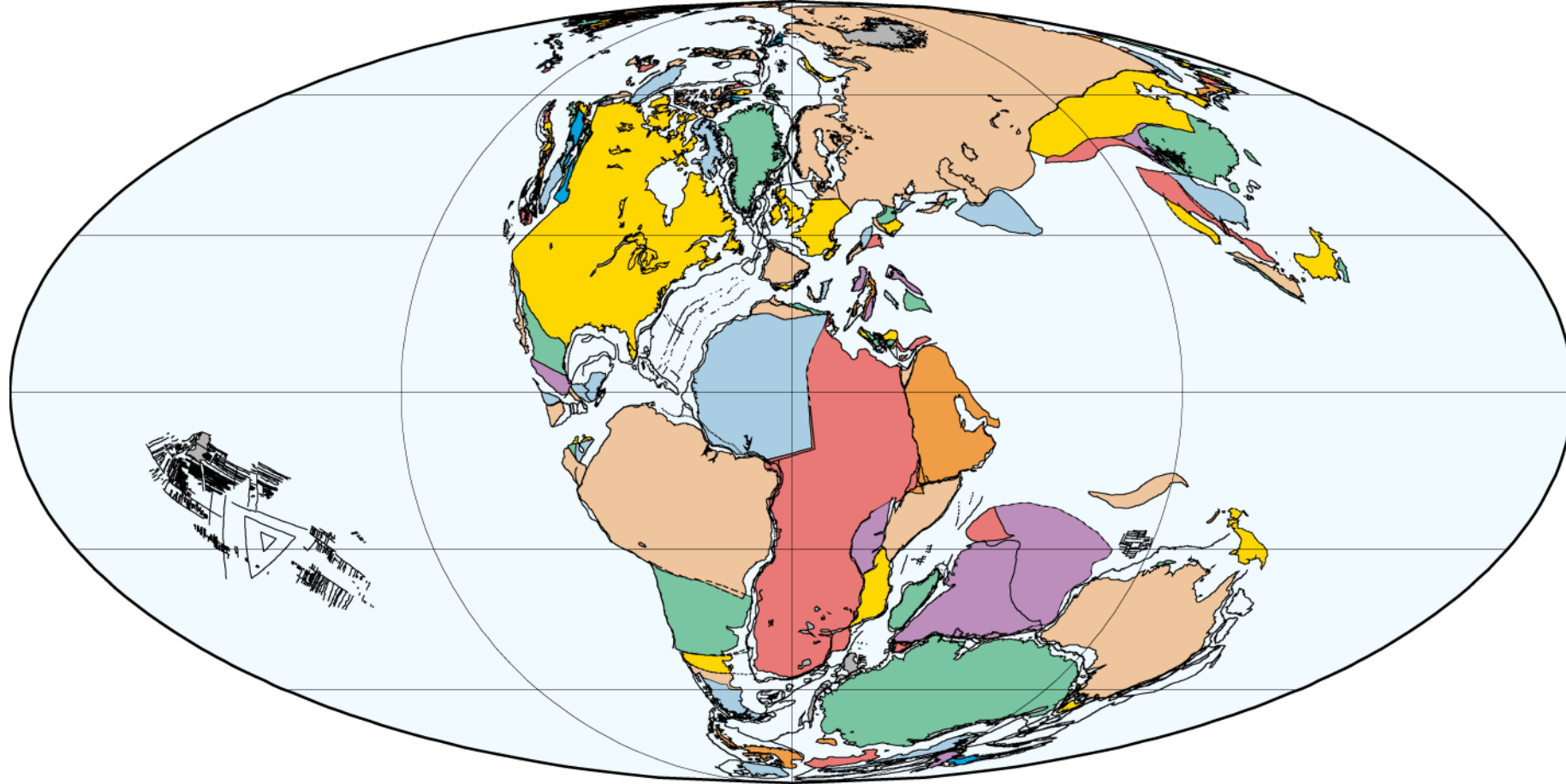
# Tettonica delle placche: cosa dice?



150 Ma  
Volgian (Late Jurassic)

PLATES/UTIG  
August 2002

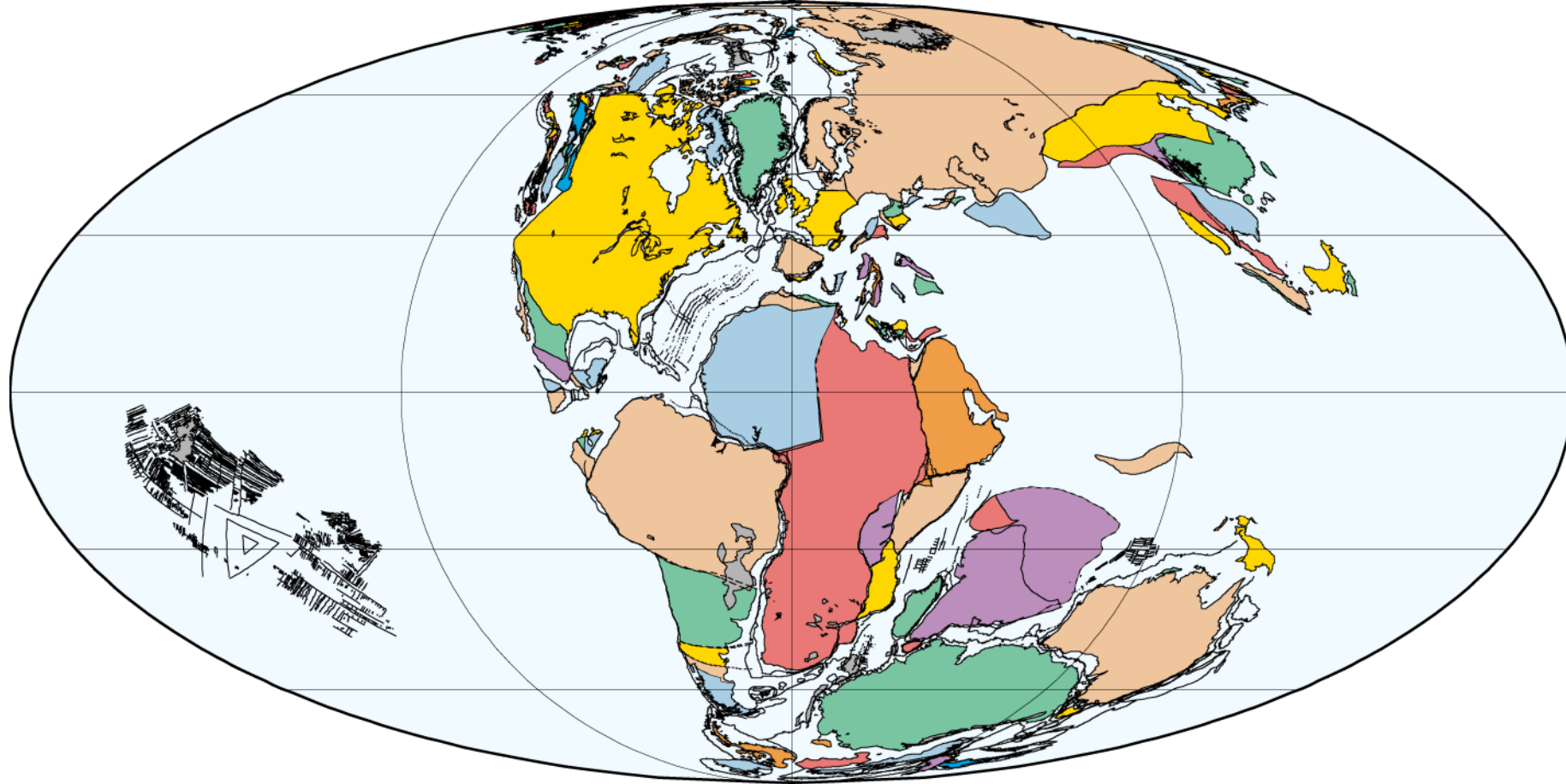
# Tettonica delle placche: cosa dice?



140 Ma  
Ryazanian (Early Cretaceous)

PLATESUTIG  
August 2002

# Tettonica delle placche: cosa dice?

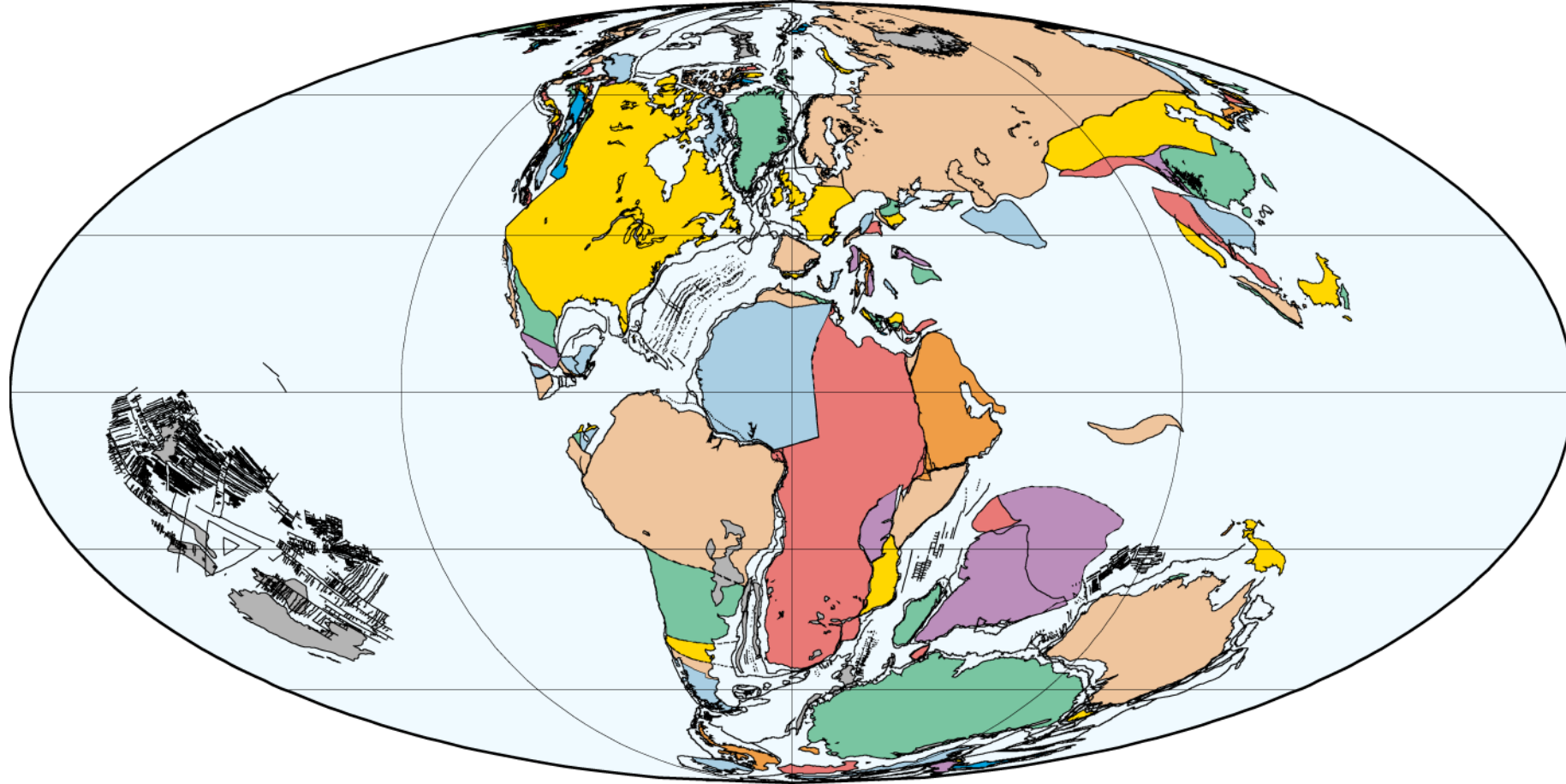


130 Ma  
Hauterivian (Early Cretaceous)

PLATES/UTIG  
August 2002



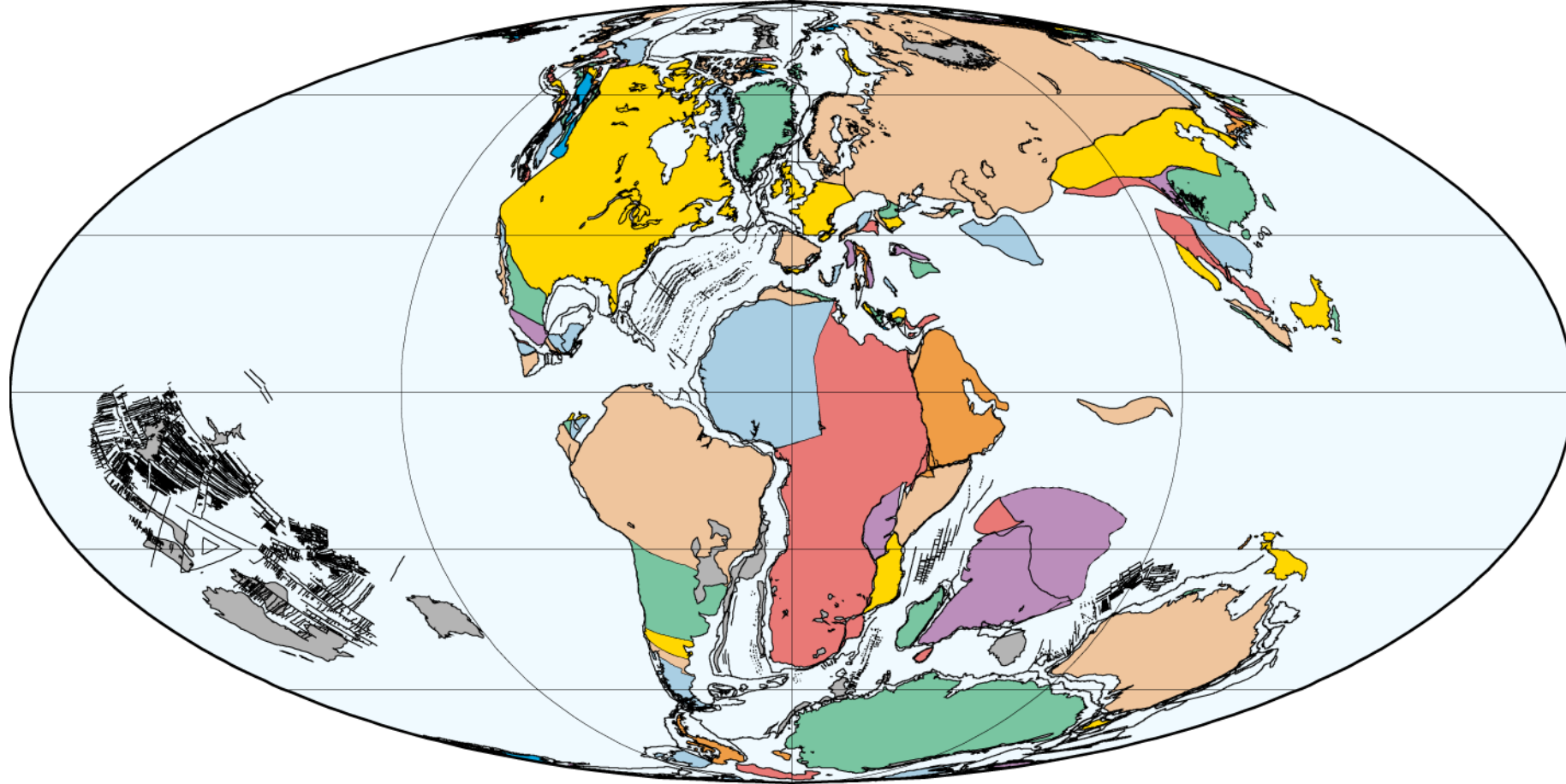
# Tettonica delle placche: cosa dice?



120 Ma  
Aptian (Early Cretaceous)

PLATES/UTIG  
August 2002

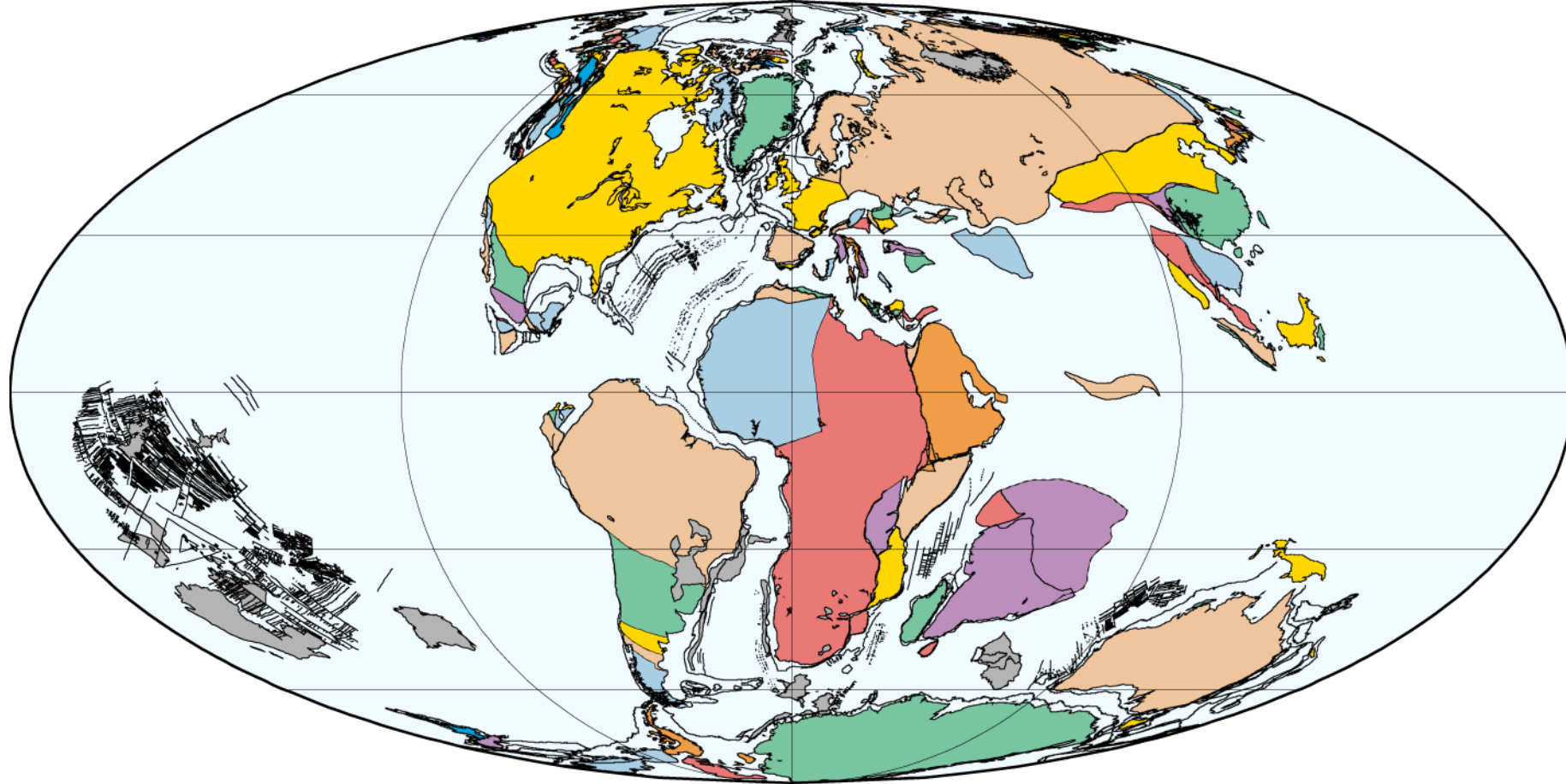
# Tettonica delle placche: cosa dice?



110 Ma  
Early Albian (Early Cretaceous)

PLATES/UTIG  
August 2002

# Tettonica delle placche: cosa dice?

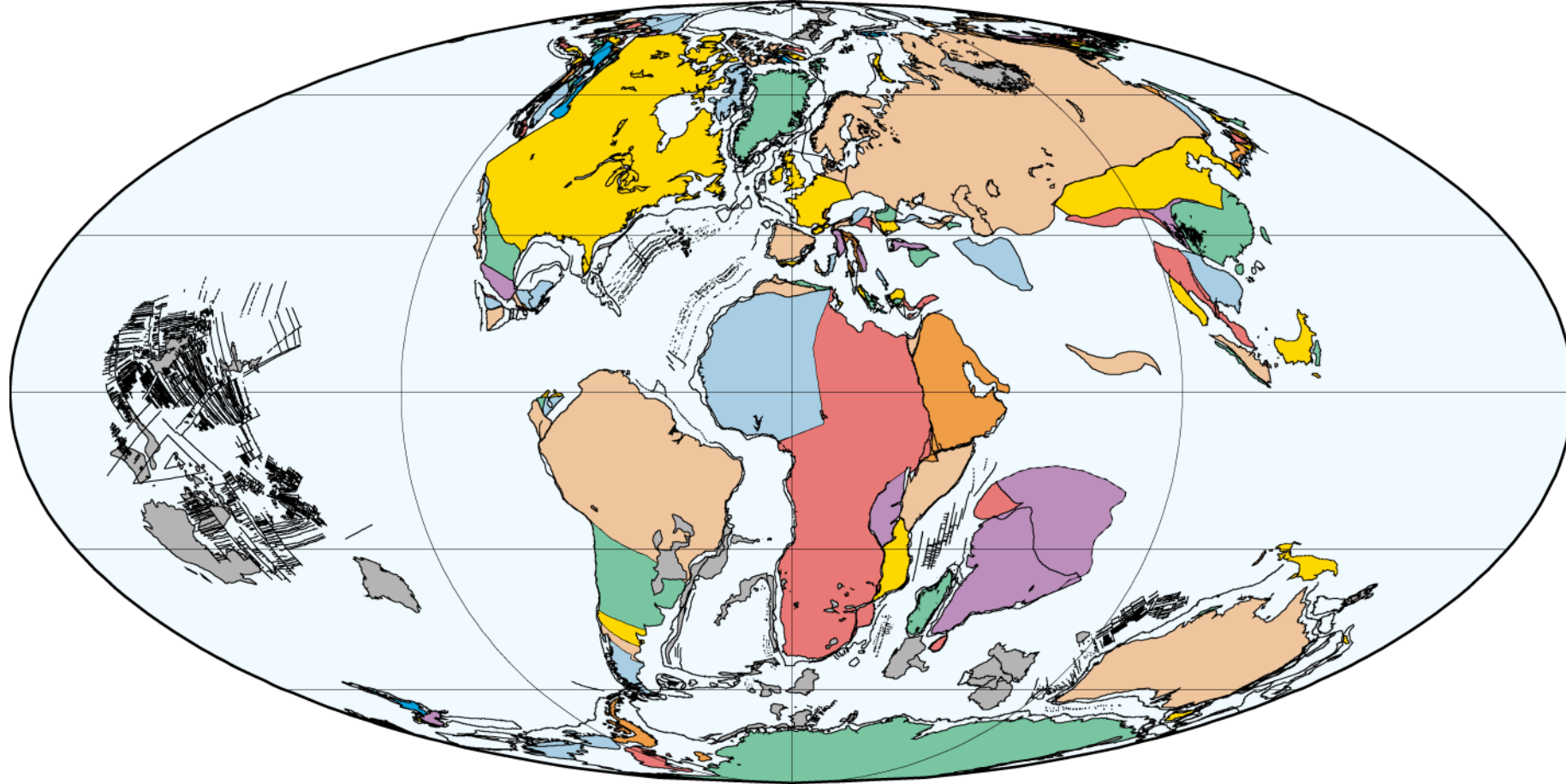


100 Ma  
Late Albian (Early Cretaceous)

PLATES/UTIG  
August 2002



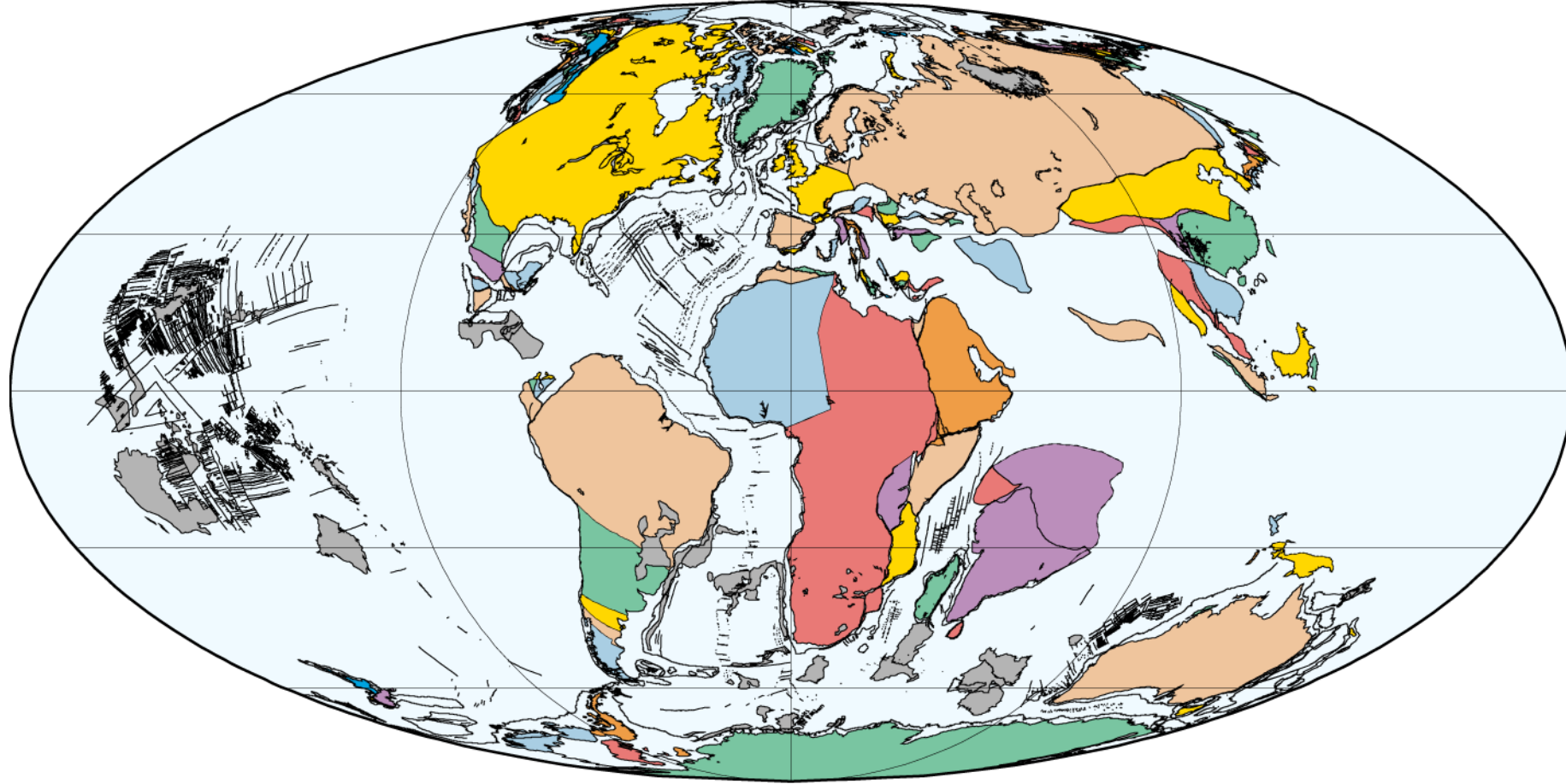
# Tettonica delle placche: cosa dice?



90 Ma  
Turonian (Late Cretaceous)

PLATES/UTIG  
August 2002

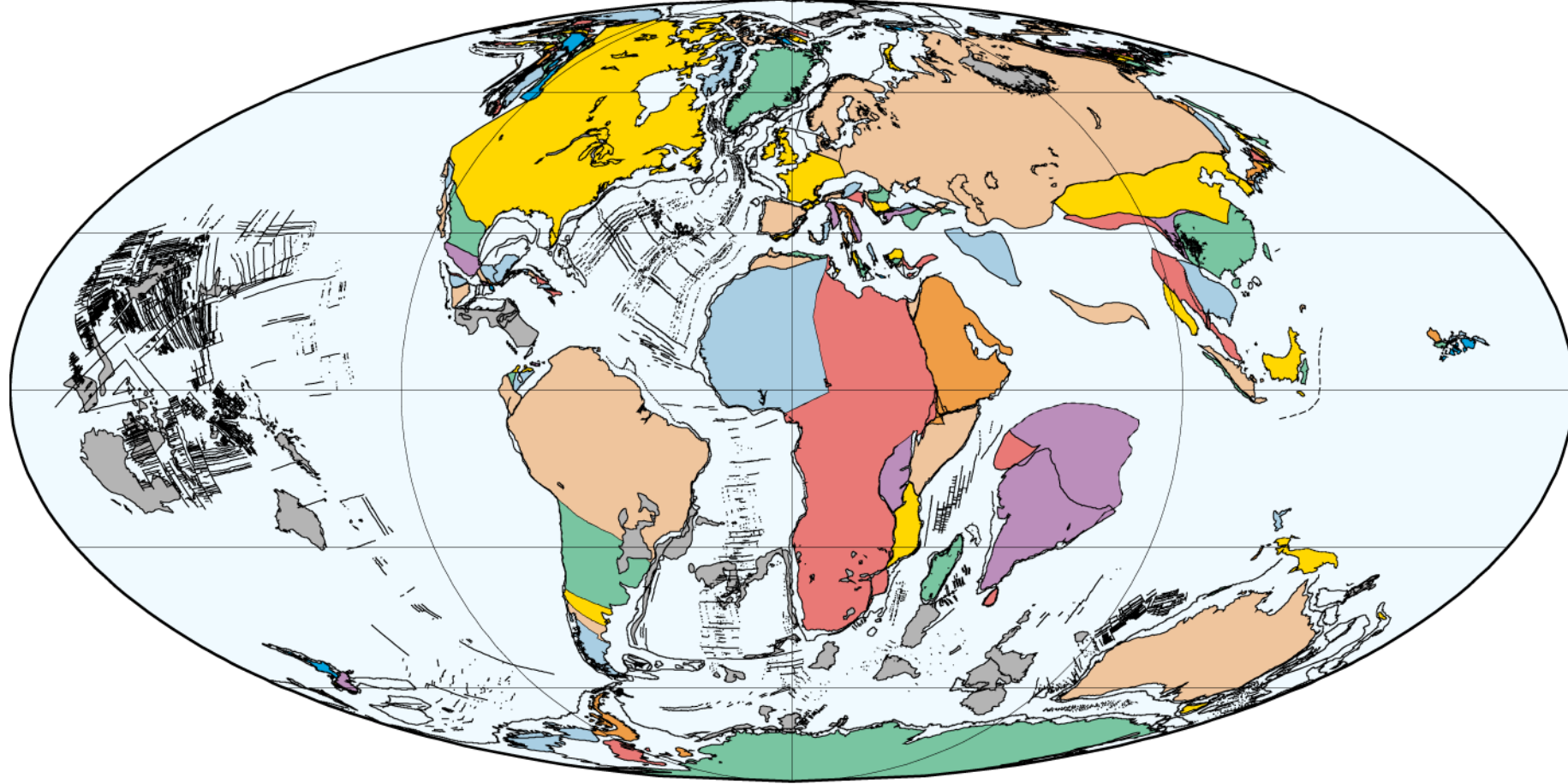
# Tettonica delle placche: cosa dice?



80 Ma  
Campanian (Late Cretaceous)

PLATES/UTIG  
August 2002

# Tettonica delle placche: cosa dice?

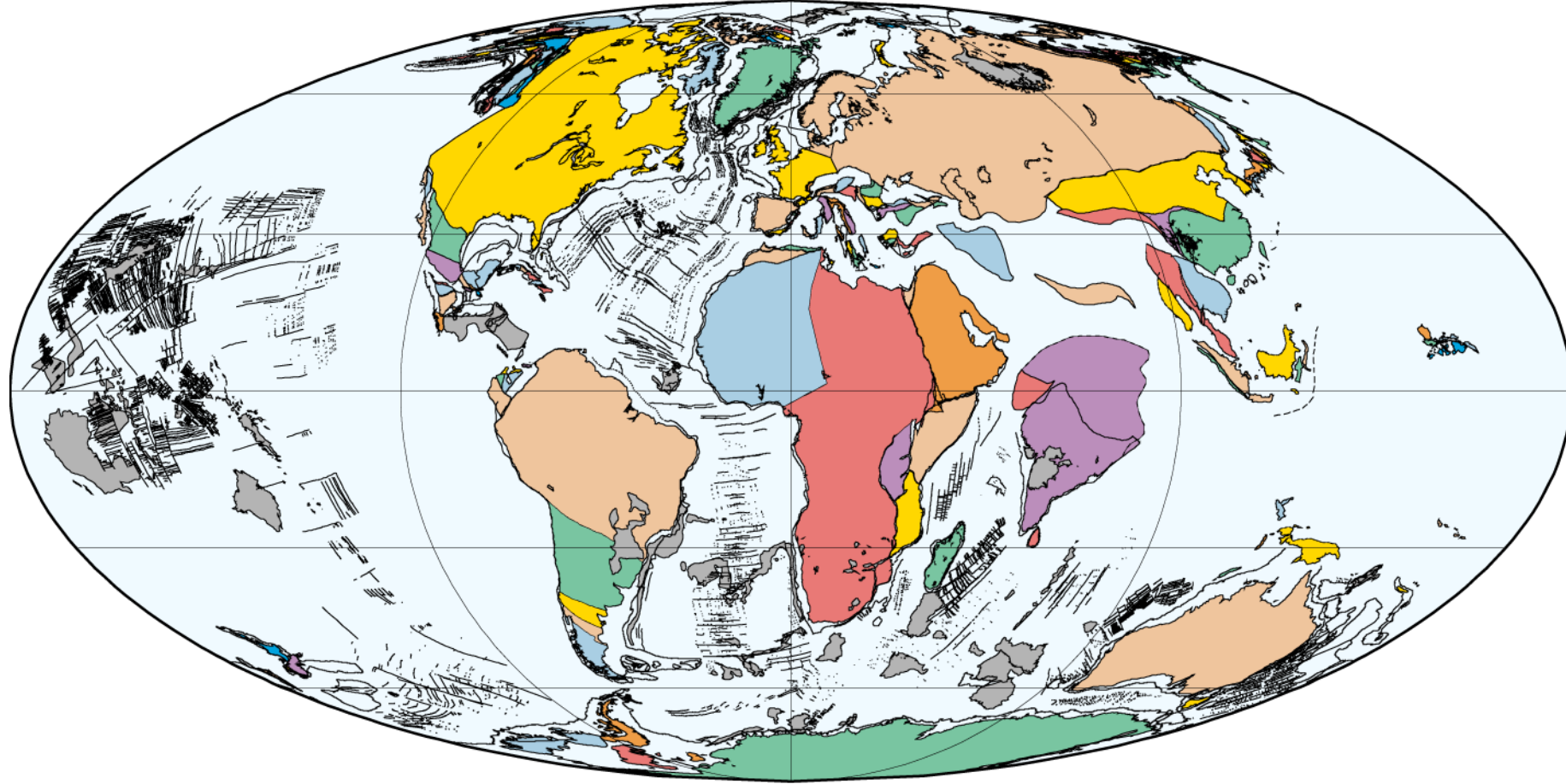


70 Ma  
Maastrichtian (Late Cretaceous)

PLATES/UTIG  
August 2002



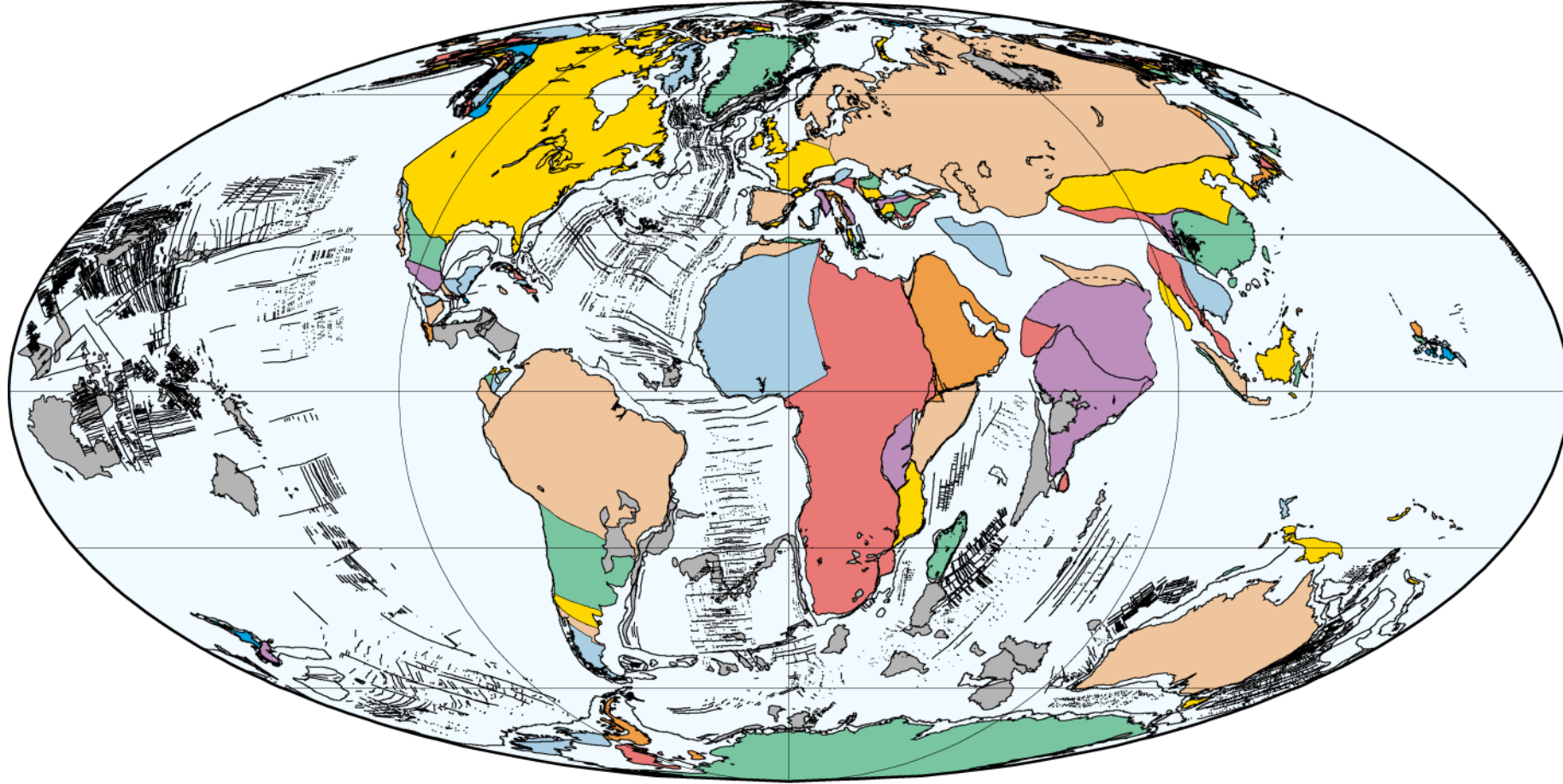
# Tettonica delle placche: cosa dice?



60 Ma  
Late Paleocene

PLATES/UTIG  
August 2002

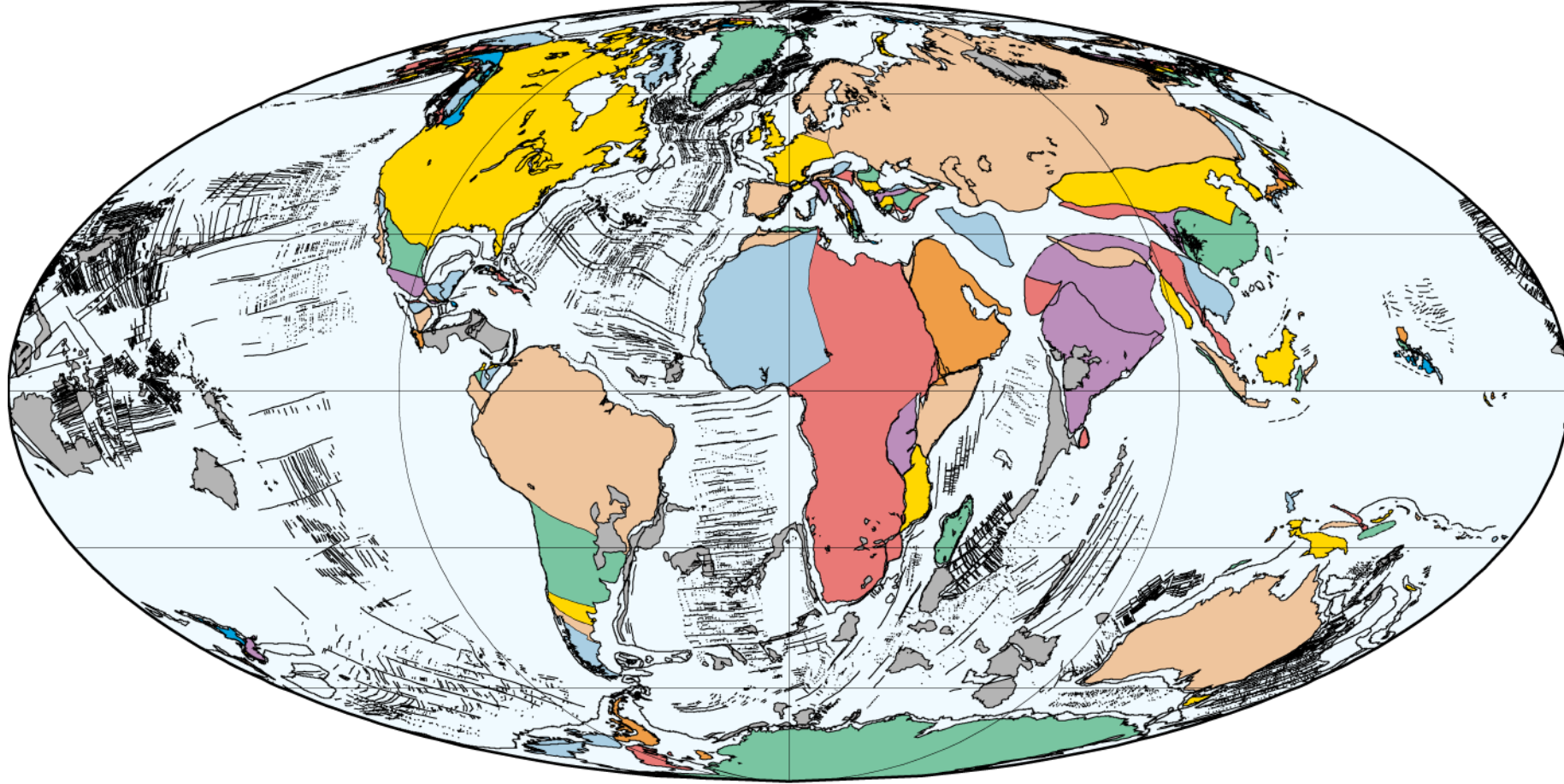
# Tettonica delle placche: cosa dice?



50 Ma  
Early Eocene

PLATES/UTIG  
August 2002

# Tettonica delle placche: cosa dice?

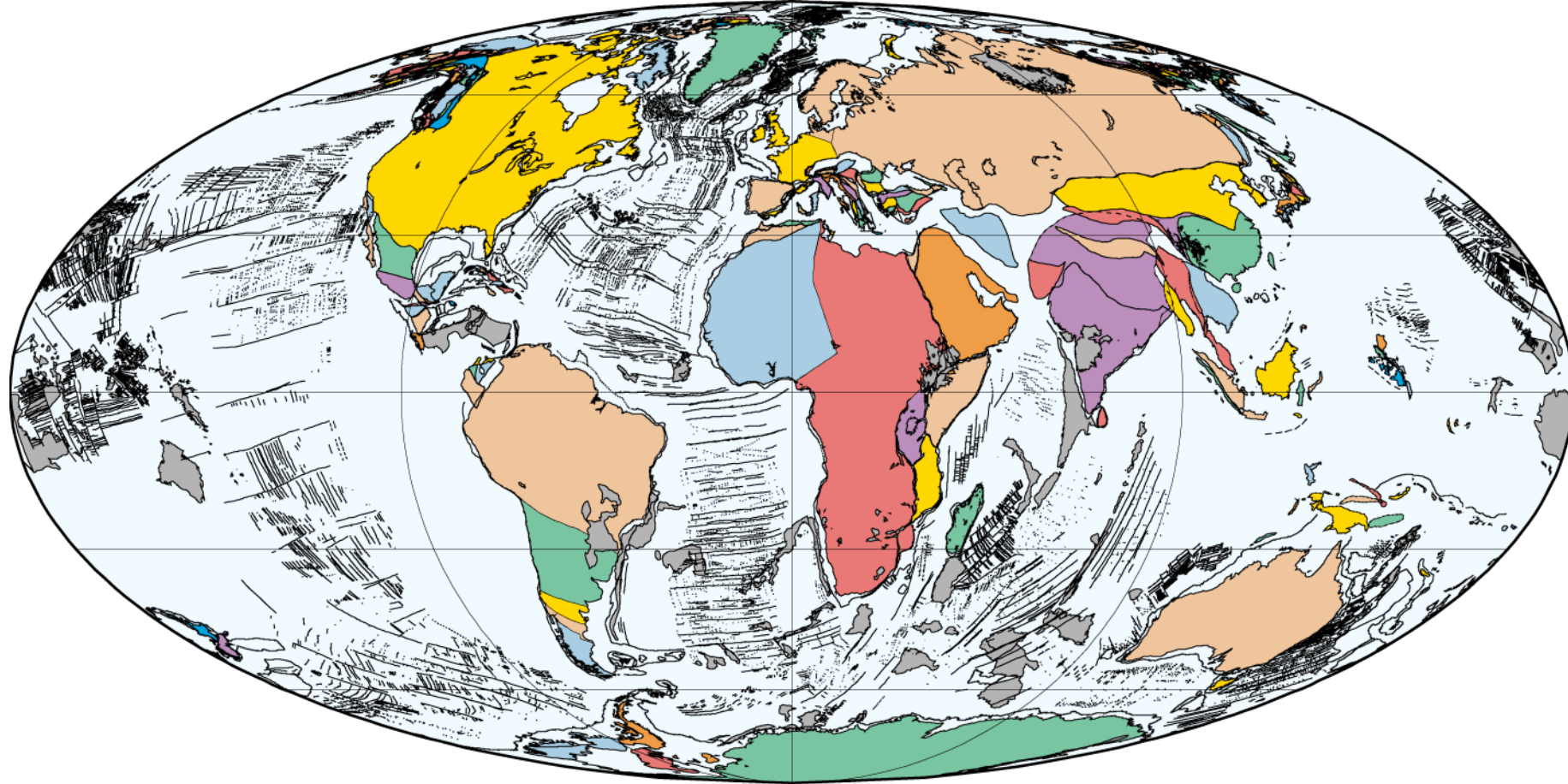


40 Ma  
Middle Eocene

PLATESUTIG  
August 2002



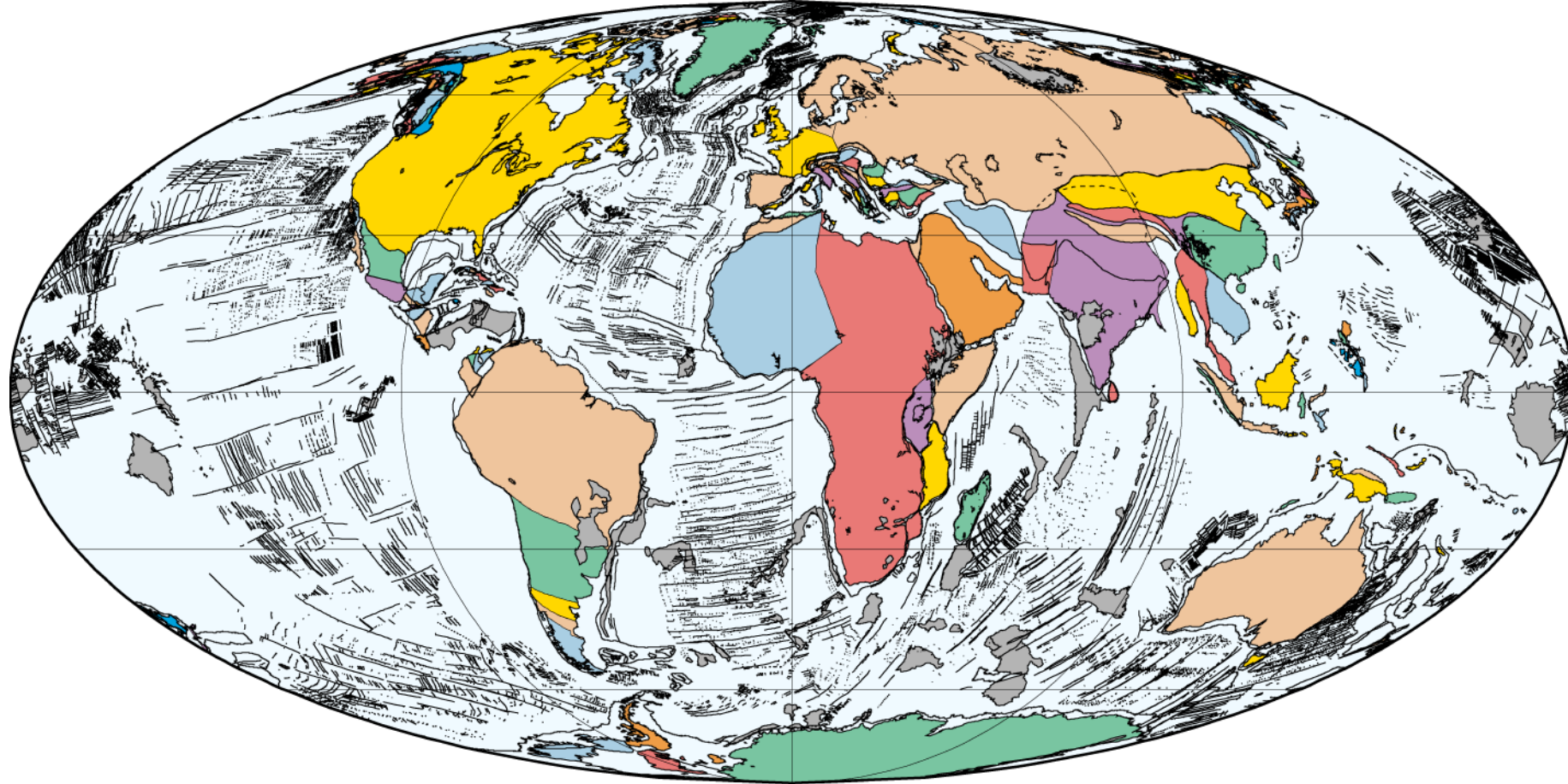
# Tettonica delle placche: cosa dice?



30 Ma  
Early Oligocene

PLATES/UTIG  
August 2002

# Tettonica delle placche: cosa dice?

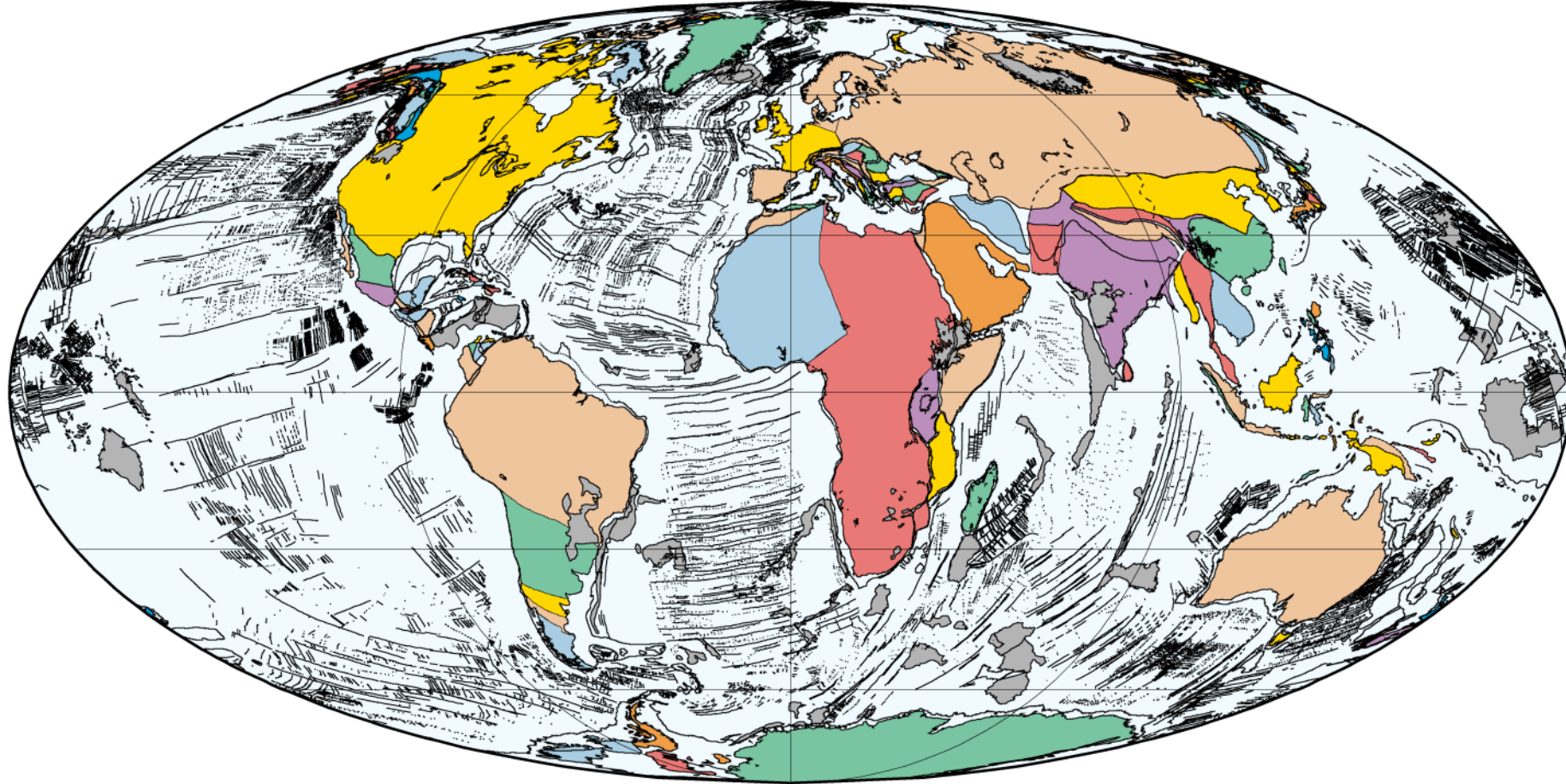


20 Ma  
Early Miocene

PLATESUTIG  
August 2002



# Tettonica delle placche: cosa dice?

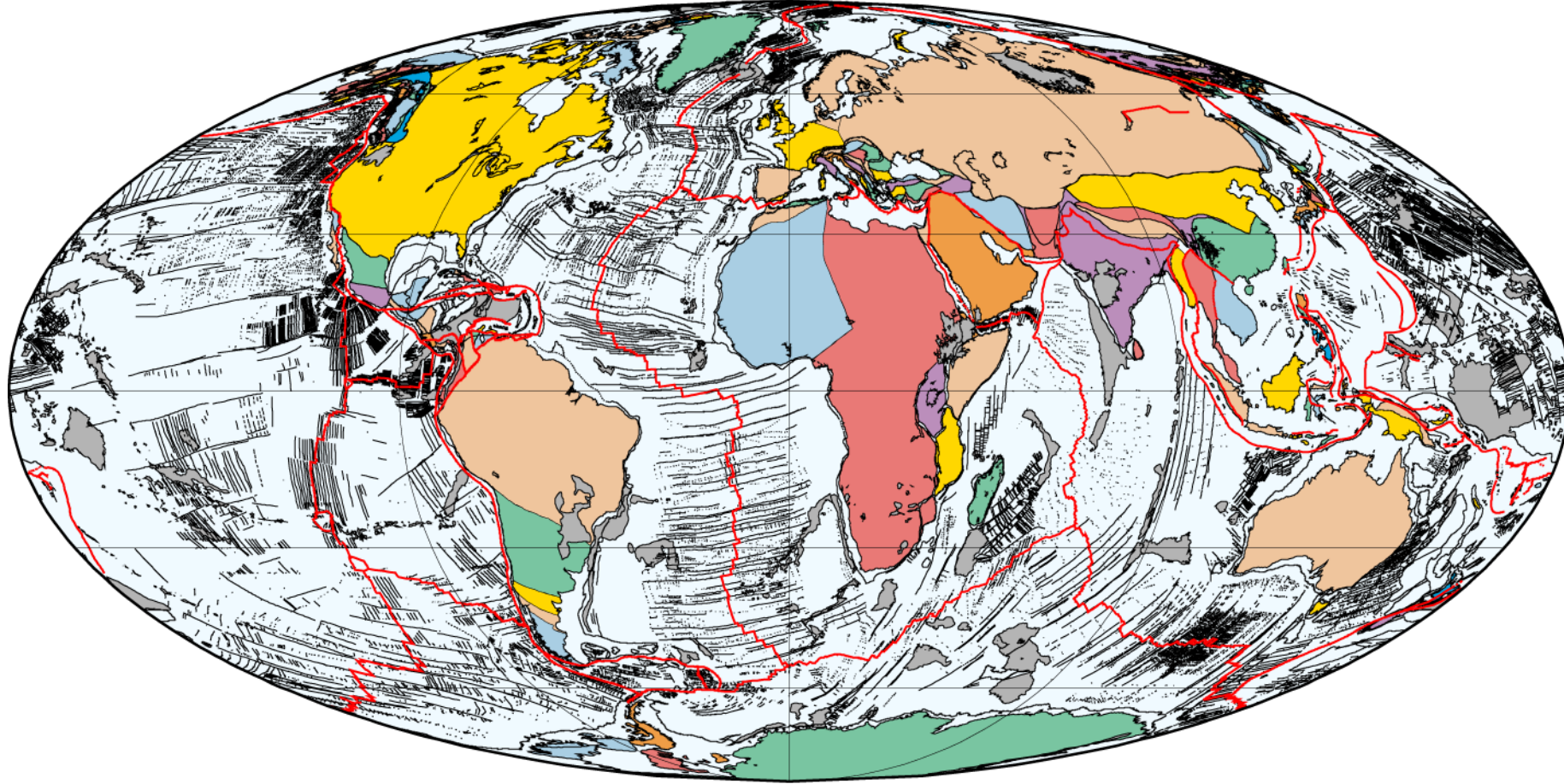


10 Ma  
Late Miocene

PLATESUTIG  
August 2002



# Tettonica delle placche: cosa dice?



OMa  
Present Day

PLATES/UTIG  
August 2002

# Tettonica delle placche: cosa dice?

Global and Planetary Change 169 (2018) 133–144



Contents lists available at ScienceDirect

Global and Planetary Change

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gloplacha](http://www.elsevier.com/locate/gloplacha)



Research article

## Back to the future: Testing different scenarios for the next supercontinent gathering

Hannah S. Davies<sup>a,b,c,\*</sup>, J.A. Mattias Green<sup>c</sup>, João C. Duarte<sup>a,b,d</sup>

<sup>a</sup> Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C1, Piso 1, 1749-016 Lisboa, Portugal

<sup>b</sup> Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C6, Piso 4, 1749-016 Lisboa, Portugal

<sup>c</sup> School of Ocean Sciences, Bangor University, Menai Bridge, United Kingdom

<sup>d</sup> School of Earth, Atmosphere and Environment, Monash University, Melbourne, Victoria 3800, Australia

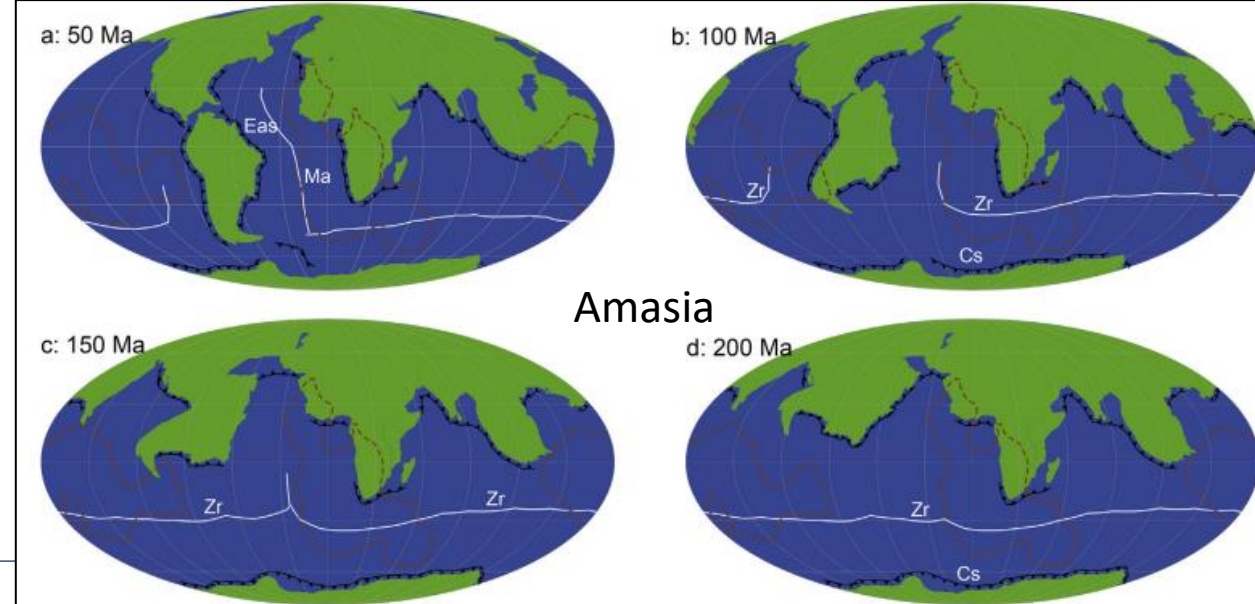
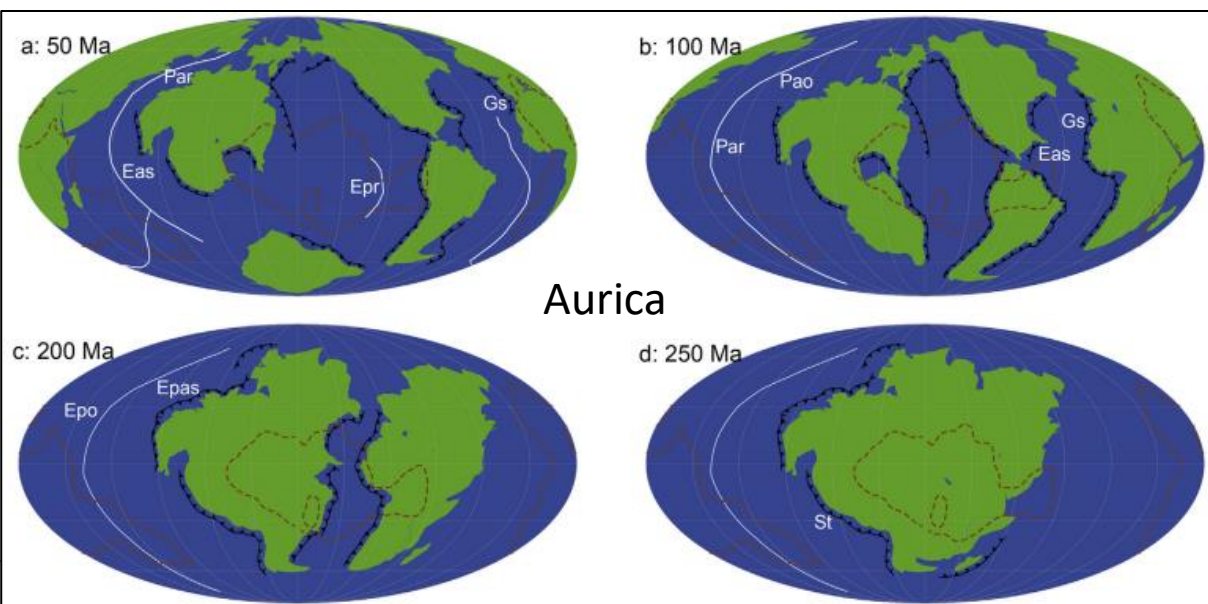
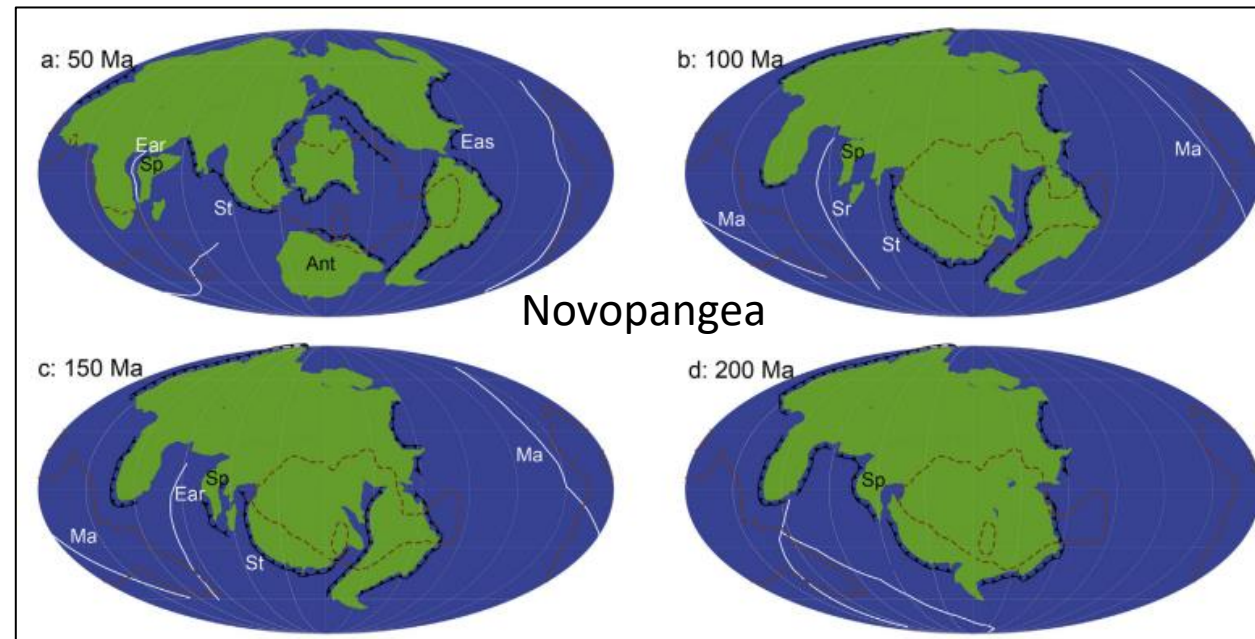
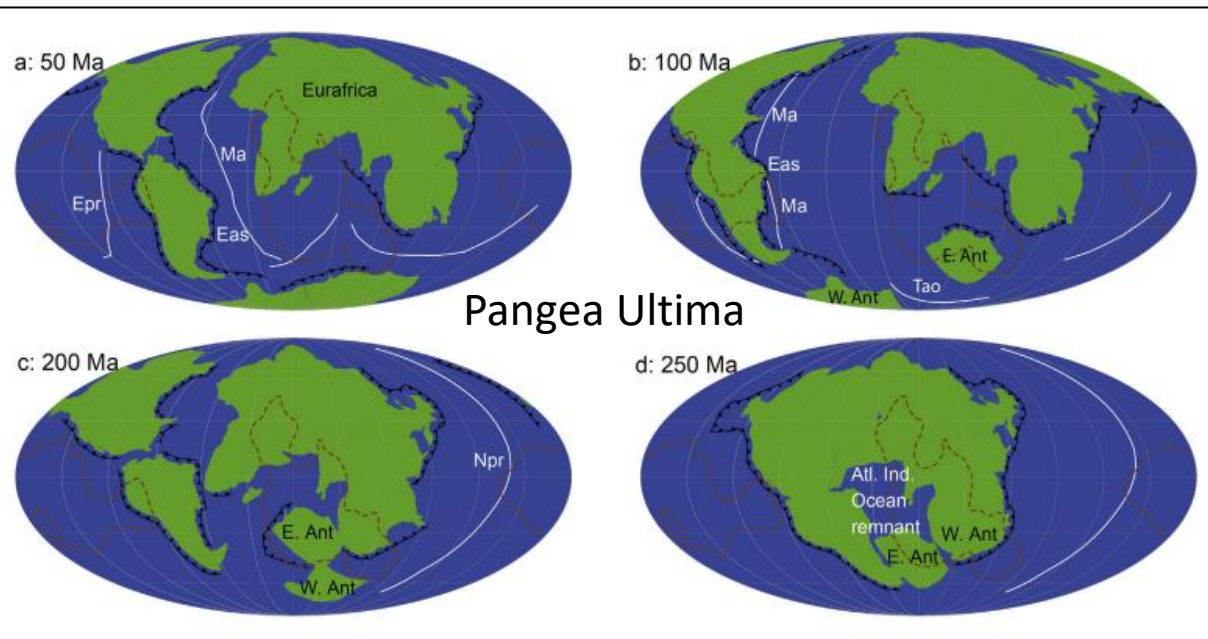


Using the rules of plate tectonic theory, and the dynamics of subduction zones and mantle convection, it is possible to envisage scenarios for the formation of the next supercontinent, which is believed to occur around 200–300 Ma into the future. Here, we explore the **four main proposed scenarios** for the formation of the next supercontinent by constructing them, using GPlates, in a novel and standardised way. Each scenario undergoes different modes of Wilson and Supercontinent cycles [...] illustrating that the relationship between them is not trivial and suggesting that these modes should be treated as end-members of a spectrum of possibilities.



# Tettonica delle placche: cosa dice?

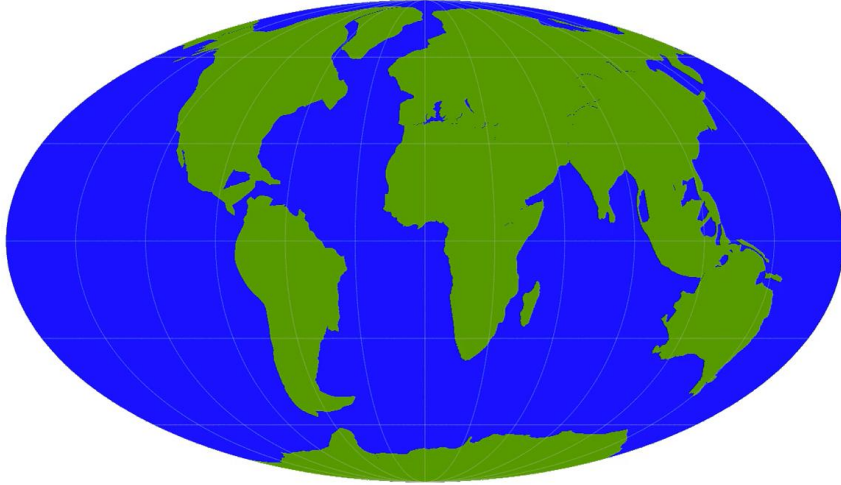
<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.07.015>



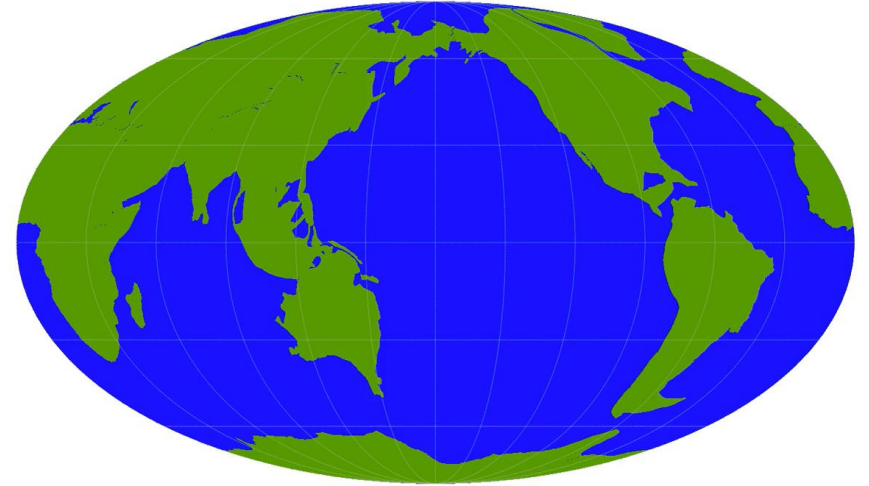


# Tettonica delle placche: cosa dice?

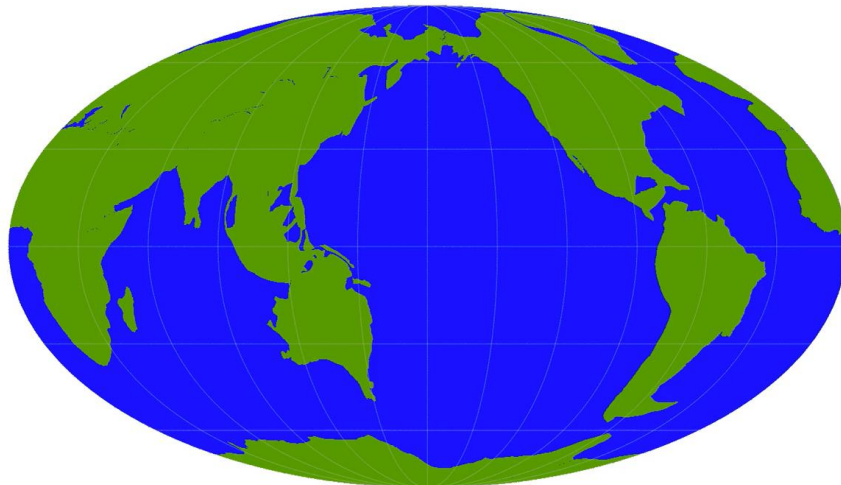
Pangea Ultima



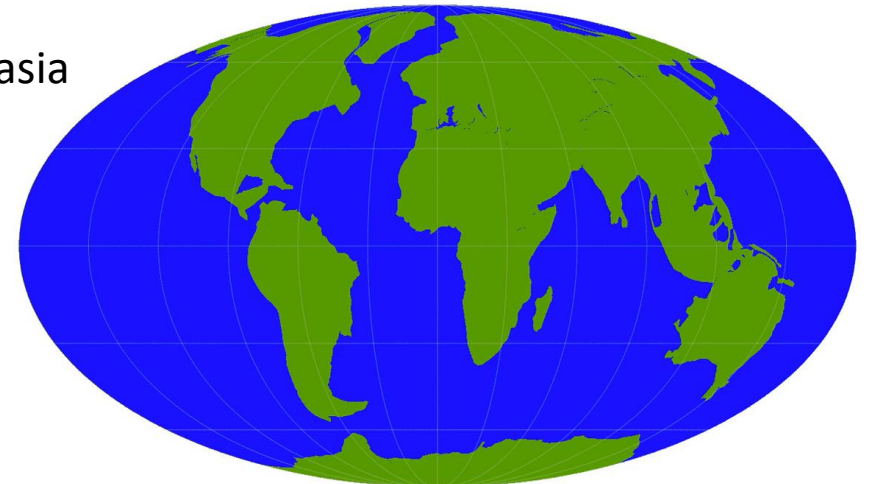
Novopangea



Aurica



Amasia



# Tettonica delle placche: cosa dice?



[https://www.youtube.com/watch?v=SqCEyV1\\_JtM](https://www.youtube.com/watch?v=SqCEyV1_JtM)



<https://www.youtube.com/watch?v=NCZ1GA2sGyo>



<https://www.wired.it/scienza/ecologia/2018/04/23/spostamento-continenti-terra-futuro-video/>

# Tettonica delle placche: il territorio italiano



# Domande iniziali

- La forma attuale dell'Italia dipende da:

1

Placche in allontanamento

14%



2

Placche in subduzione

86%



3

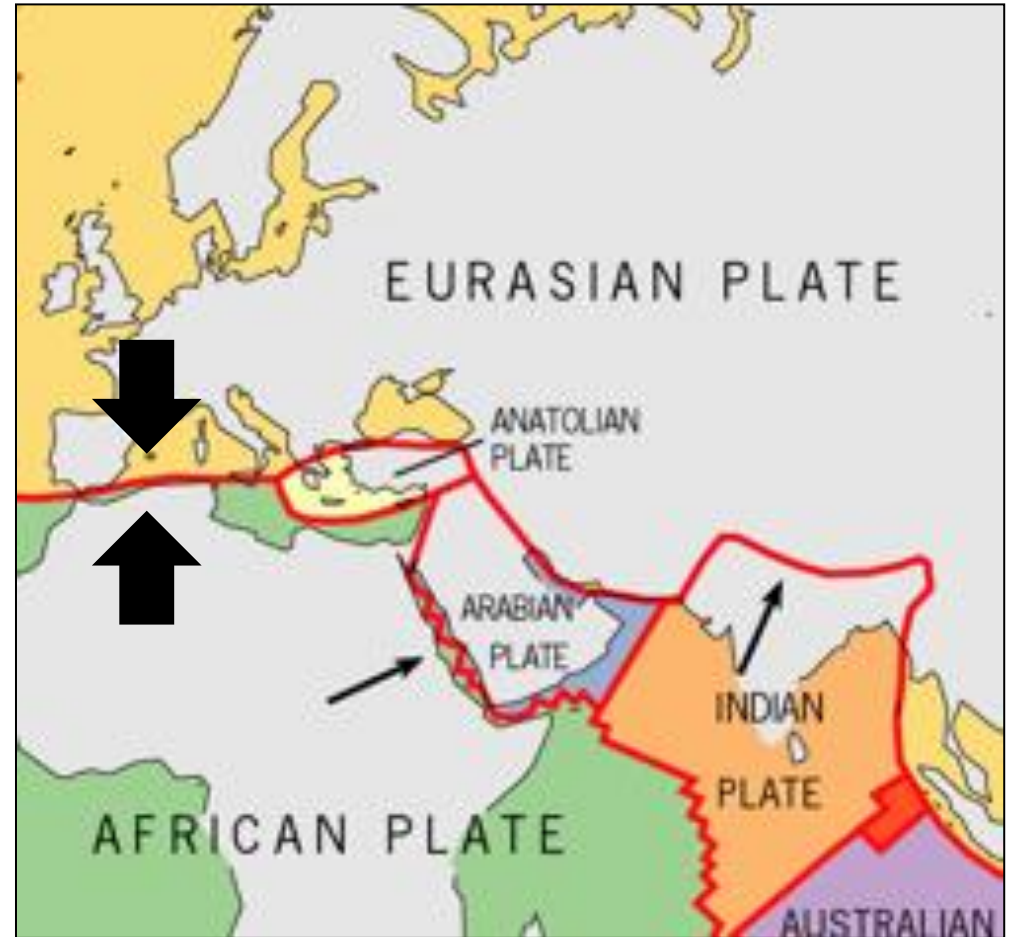
Placche trascorrenti

0%



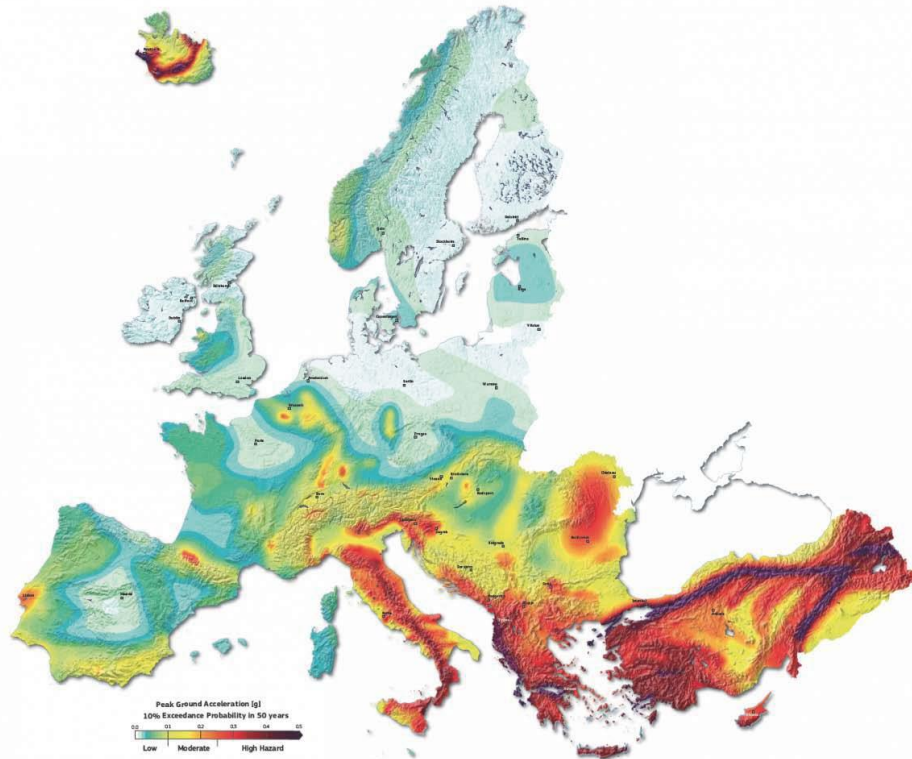
# Tettonica delle placche: il territorio italiano

Il territorio italiano è localizzato nella zona di collisione tra **la placca africana** e quella **euroasiatica**



# Tettonica delle placche: il territorio italiano

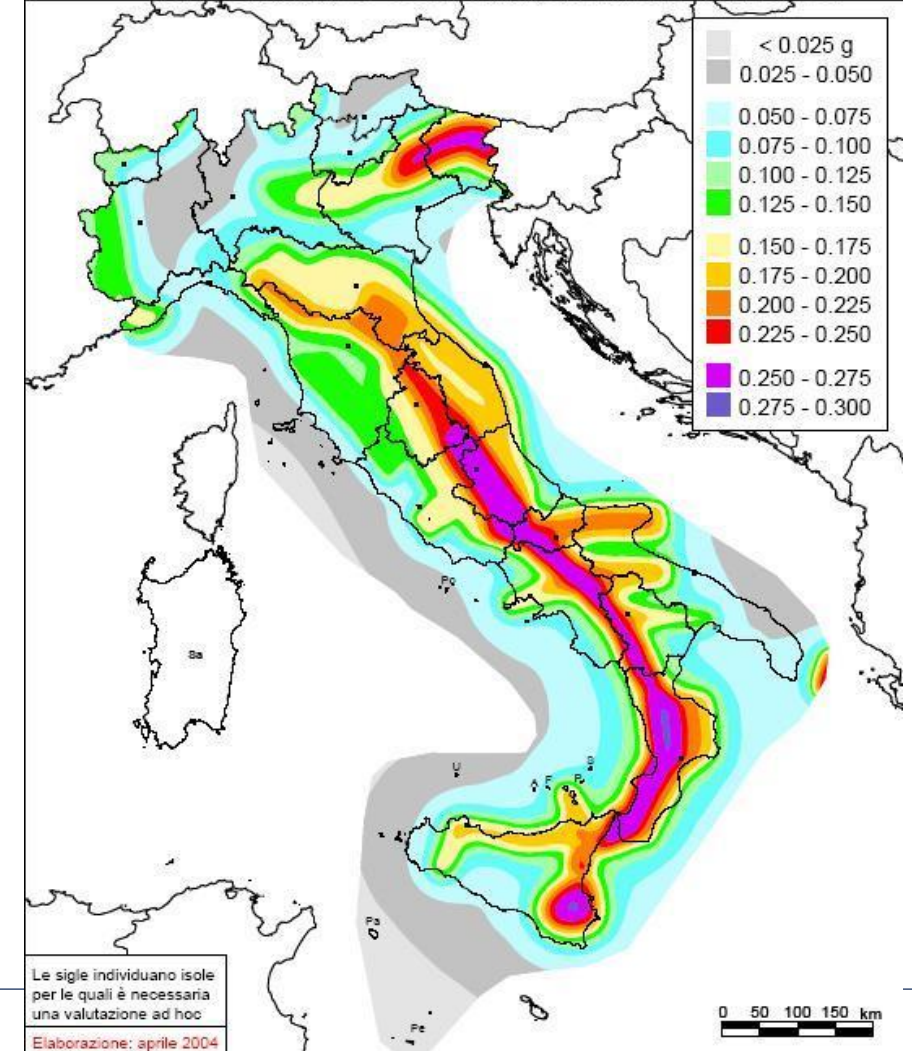
Lo scontro ed il movimento relativo tra le due placche sono all'origine della dinamica geologica della penisola, che si caratterizza per la presenza di **vulcanismo attivo** sul margine tirrenico e per la **diffusa sismicità** lungo la catena appenninica e davanti alla costa tirrenica della Calabria.



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

## Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2008 n.3519, All.1b)  
espressa in termini di accelerazione massima del suolo  
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni  
riferita a suoli rigidi ( $V_{s20} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

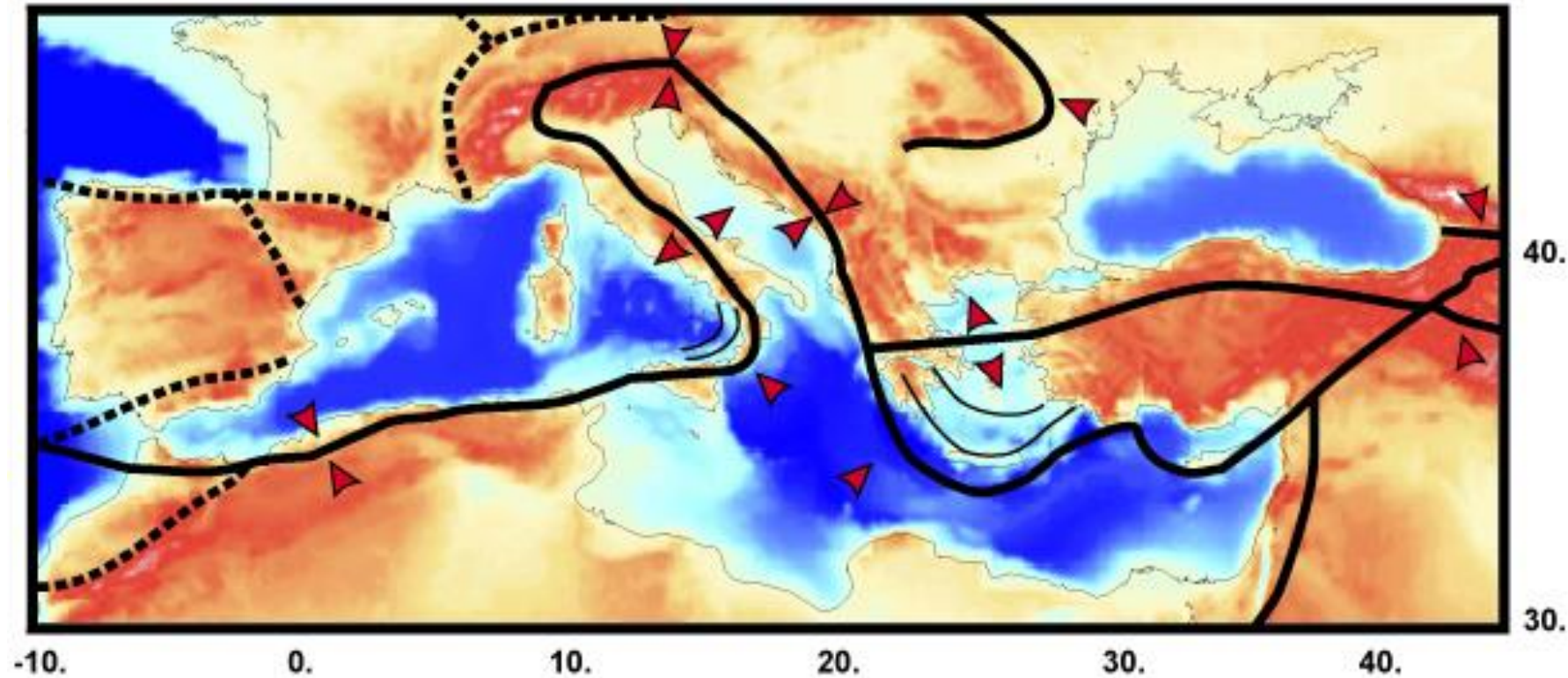




# Tettonica delle placche: il territorio italiano

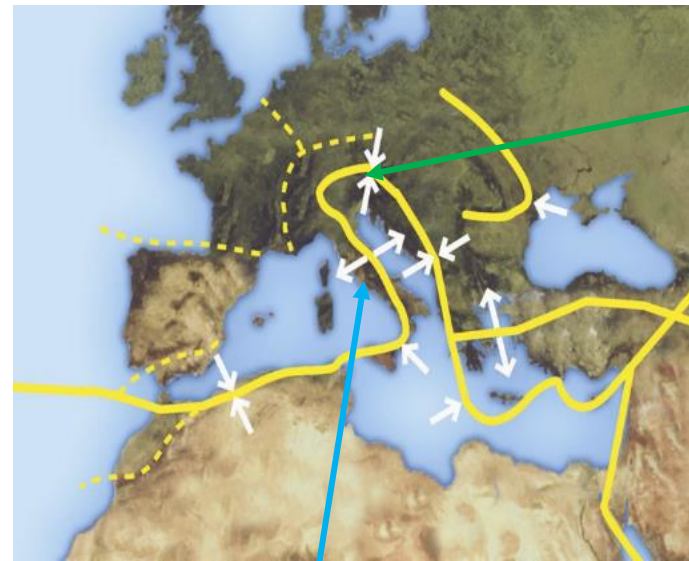
La **collisione** tra le due placche litosferiche è di tipo **convergente** ed ha determinato il sollevamento delle catene montuose delle Alpi e delle Dinaridi.

Nel corso di questo processo la litosfera si deforma accumulando energia elastica nelle rocce, che viene liberata istantaneamente con la sua fratturazione ed i terremoti.





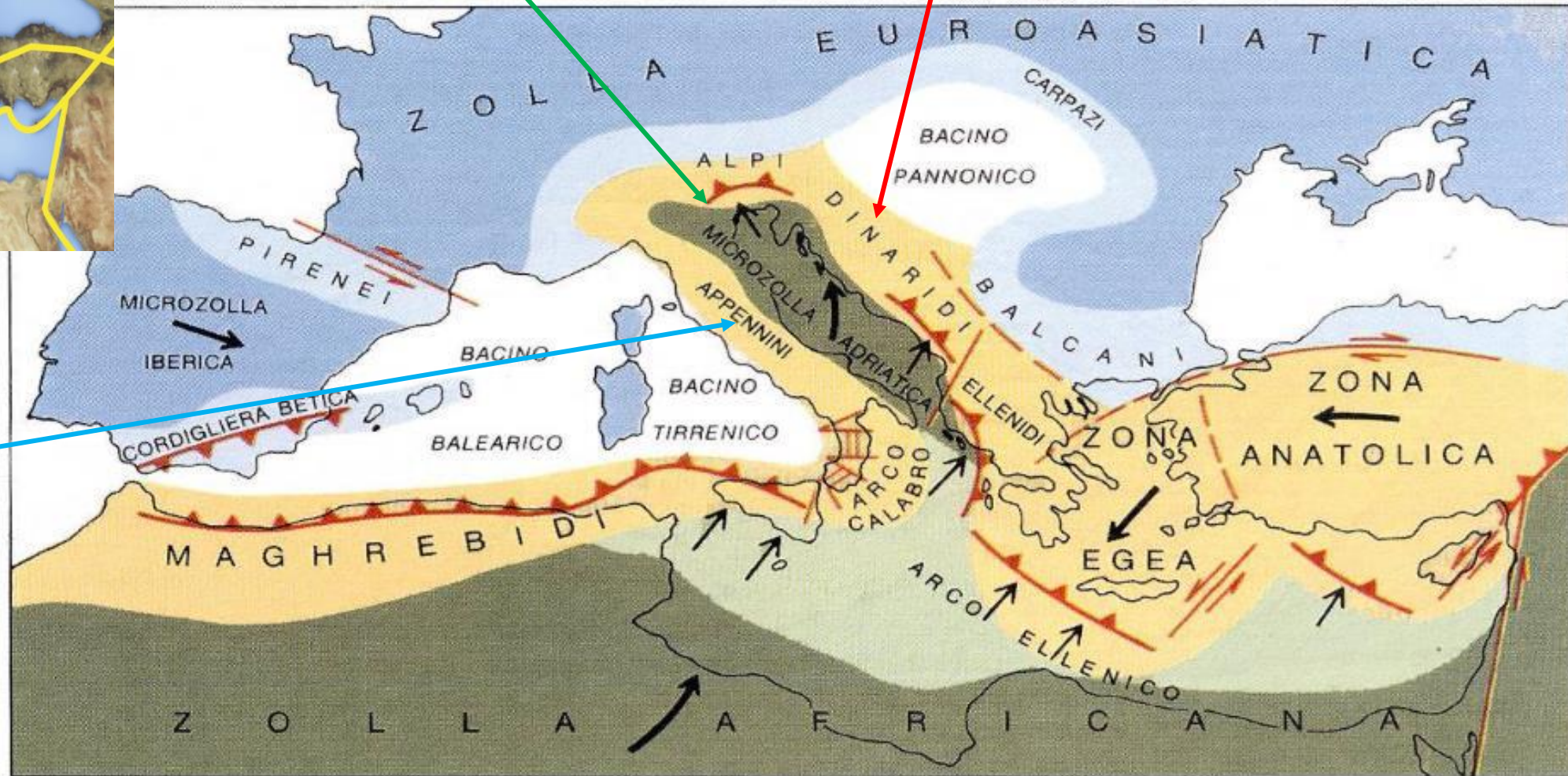
# Tettonica delle placche: il territorio italiano



Alpi: zona compressiva  
(Terremoto del Friuli del 1976)

Dinaridi: zona compressiva con  
faglie trascorrenti (Terremoto  
dell'Idrija del 1511)

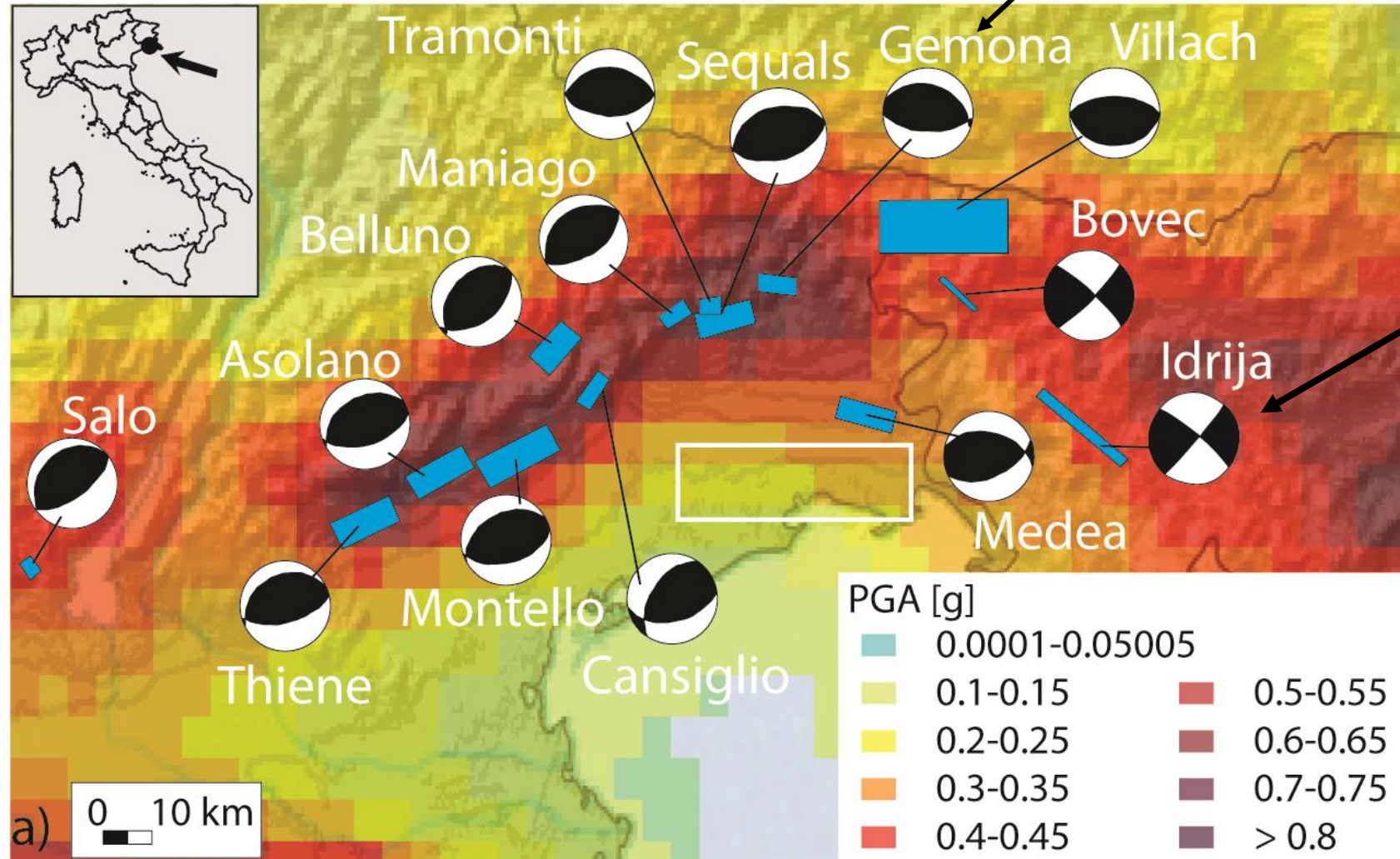
Appennini:  
zona distensiva  
(terremoto  
dell'Aquila del  
2009 e del  
Centro Italia del  
2016)





# Tettonica delle placche: il territorio italiano

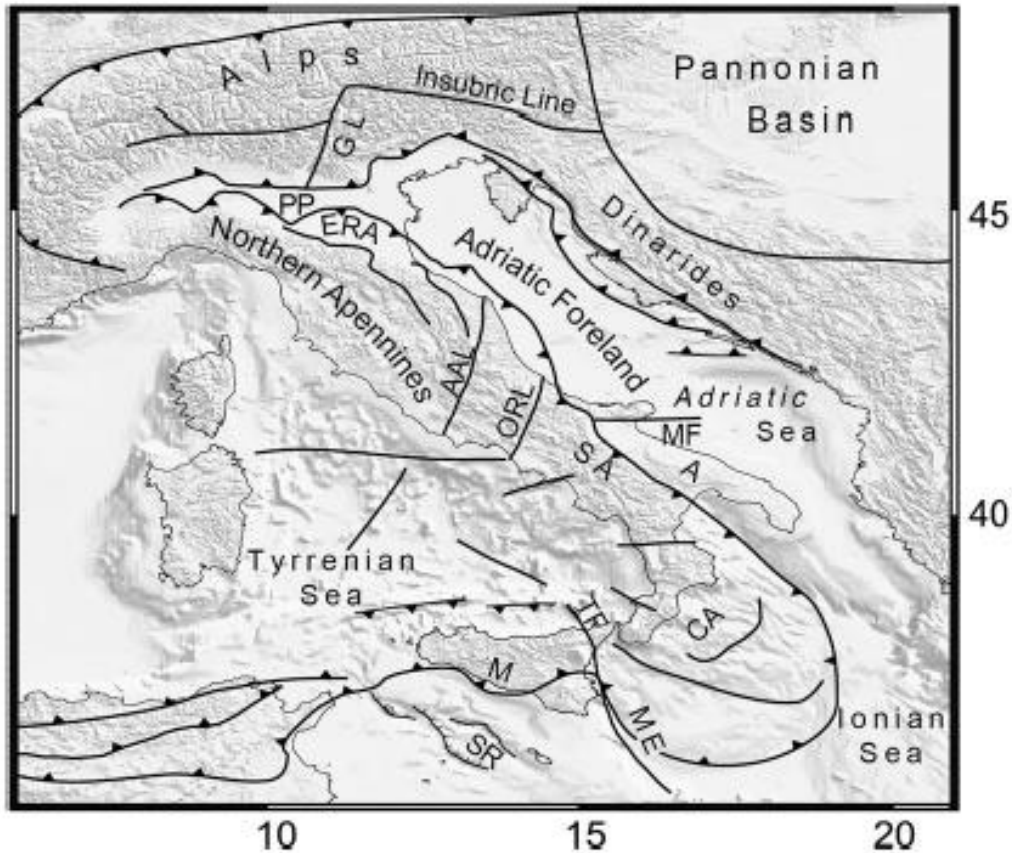
Alpi: zona compressiva con faglie inverse (Terremoto del Friuli del 1976)



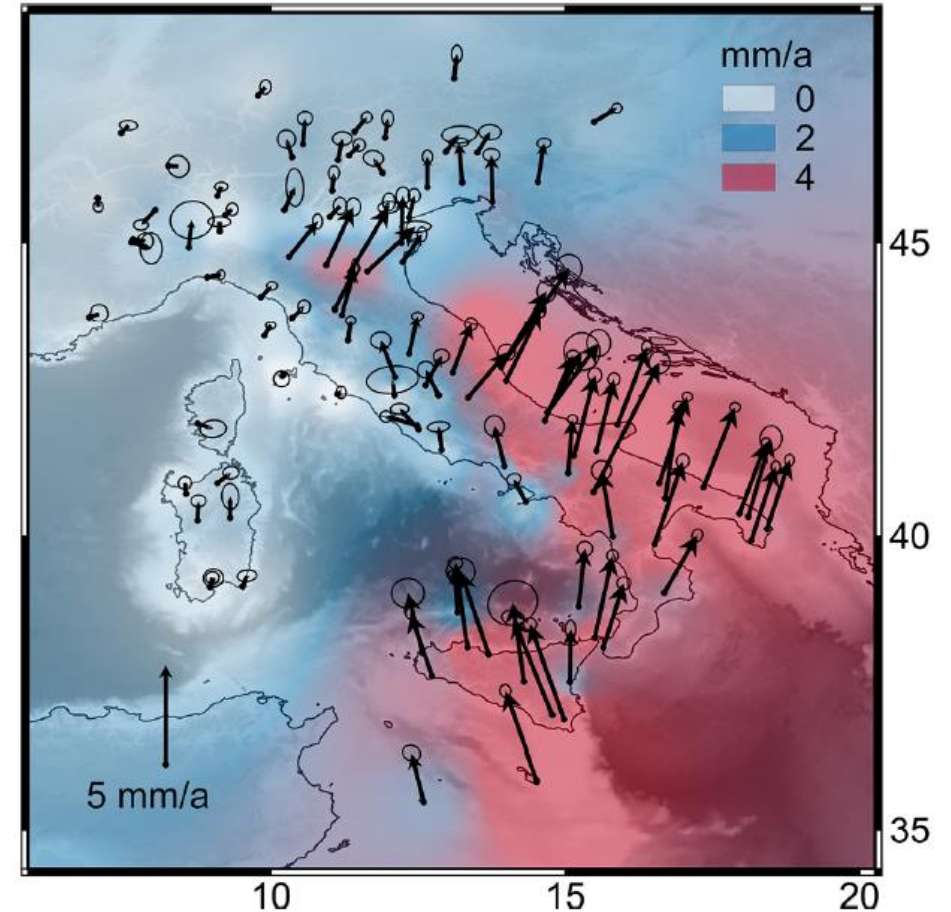
Dinaridi: zona compressiva con faglie trascorrenti (Terremoto dell'Idrija del 1511)



# Tettonica delle placche: il territorio italiano



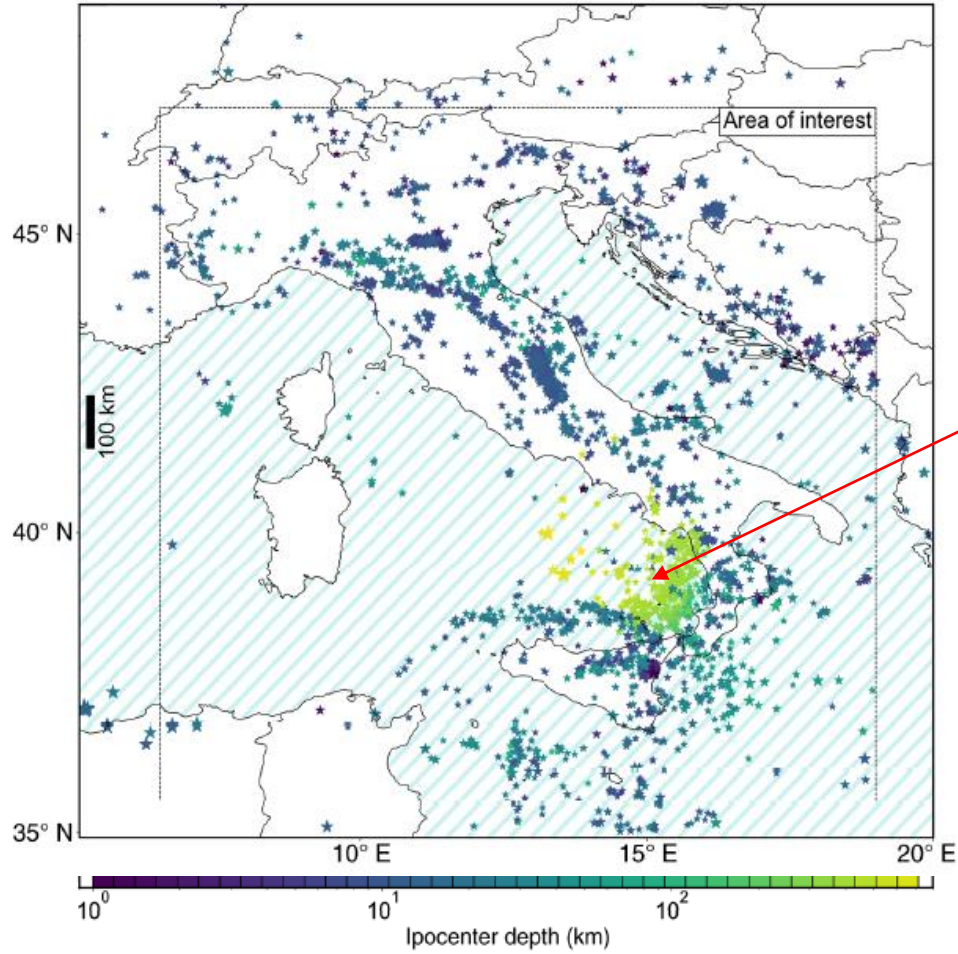
**Fig. 8** Map of main tectonic lineaments in the Alpine Mediterranean area. Thrusts faults are shown with *lines* and *hanging wall triangles*. Major undifferentiated faults are shown with simple *lines*. A Apulia, AAL Ancona-Anzio Line, CA Calabrian Arc, ERA Emilia Romagna Arc, GL Giudicarie Line, M Maghrebides, ME Malta Escarpment, MF Mattinata Fault, ORL Ortona-Roccamonfina Line, PP Po Plain, SA Southern Apennines, SR Sicilian Rift, TF Tindari Fault



**Fig. 3** Intra-plate horizontal velocities and error ellipses of 95 % confidence level in the Eurasian reference frame. Interpolated horizontal velocity field is displayed by a graduated color scale. *White* represents stable part, *blue* 2 mm/a and *red* up to 4 mm/a



# Tettonica delle placche: il territorio italiano



Arco calabro: Zona in subduzione caratterizzata da terremoti più profondi

