



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Fisica Terrestre

Tettonica delle placche

Stefano parolai- stefano.parolai@units.it

Indice

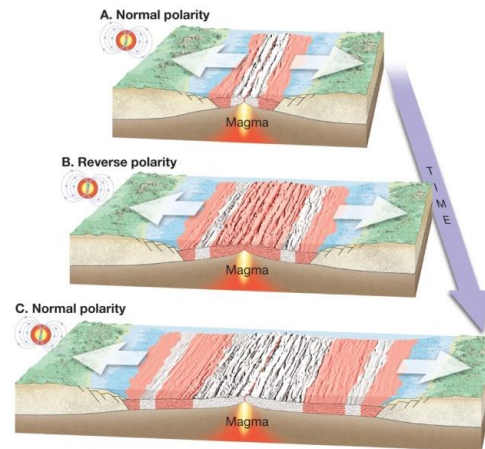
- Tettonica delle placche: cosa è?
- Tettonica delle placche: struttura interna della Terra
- Tettonica della placche: quando nasce?
- Tettonica delle placche: cosa dice?
- Terronica delle placche: il territorio italiano
- Tettonica delle placche: calcolo dei movimenti reciproci delle placche e diagrammi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

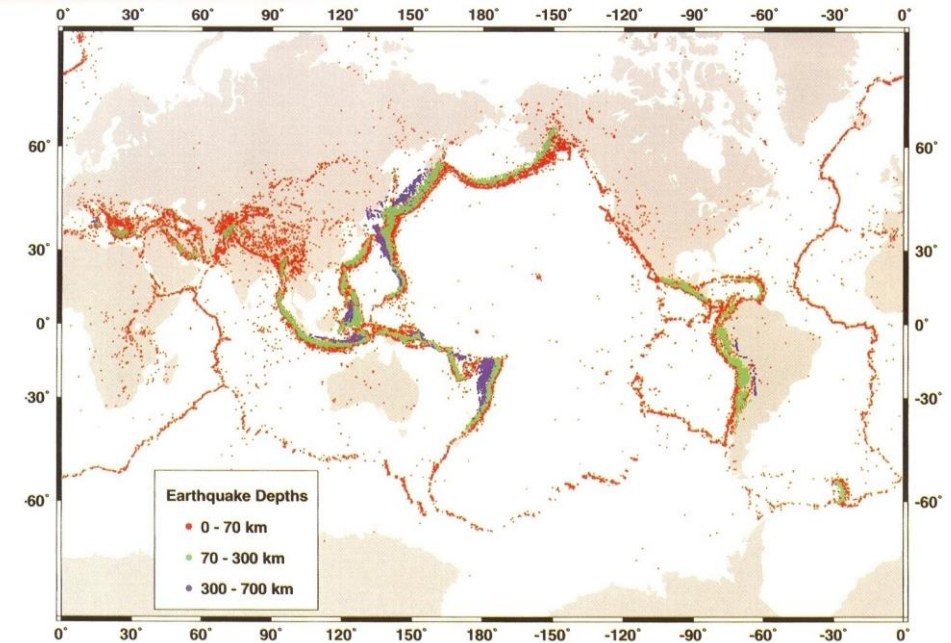
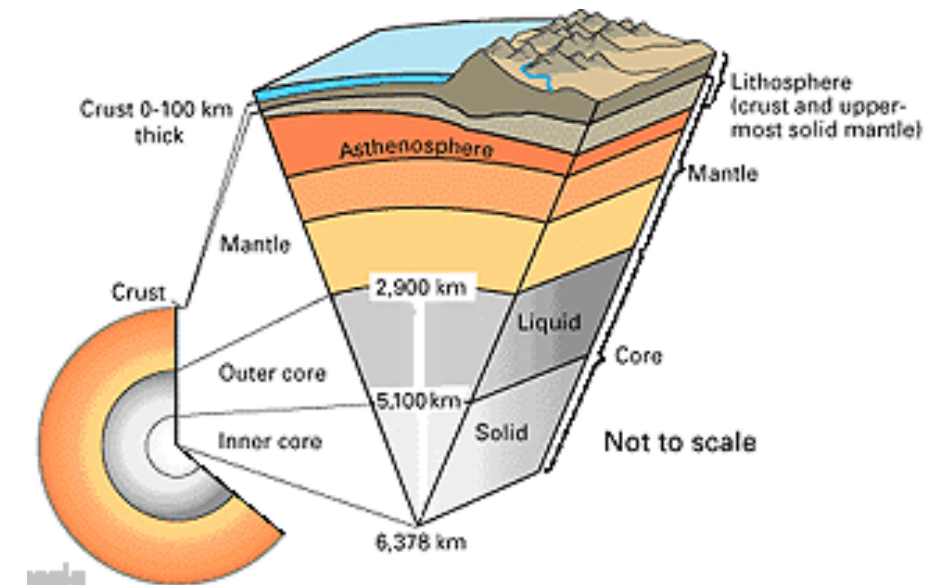


Figure 2.2. The global distribution of both shallow and deep seismicity for well-located earthquakes with magnitude > 5.1. The shallow seismicity closely delineates plate boundaries. Based on Engdahl et al. (1998).

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**

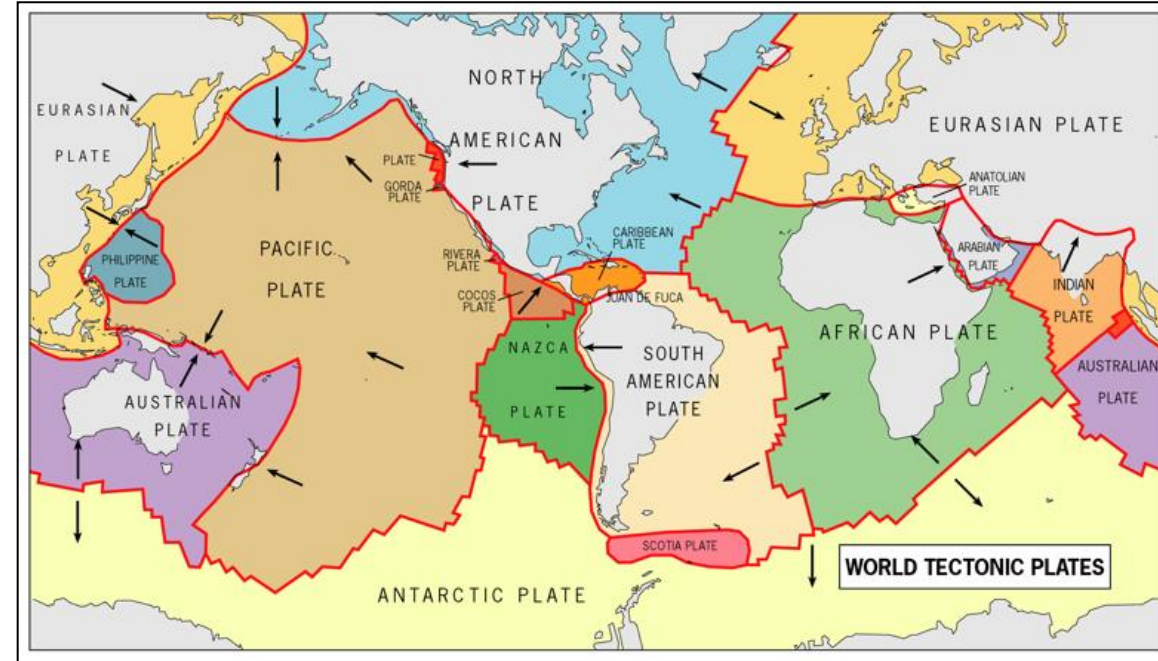


Tettonica delle placche: cosa dice?

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**

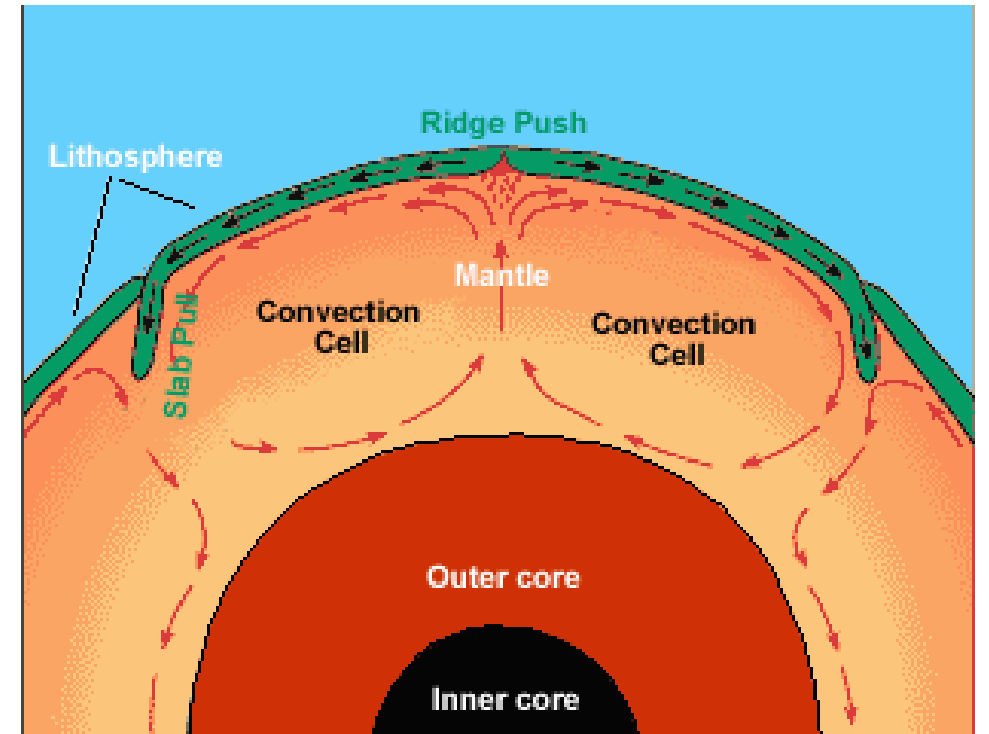
La litosfera è divisa in porzioni rigide (quelle di maggiori dimensioni sono una dozzina, ma ne esistono molte altre di più piccole dimensioni) dette **placche** che “galleggiano” sull’astenosfera



Tettonica delle placche: cosa dice?

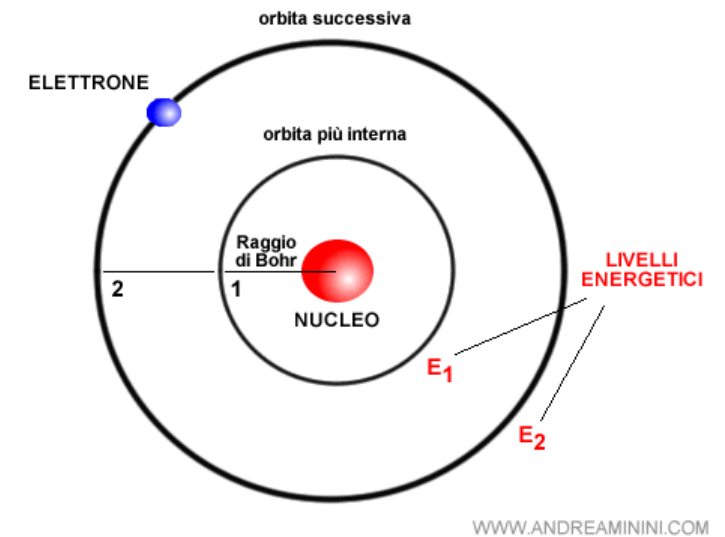
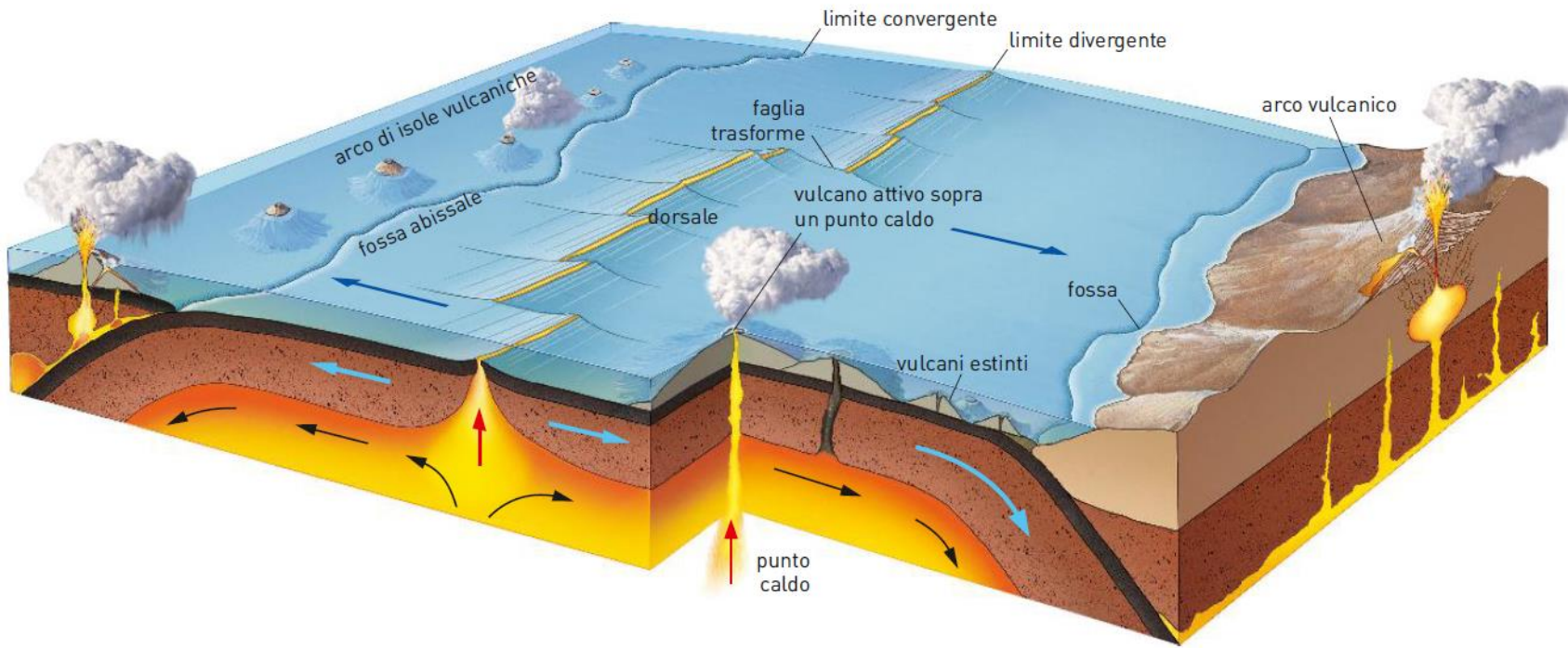
I **movimento** relativi tra le placche avvengono solamente **lungo i bordi**

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



Teoria tettonica delle placche:

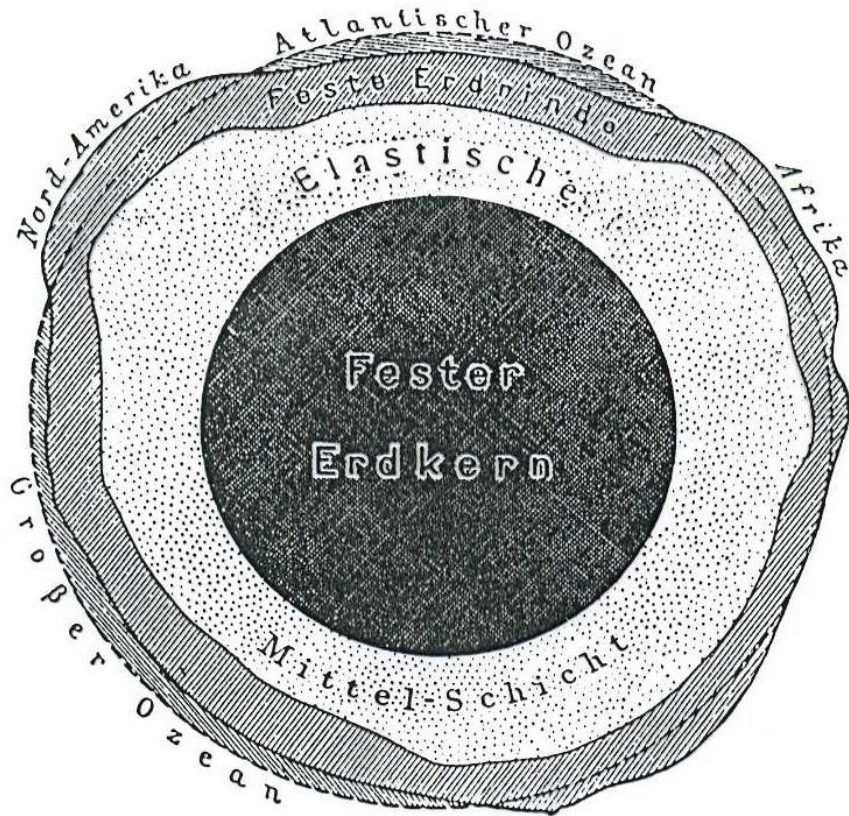
semplice

elegante

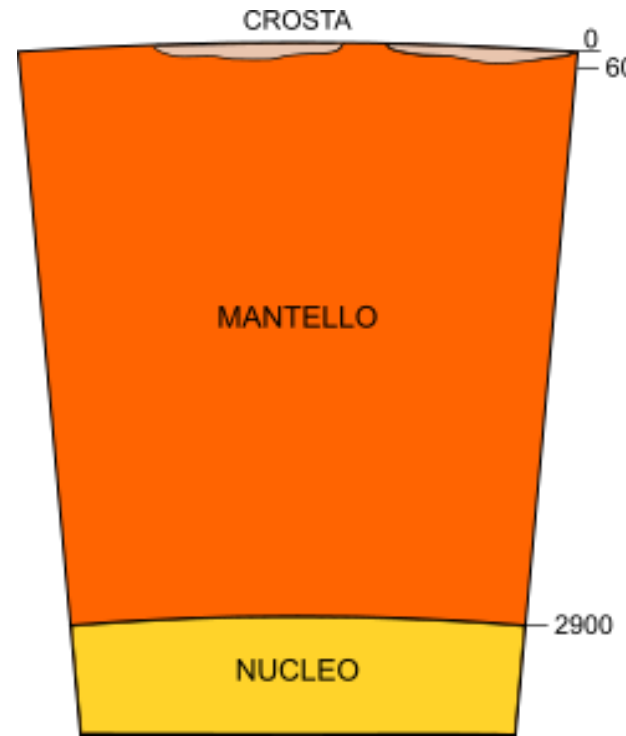
capace di spiegare un gran numero di esperimenti ed osservazioni

Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

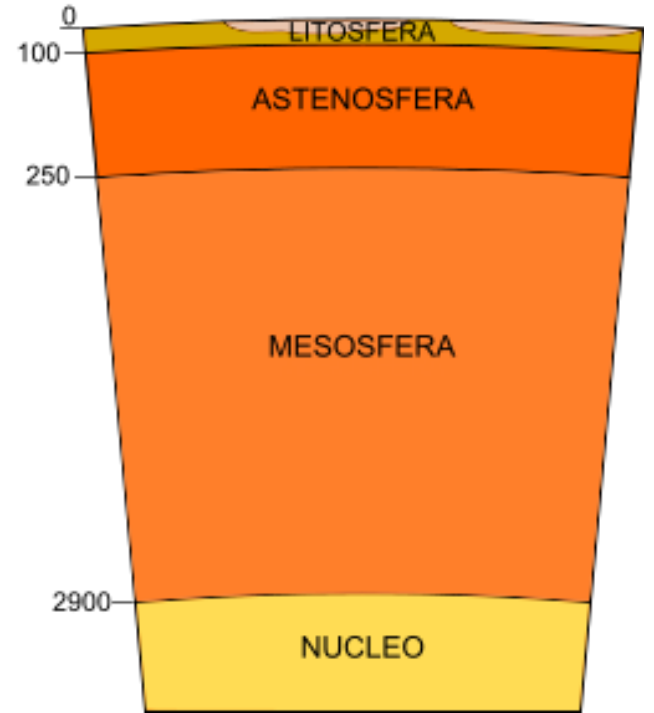
Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



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



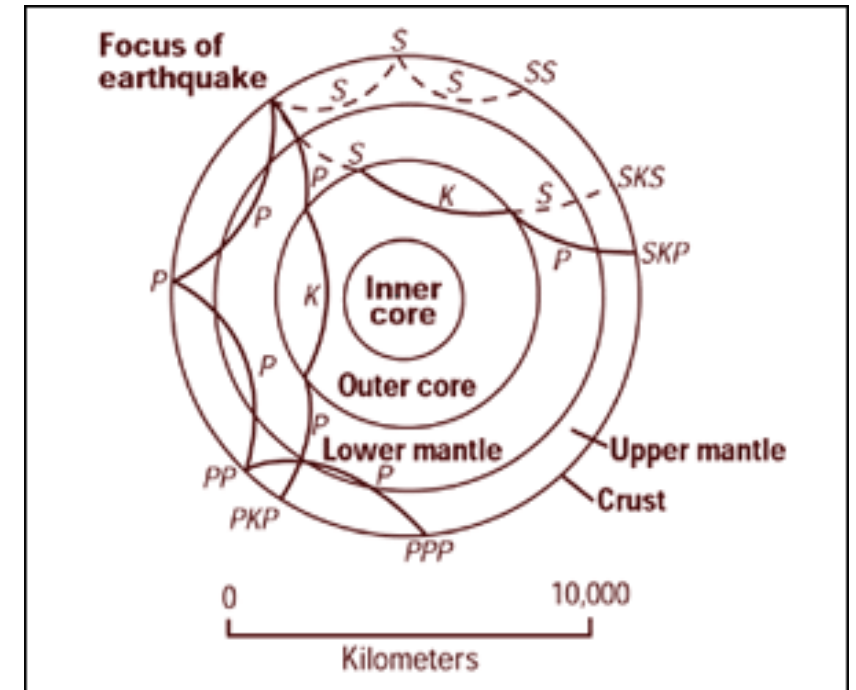
Reologia

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

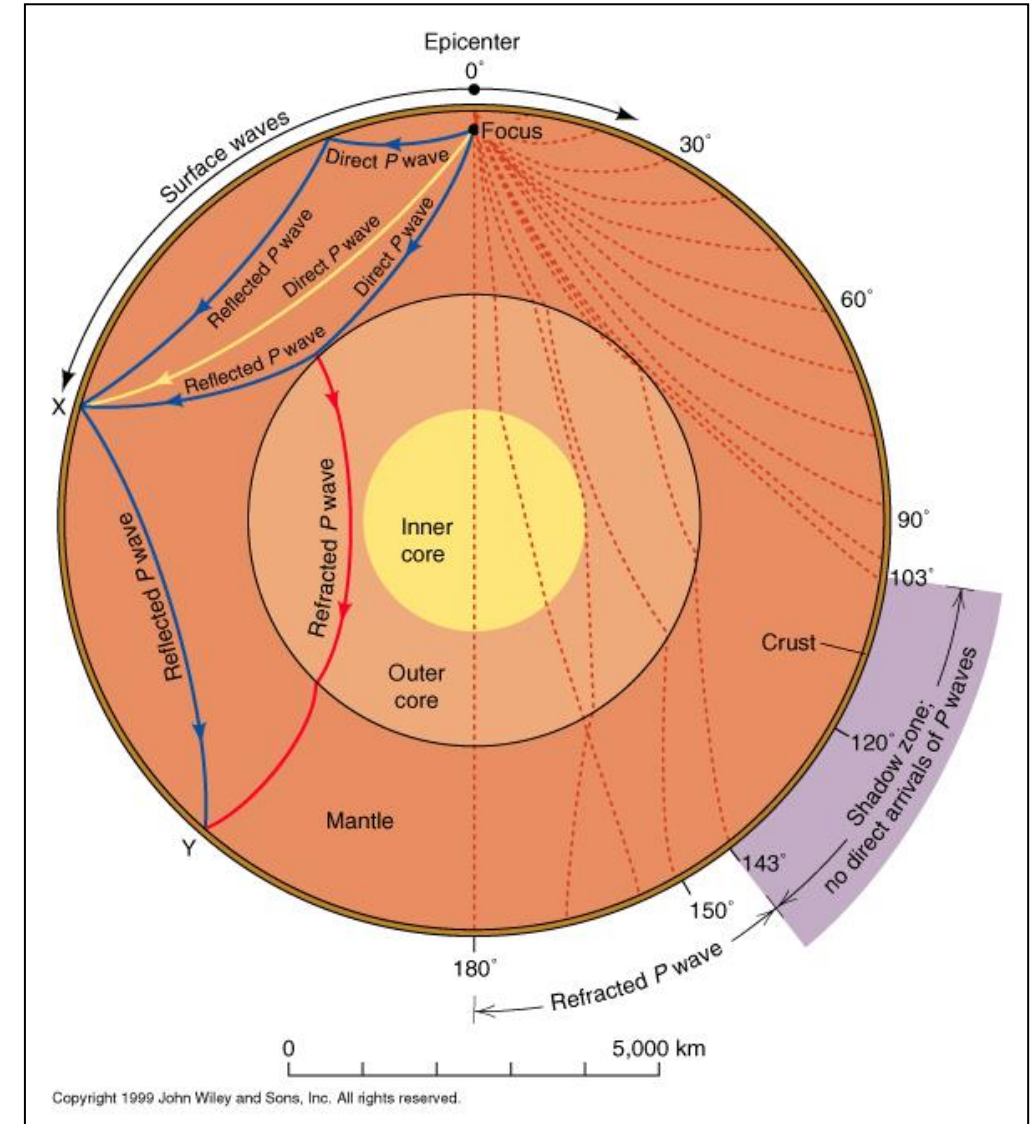
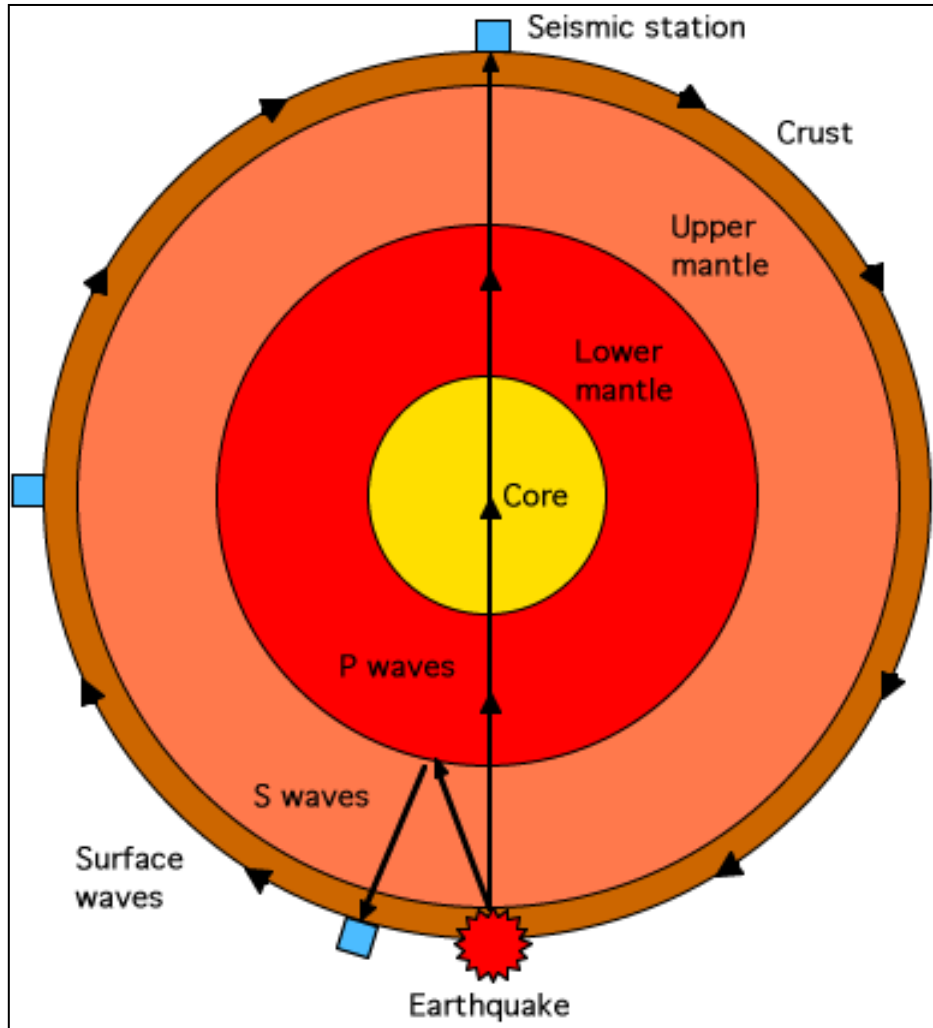
Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Come conosciamo la struttura interna della Terra?

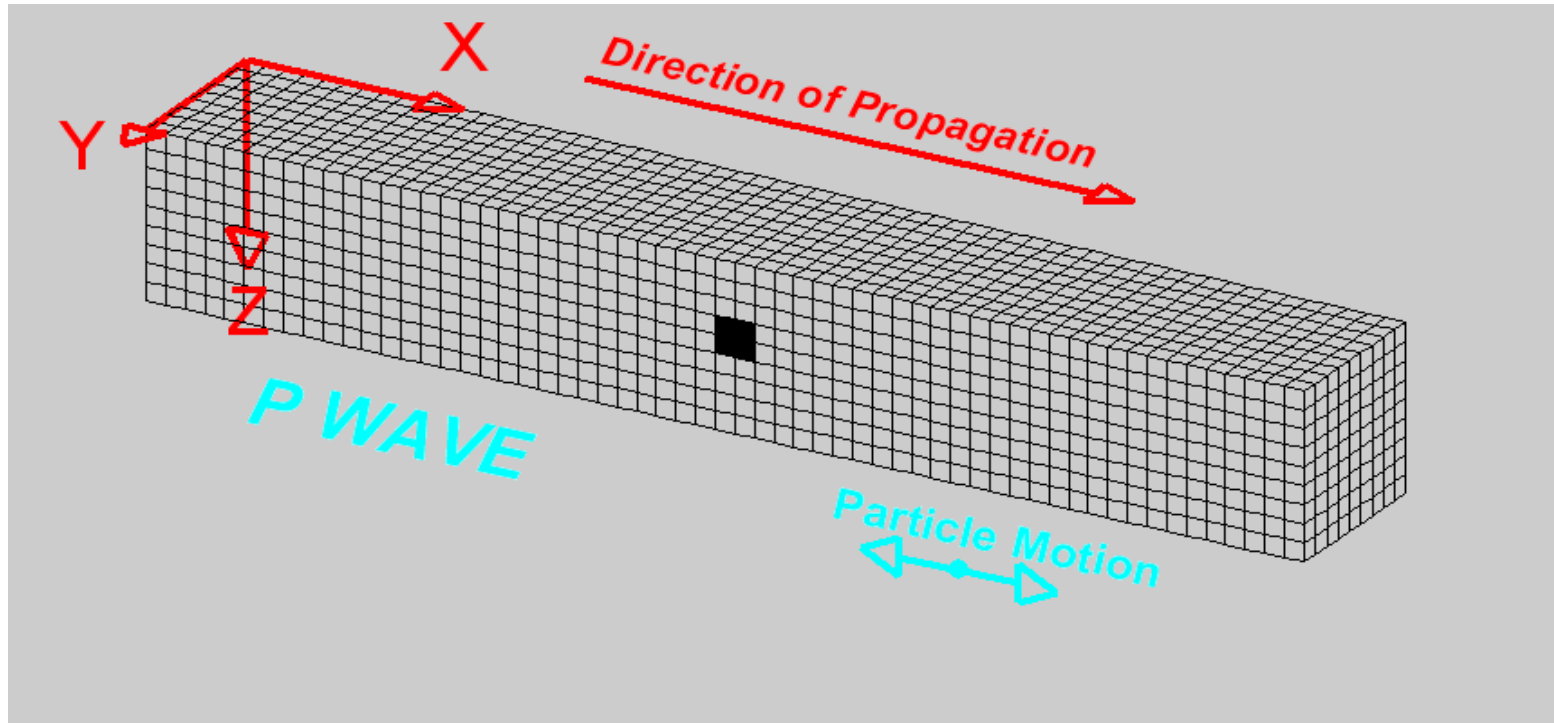
Grazie alle indagini geofisiche: sismica/sismologia, gravimetria, magnetismo, geo-elettrica, geodesia



Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

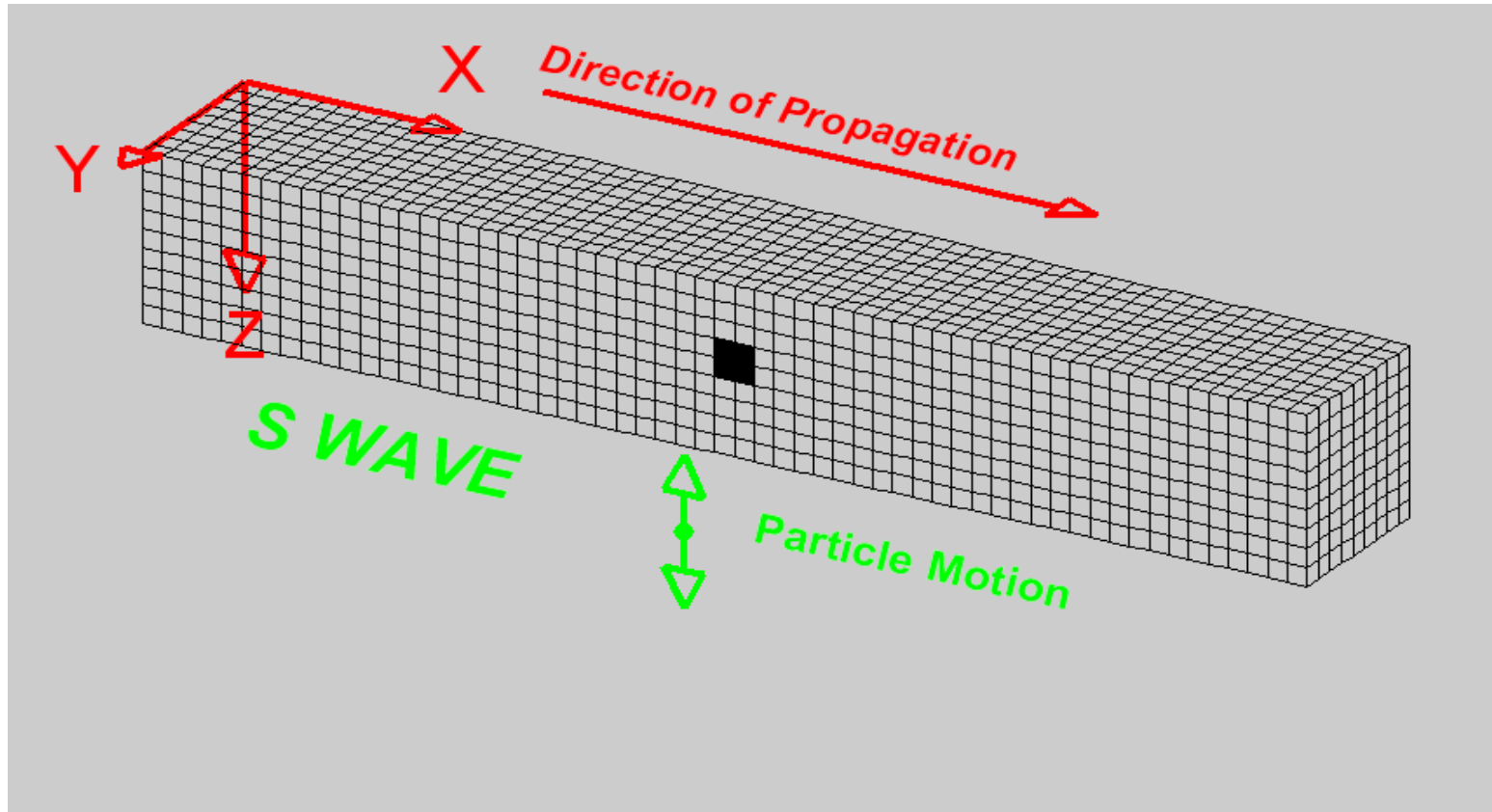


Onde di Volume– Onde P



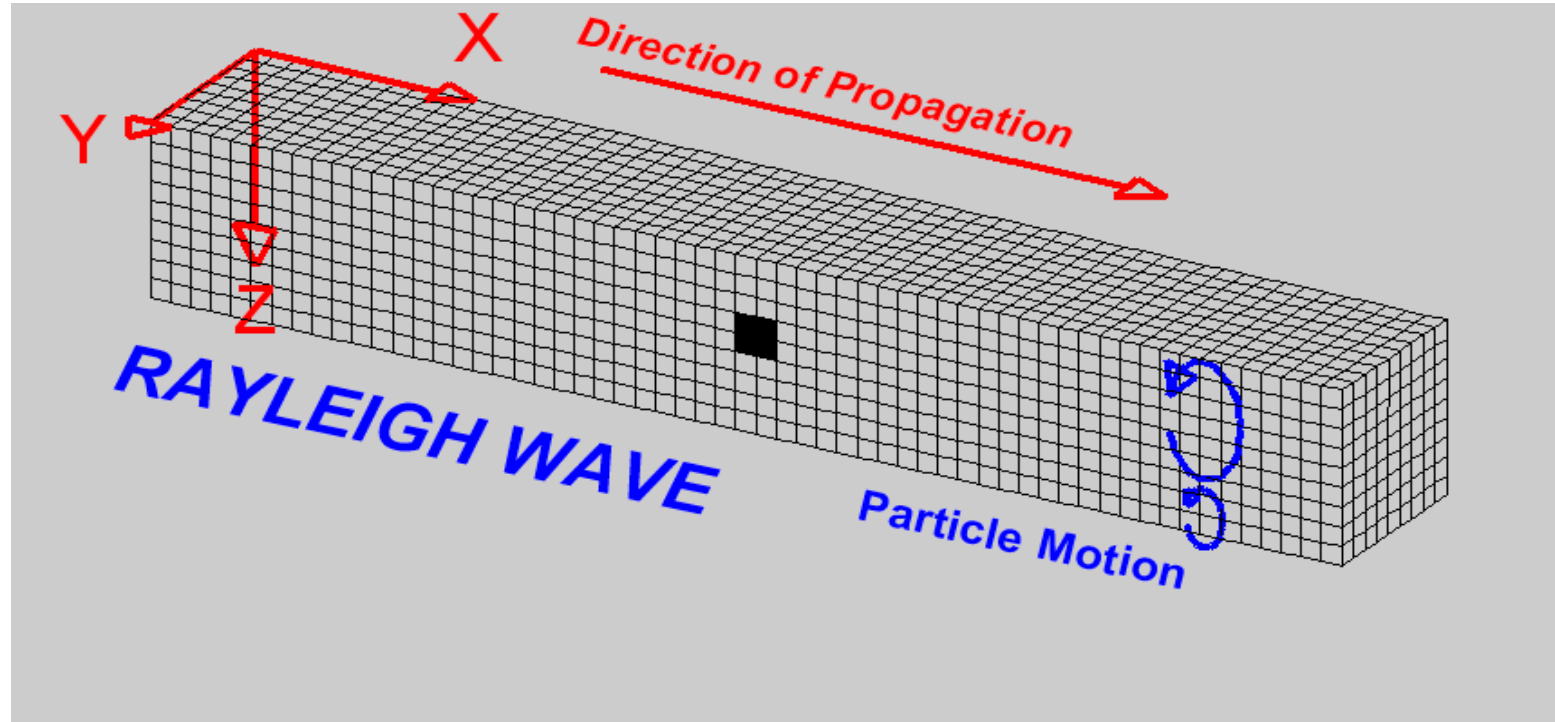
Il moto delle particelle consiste in una alternanza di compressioni e dilatazioni parallele alla direzione di propagazione (polarizzazione longitudinale)
Il materiale torna nella forma originaria dopo il passaggio della perturbazione

Onde di Volume – Onde S



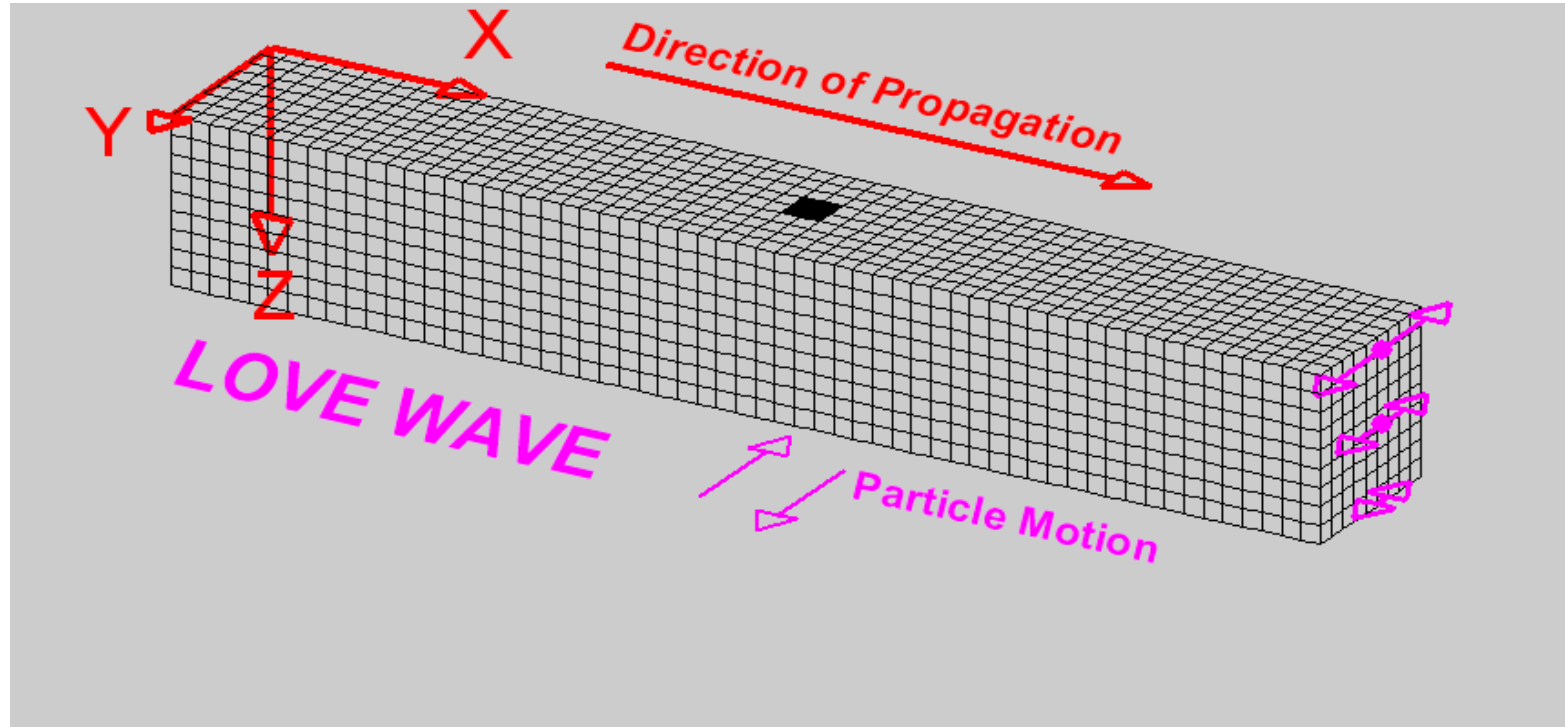
Il moto delle particelle consiste in una alternanza di moti trasversali perpendicolari alla direzione di propagazione.

Onde Superficiali- Onde di Rayleigh



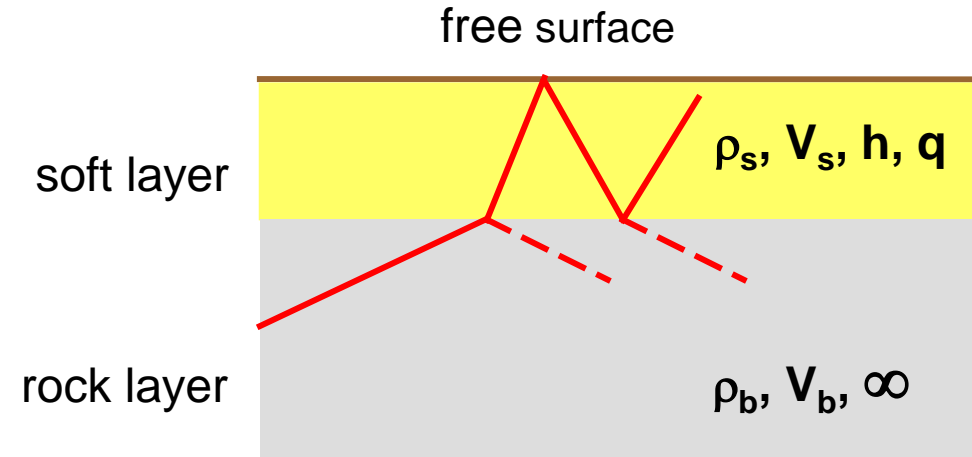
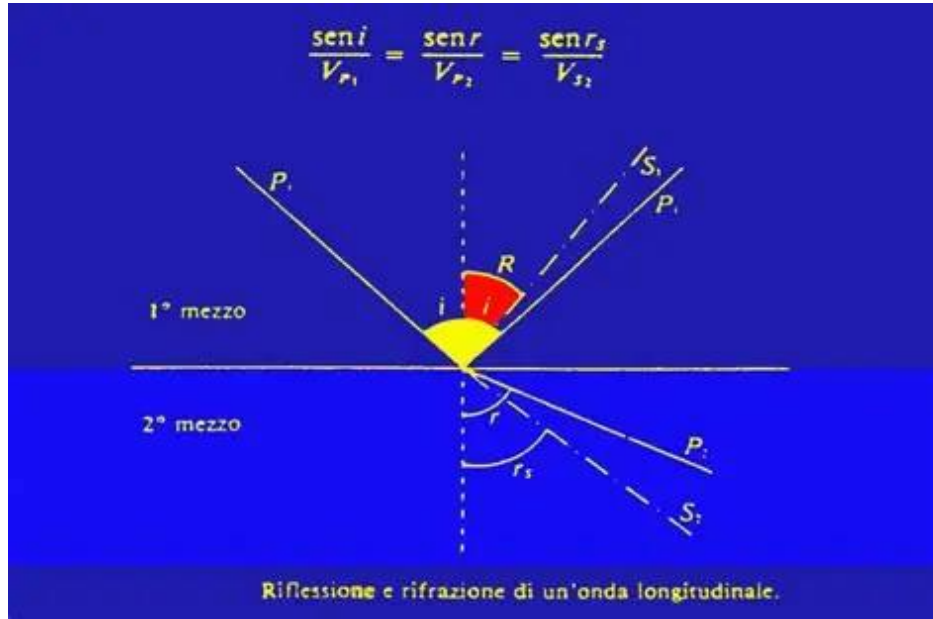
Il moto delle particelle è ellittico (in mezzo omogeneo retrograde) nel piano vertical e e parallel alla direzione di propagazione. L'ampiezza diminuisce con la profondità

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.

Legge di Snell



Rifrazione e Riflessione

Quando un'onda di volume incontra una discontinuità (variazione della velocità sismica), parte dell'energia viene trasmessa attraverso il confine e parte viene riflessa.

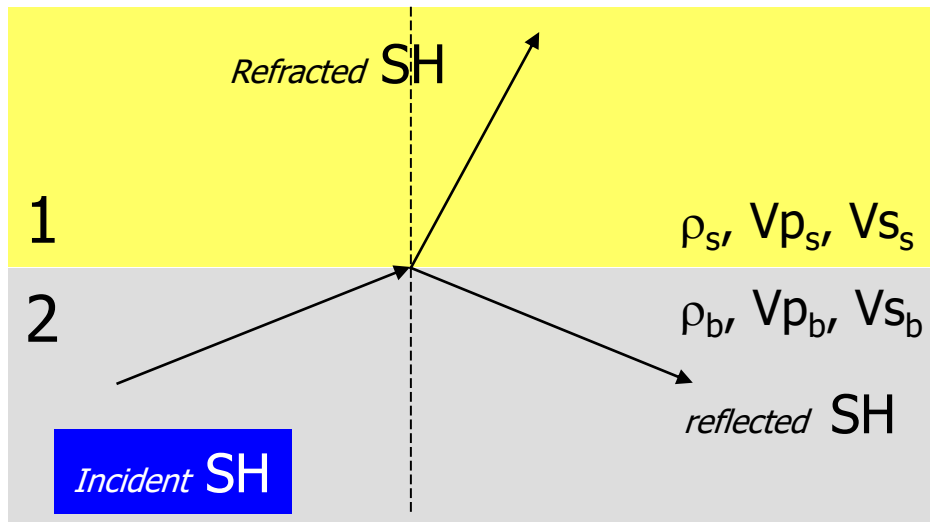
SNELL'S LAW

$$\sin(i) / V = \text{costante} = p$$

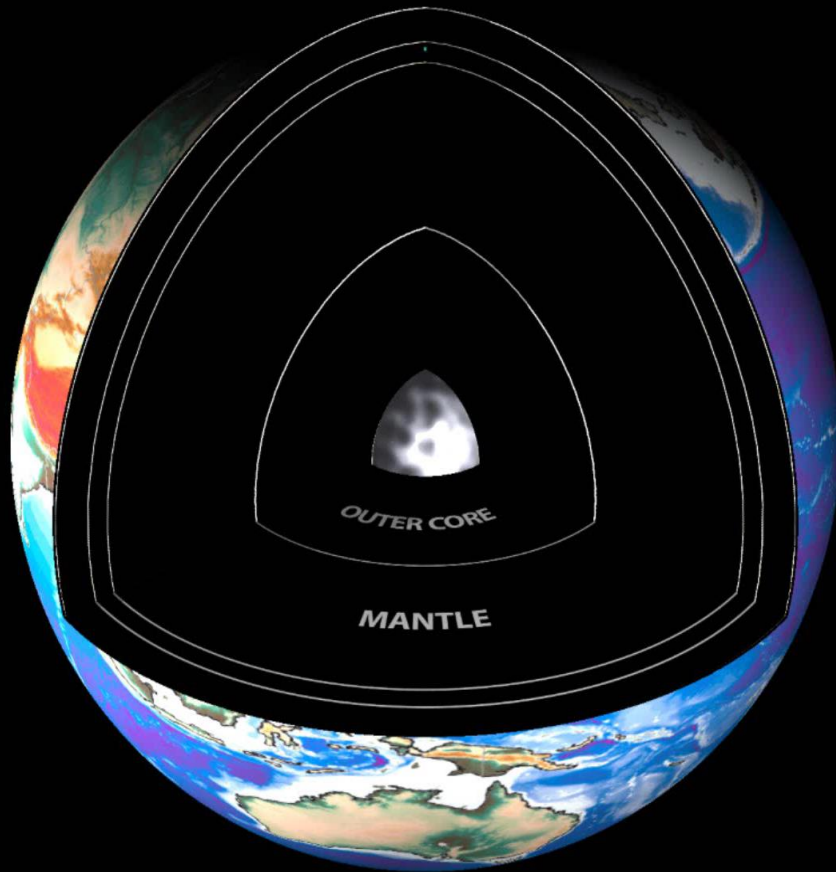
$$\rightarrow \sin(i_1) / V_1 = \sin(i_2) / V_2$$

$$C = (\rho_2 V_2 / \rho_1 V_1)$$

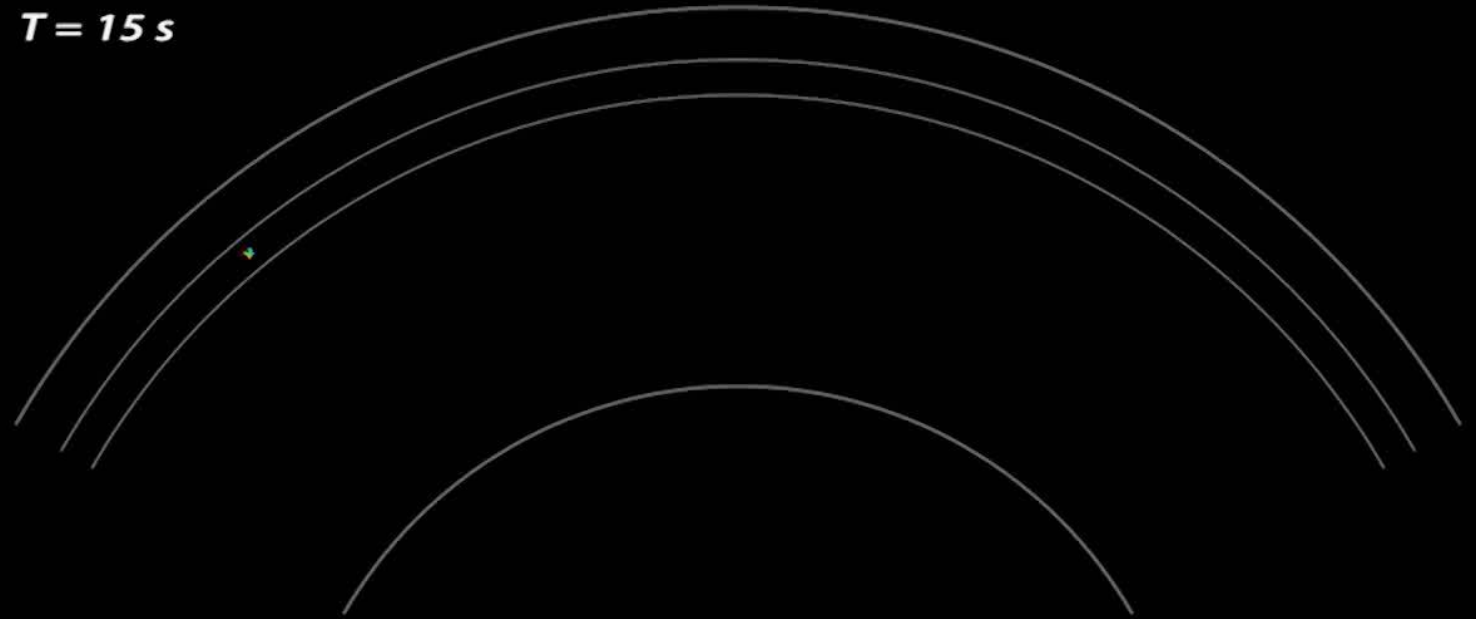
è il contrasto di impedenza



Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



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

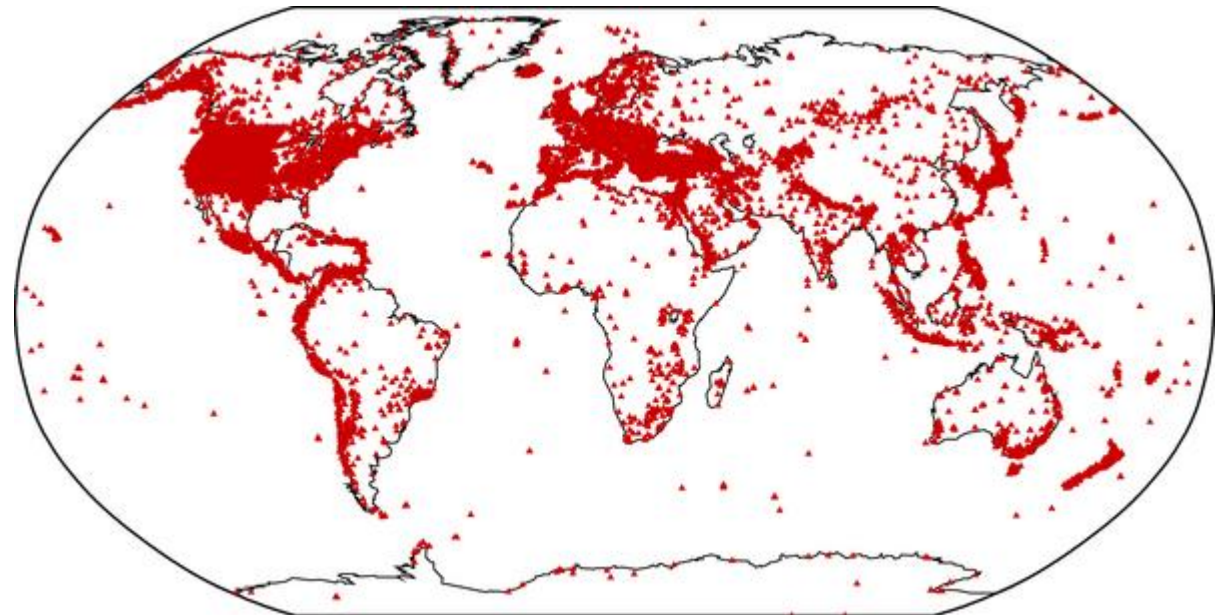
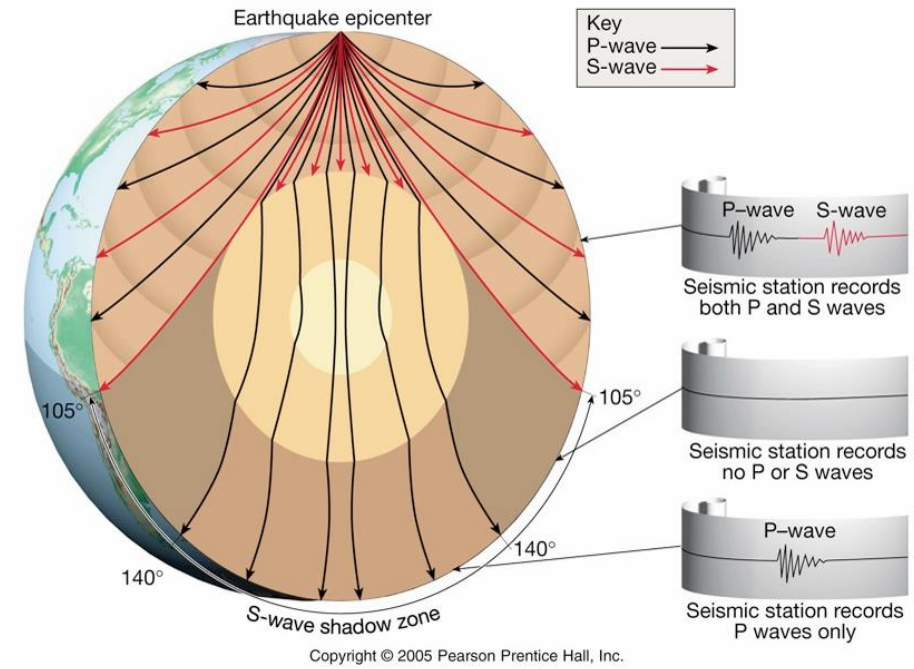


<http://web.utah.edu/thorne>



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

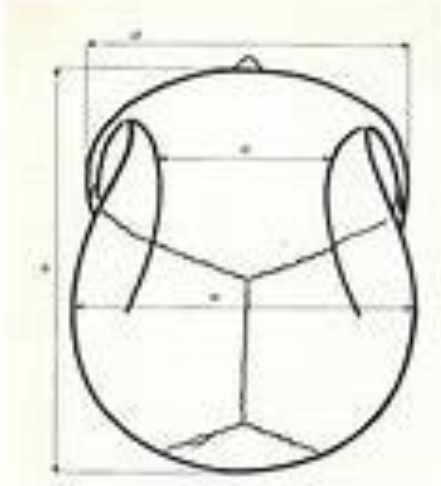
Fig. 1: Ernst von Rebeur-Paschwitz, who successfully completed the world's first remote recording of an earthquake in 1889 in Potsdam



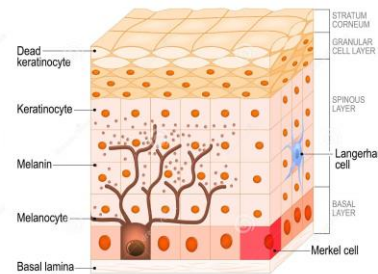
Cranio umano visto dall'alto

I diametri antropometrici:

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

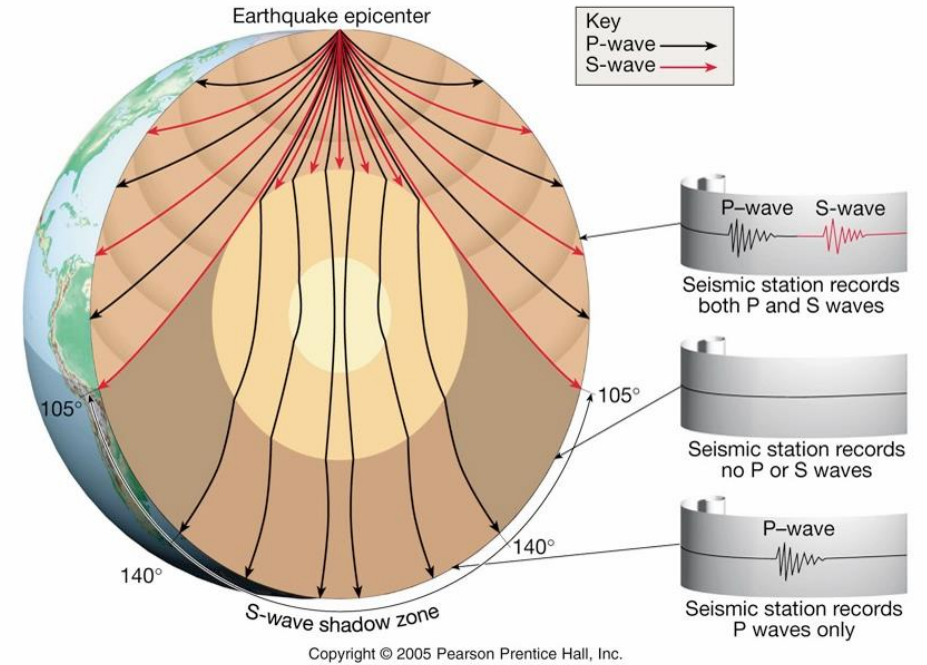


EPIDERMIS



dreamstime.com

ID 13896077 © Designua



Raggio circa 9 cm
Epidermide 0.1 cm
Rapporto 90

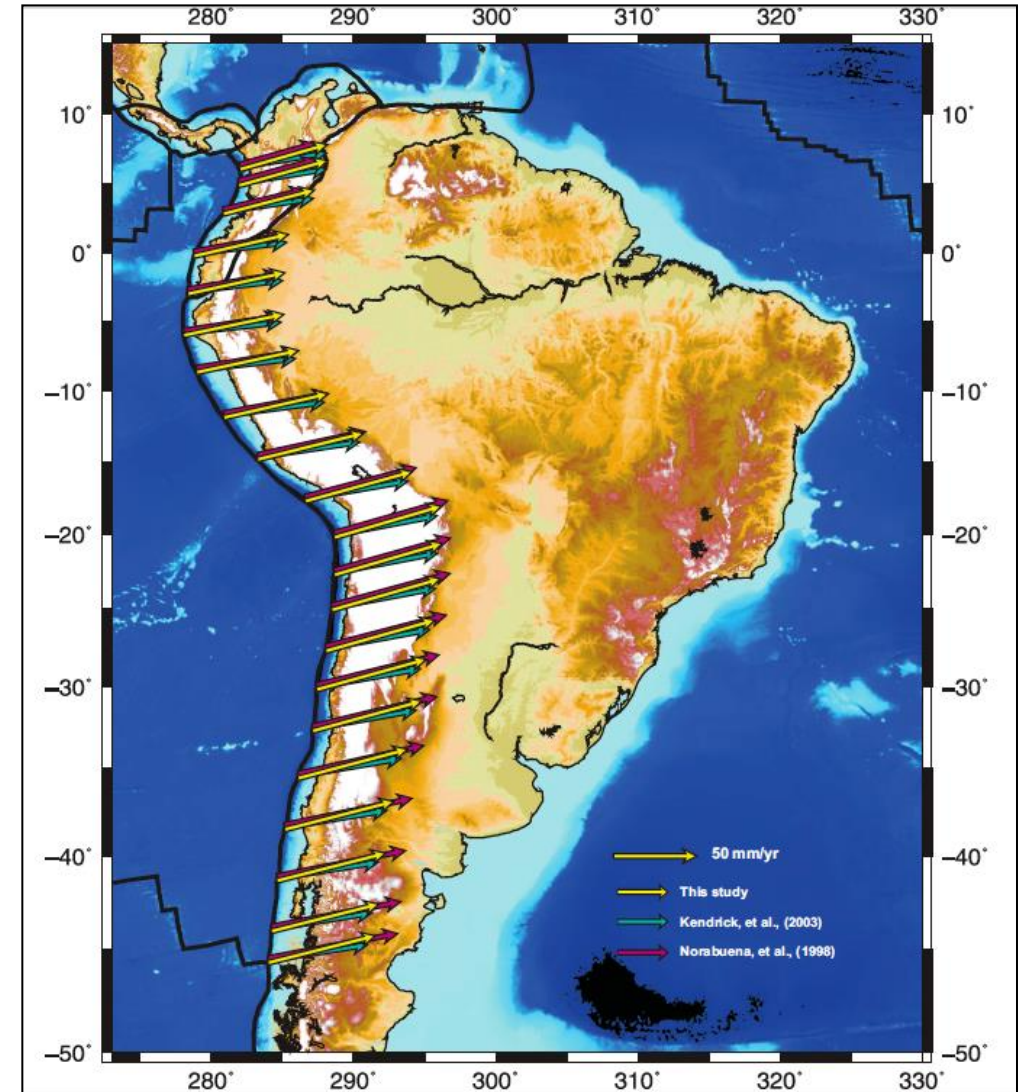
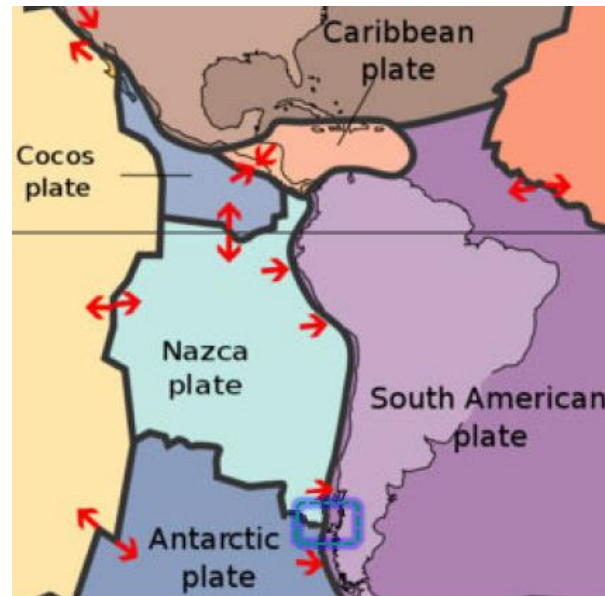
Raggio 6372 km
Pozzo superprofondo Kola 12 Km
Rapporto 531!!!!



Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

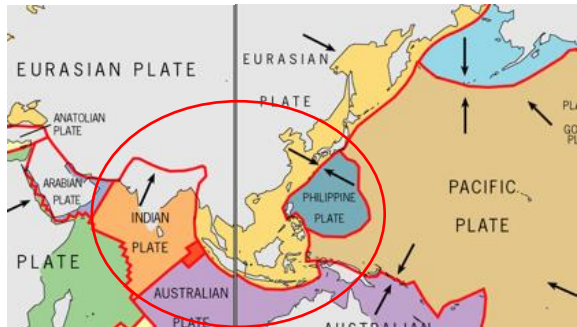
Le misure GPS, attraverso una rete di sensori, danno informazioni sulle velocità della crosta superficiale in un sistema di riferimento globale o in relazione ad un punto assunto come noto/fisso

Danno quindi informazioni sulle deformazioni in funzione del tempo



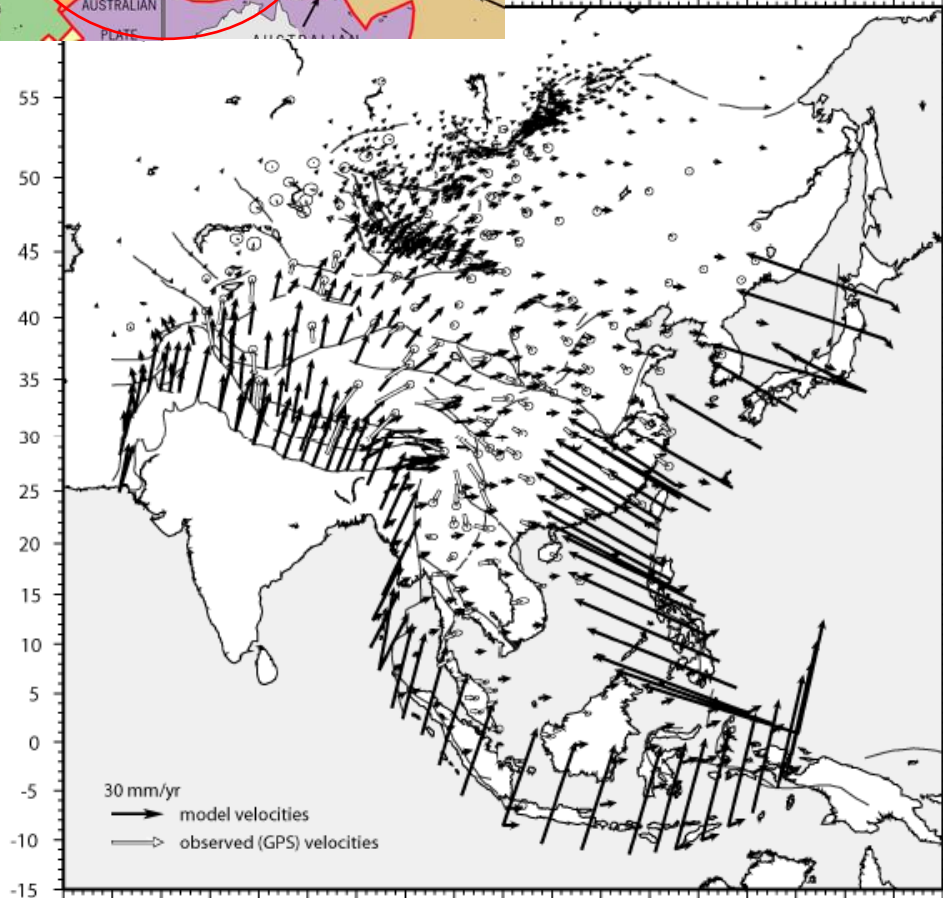
Villegas, 2009: convergenza placche Natza e Sud Americana

Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

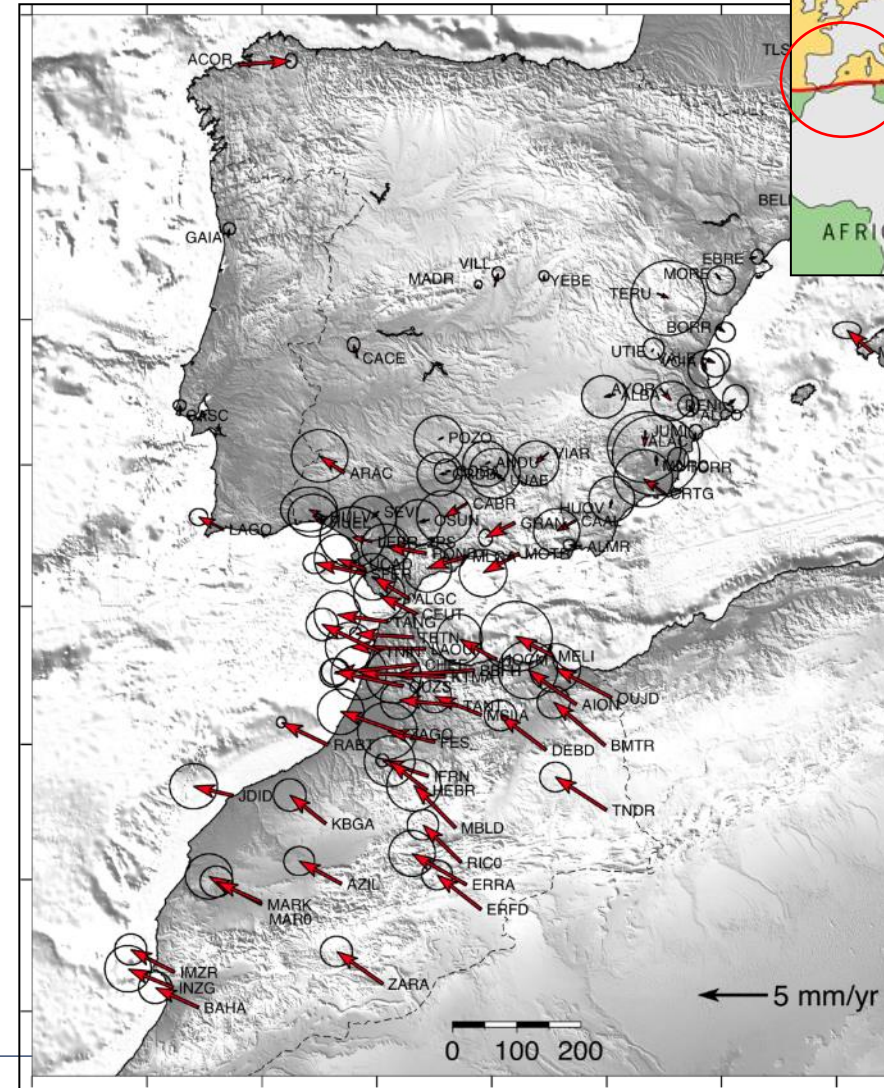


Campo di velocità a
larga scala in Asia
(confronto dati reali
e modello)

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 geochimiche di
campioni provenienti dalla
Terra e dai meteoriti

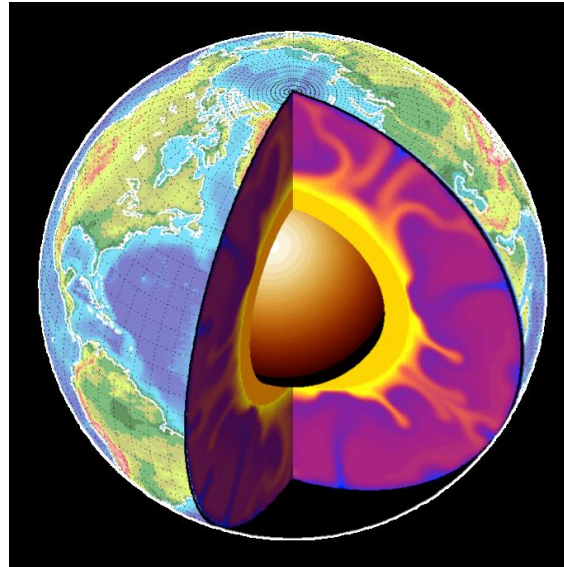
Misura e analisi del campo
gravimetrico e magnetico

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

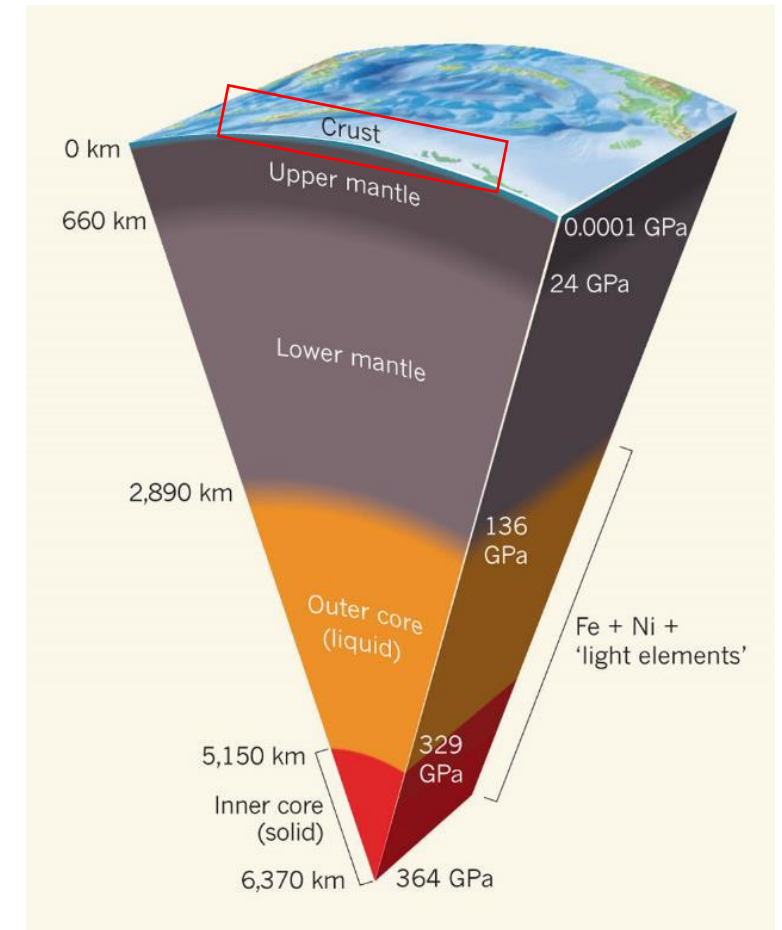
Composizione:

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

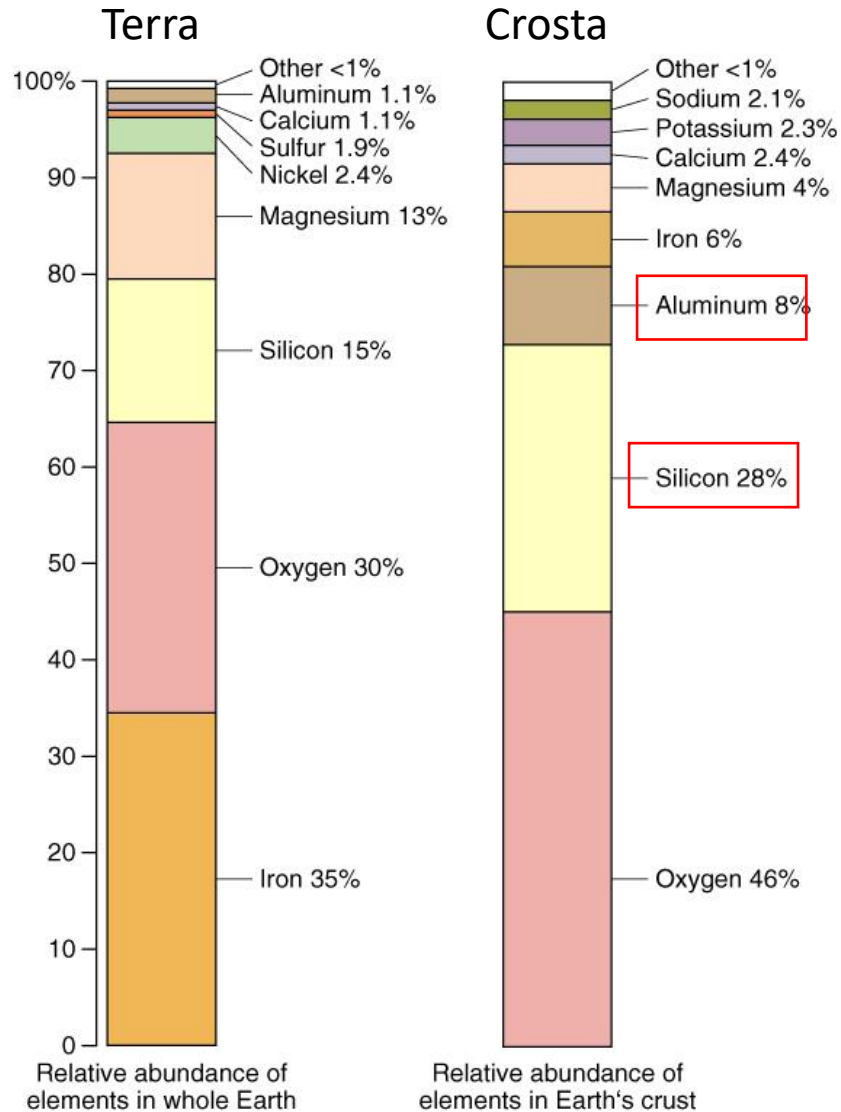
$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$1 \text{ GPa} = 1 \times 10^9 \text{ N/m}^2 :$$

$$1 \text{ GPa} = 101,971,621,000 \text{ Kgf/m}^2$$

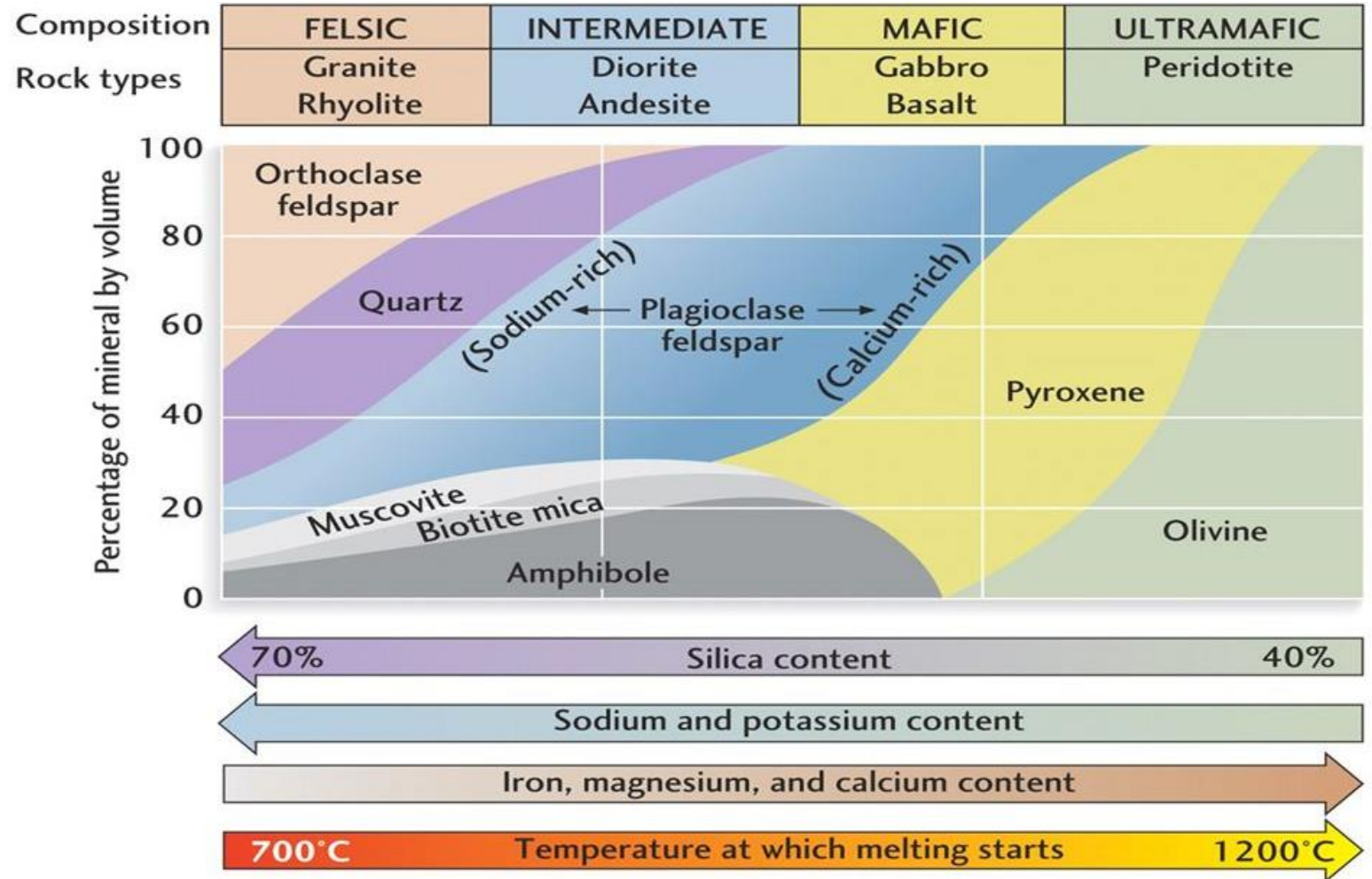


Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

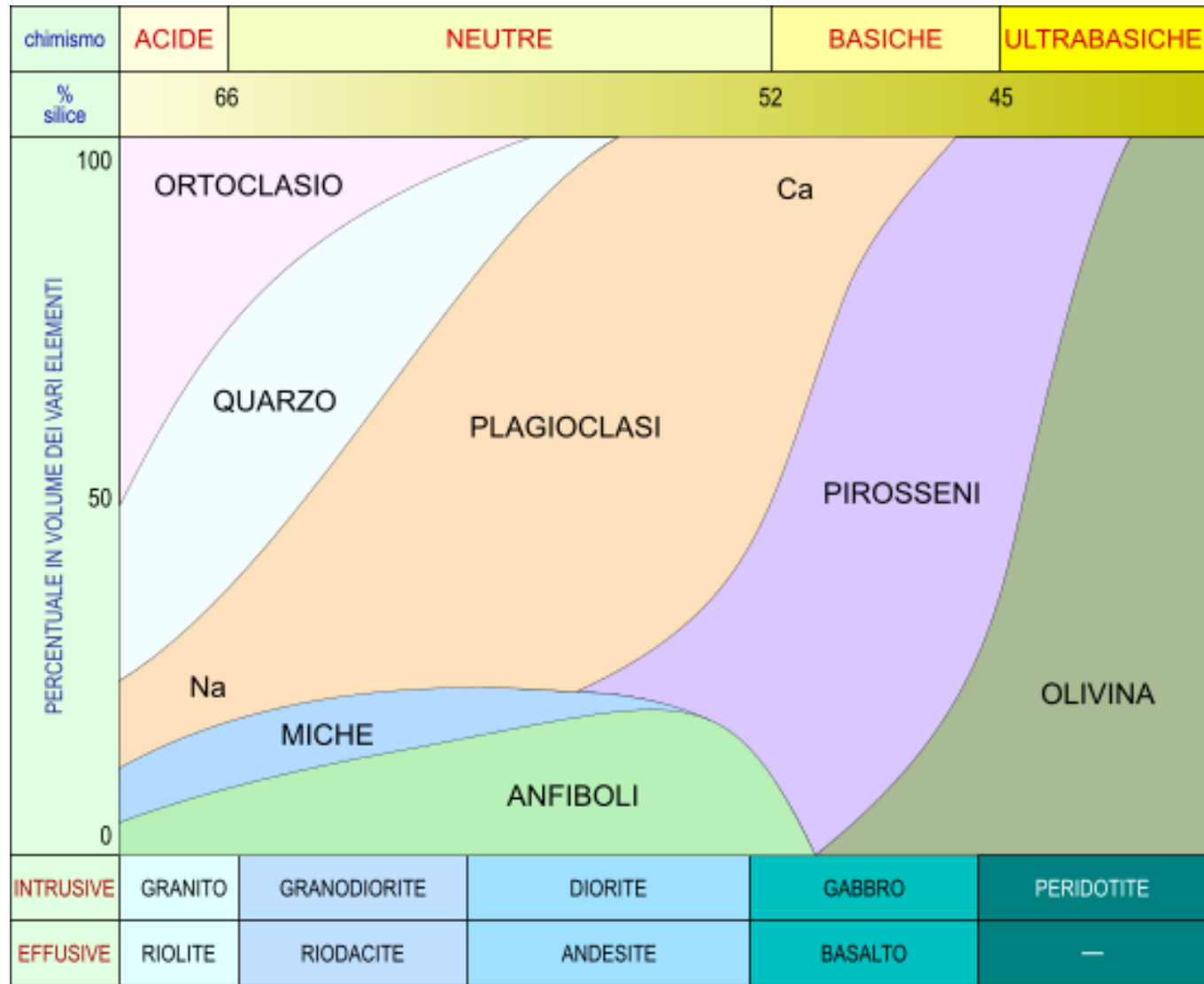




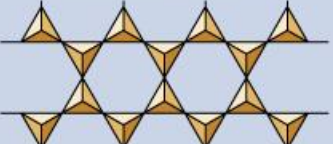
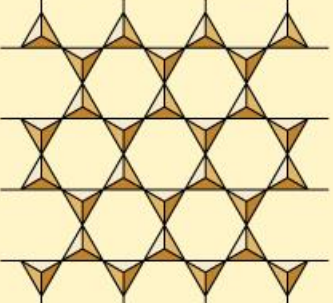
Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Abbondanza di elementi e tipologie di rocce



Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

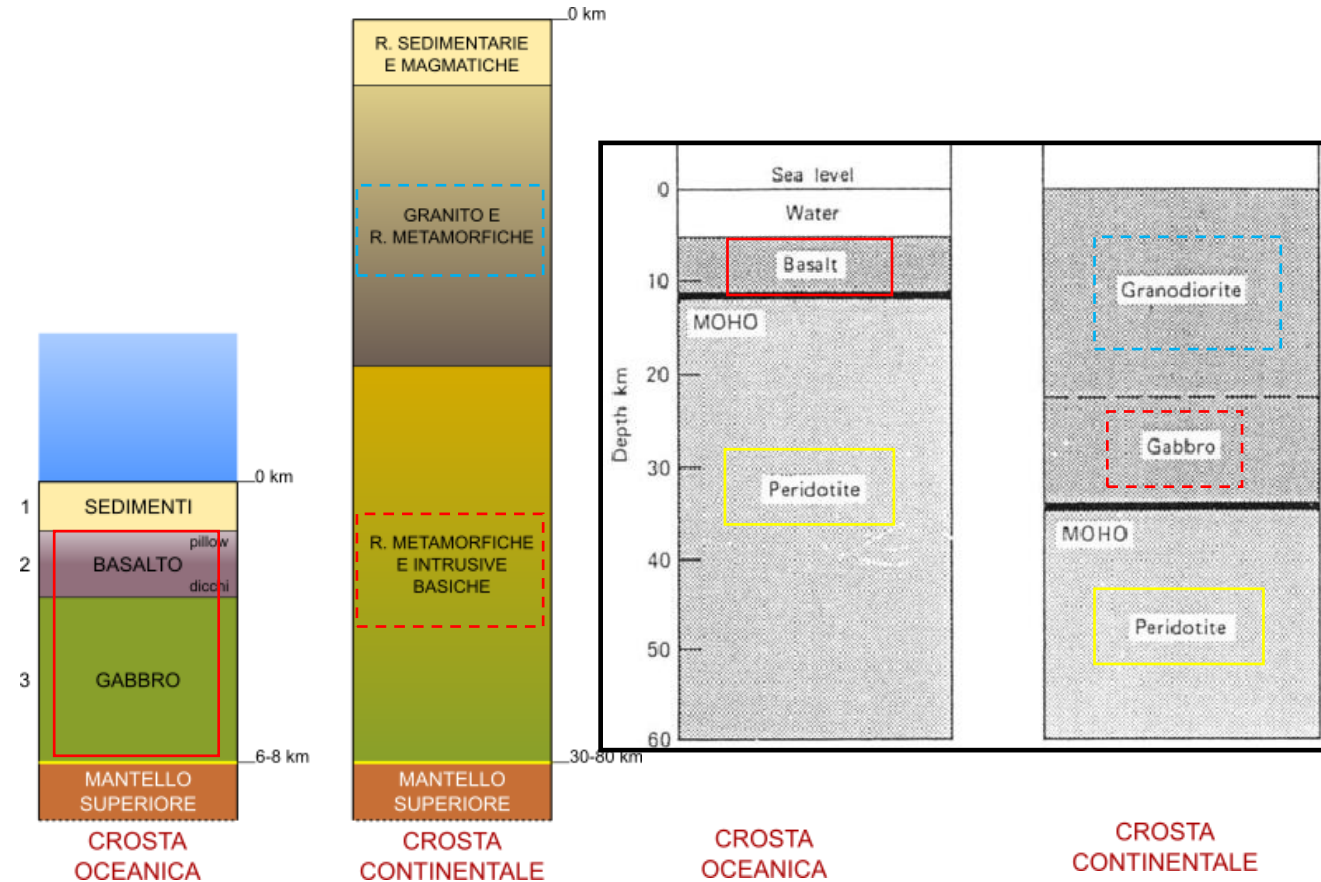
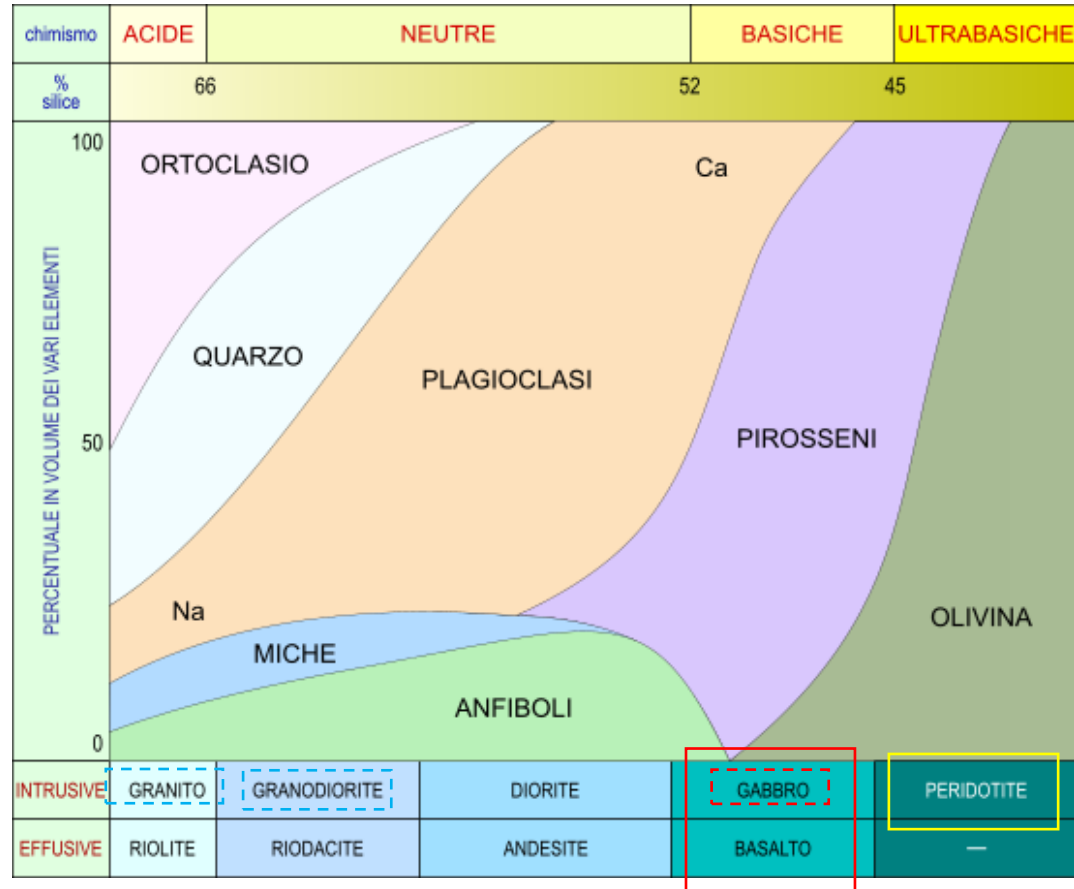


Mineral	Formula	Cleavage	Structure
Olivine	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	None	Isolated tetrahedra 
Garnet	$\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	None	
Pyroxene	$\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$	Two planes at 90°	Chain of tetrahedra 
Amphibole	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$	Two planes at 120°	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	KAlSi_3O_8	Two planes at 90°	Three-dimensional network too complex to be shown by a two-dimensional drawing
Quartz	SiO_2	None	

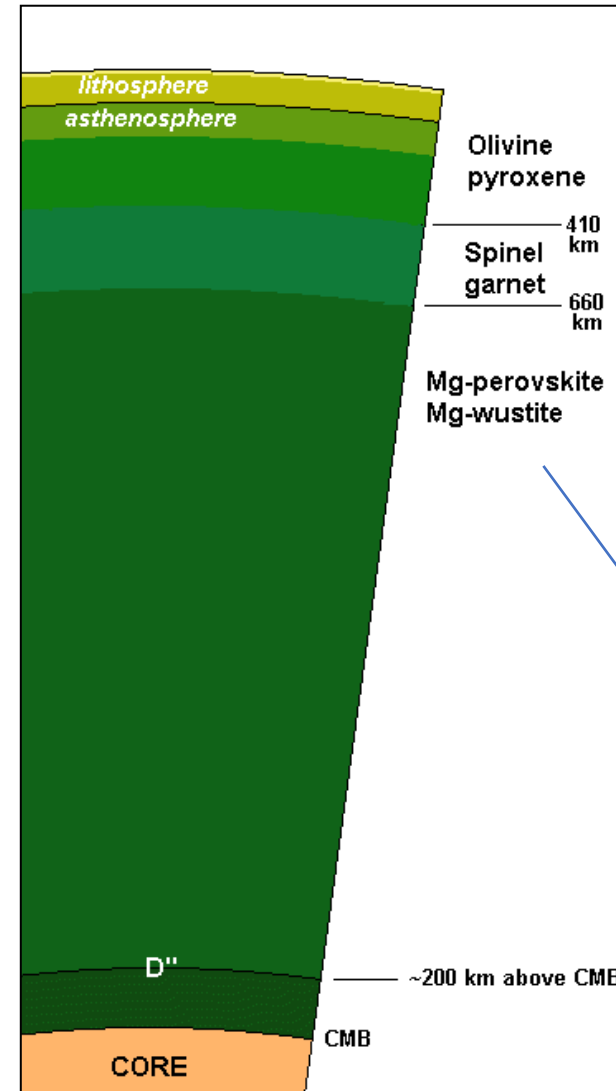
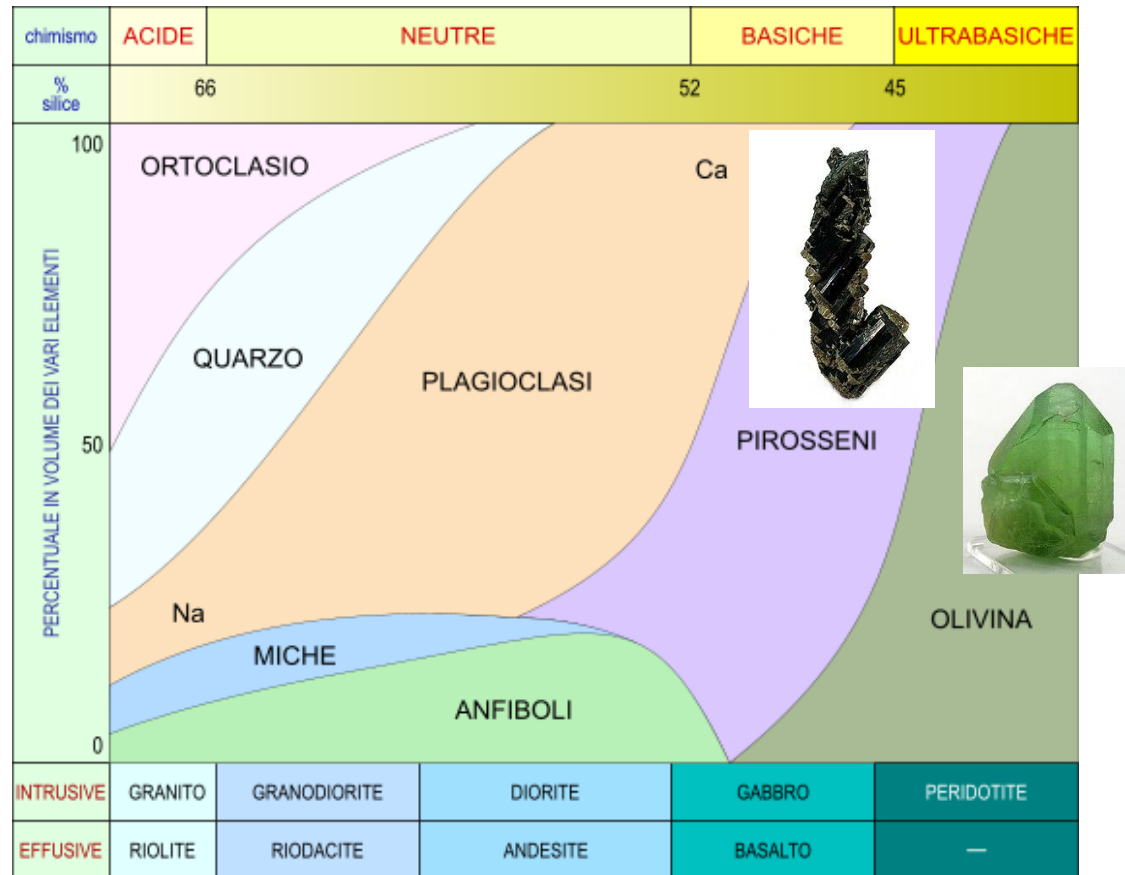
Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Abbondanza di elementi
e tipologie di rocce



Tettonica delle placche: struttura interna della Terra



Zona ricca in Mg, Fe, O e Si

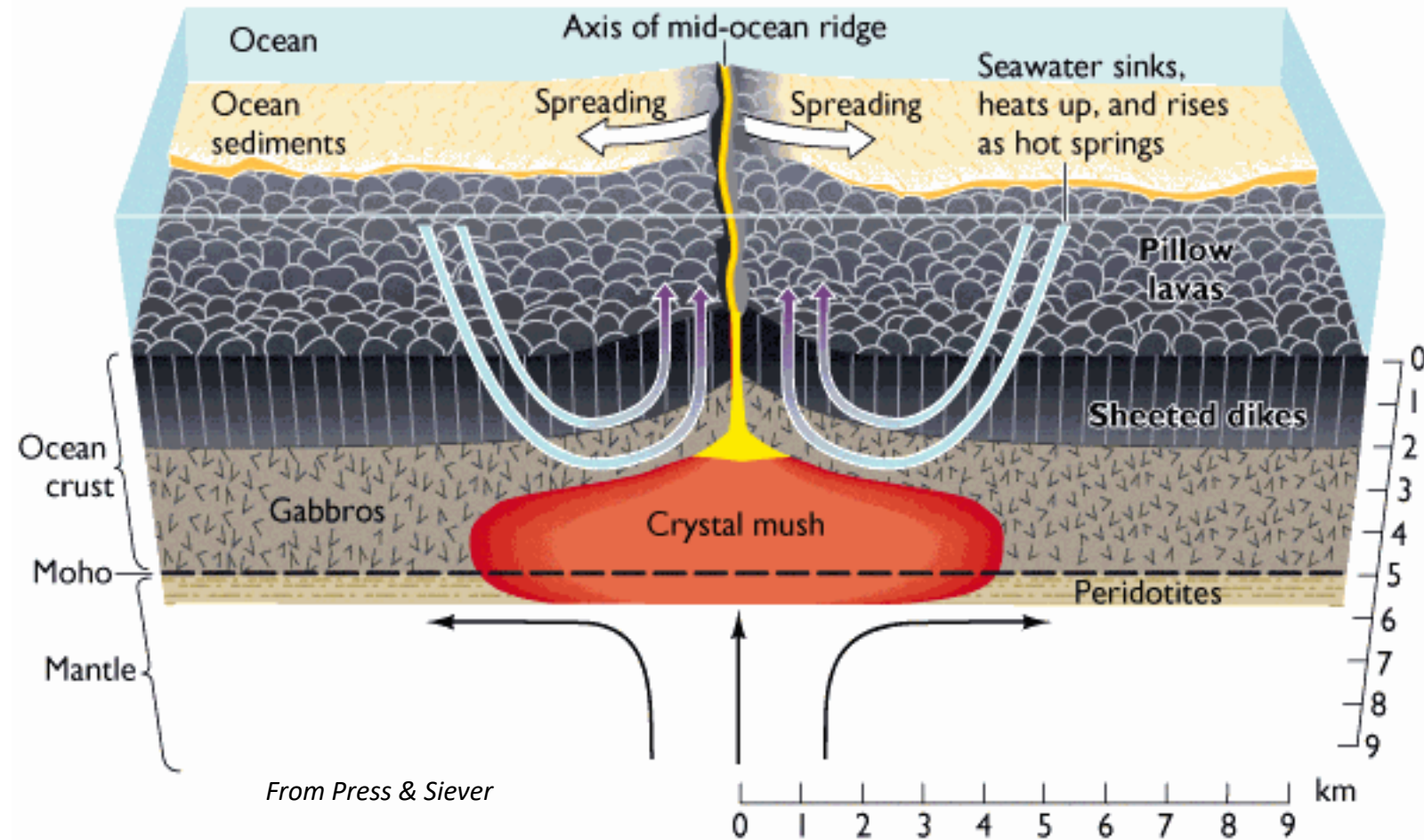
Olivina non più stabile e sostituita da minerale polimorfo a più alta densità, con una composizione simile, ma una struttura più compatta



Soluzione solida, ad alta temperatura, tra ossido di magnesio MgO (periclasi) e ossido di ferro FeO (wüstite)



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

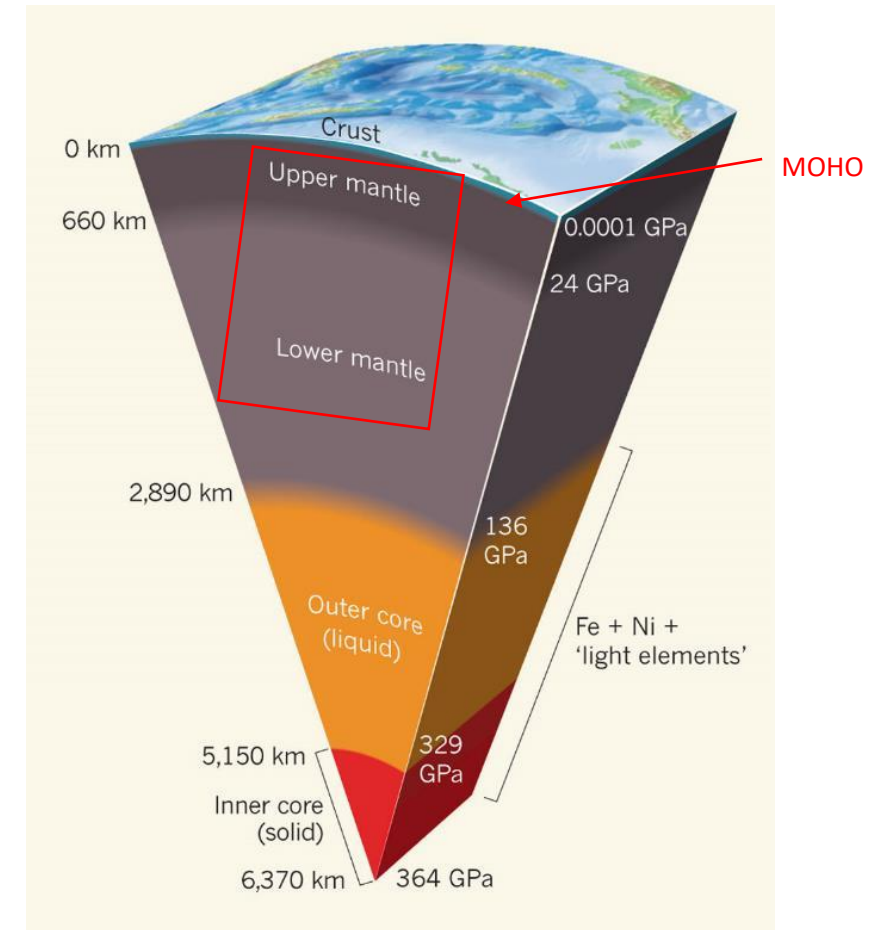
Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Composizione:

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

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

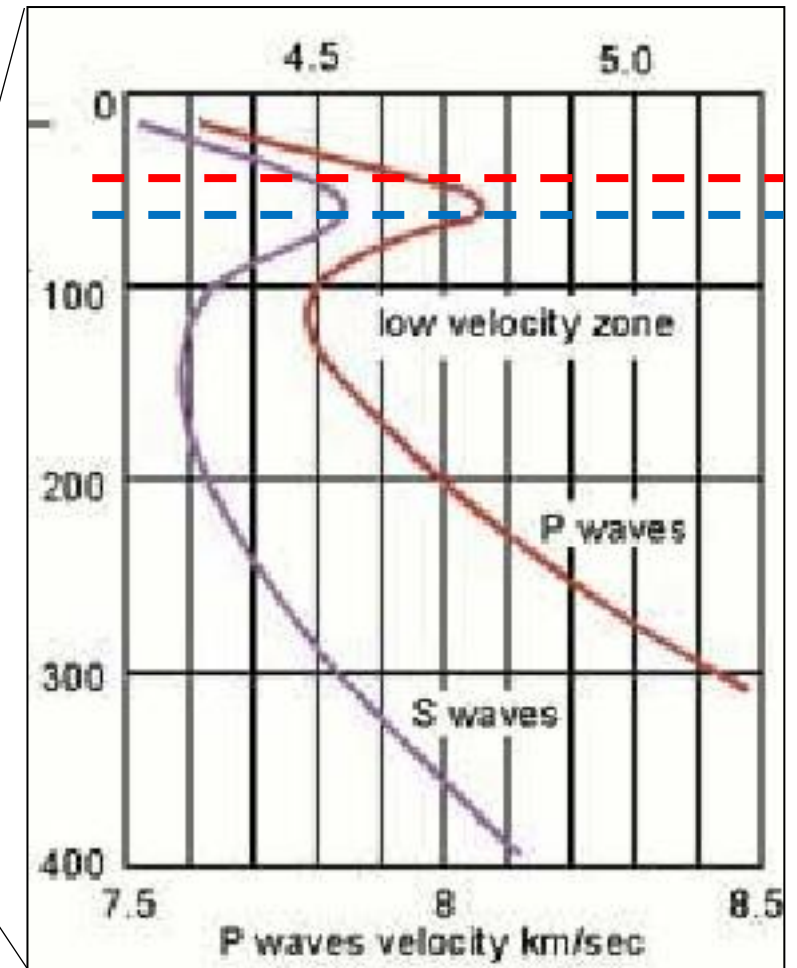
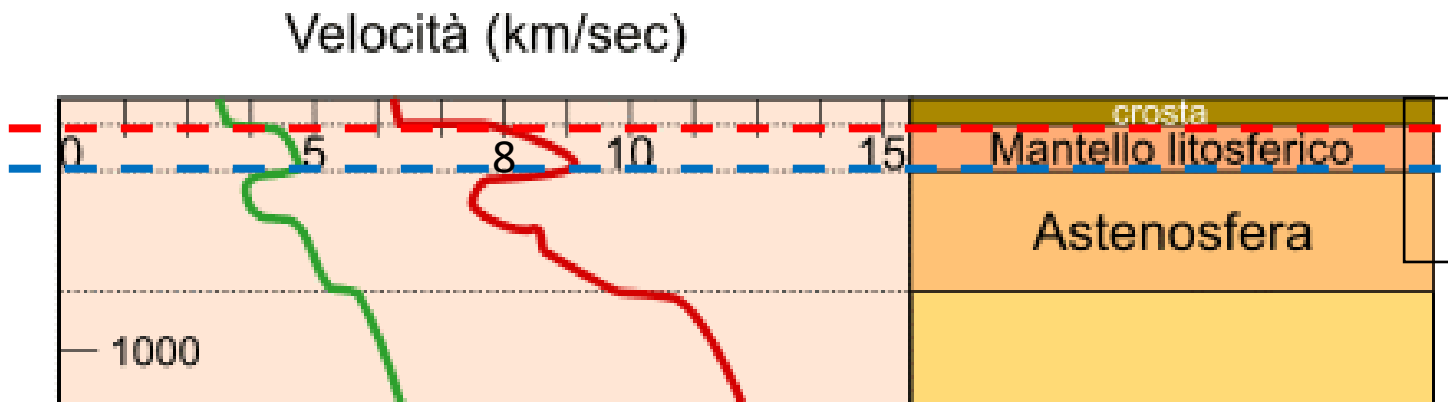
L'interfaccia Crosta/Mantello è detta **MOHO** da A. Mohorovicic che la individuò



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 una discontinuità sismica che fisica (limite crosta/mantello)

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

Velocità (km/sec)

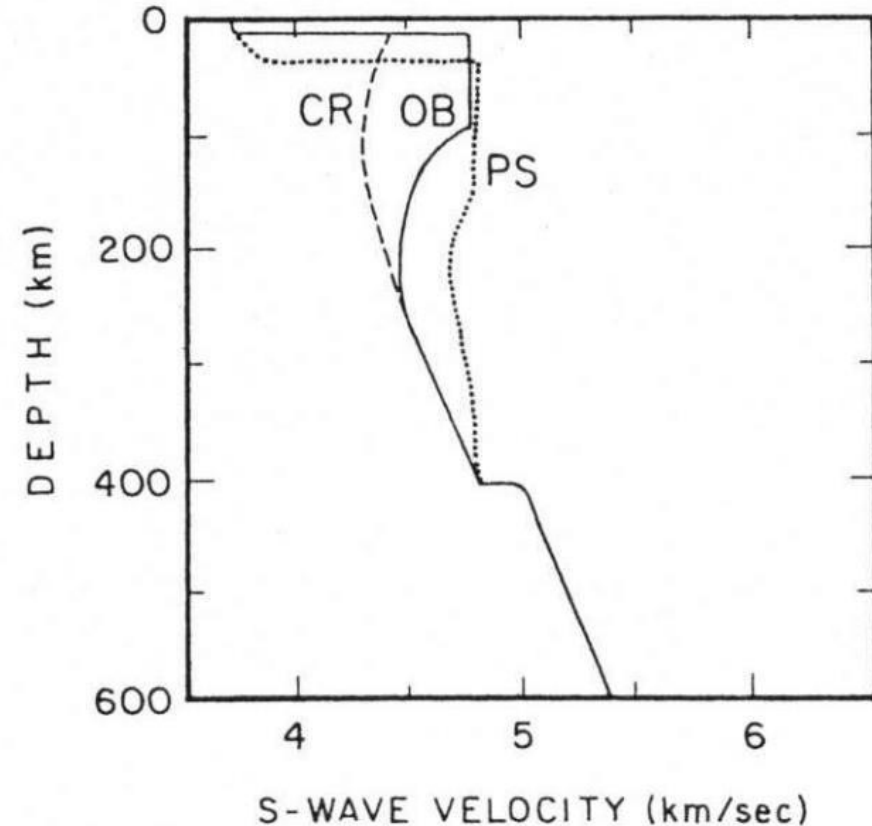
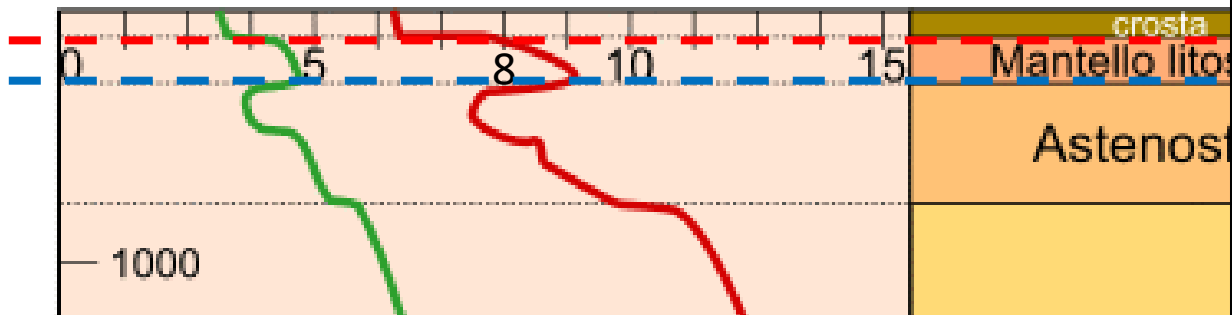
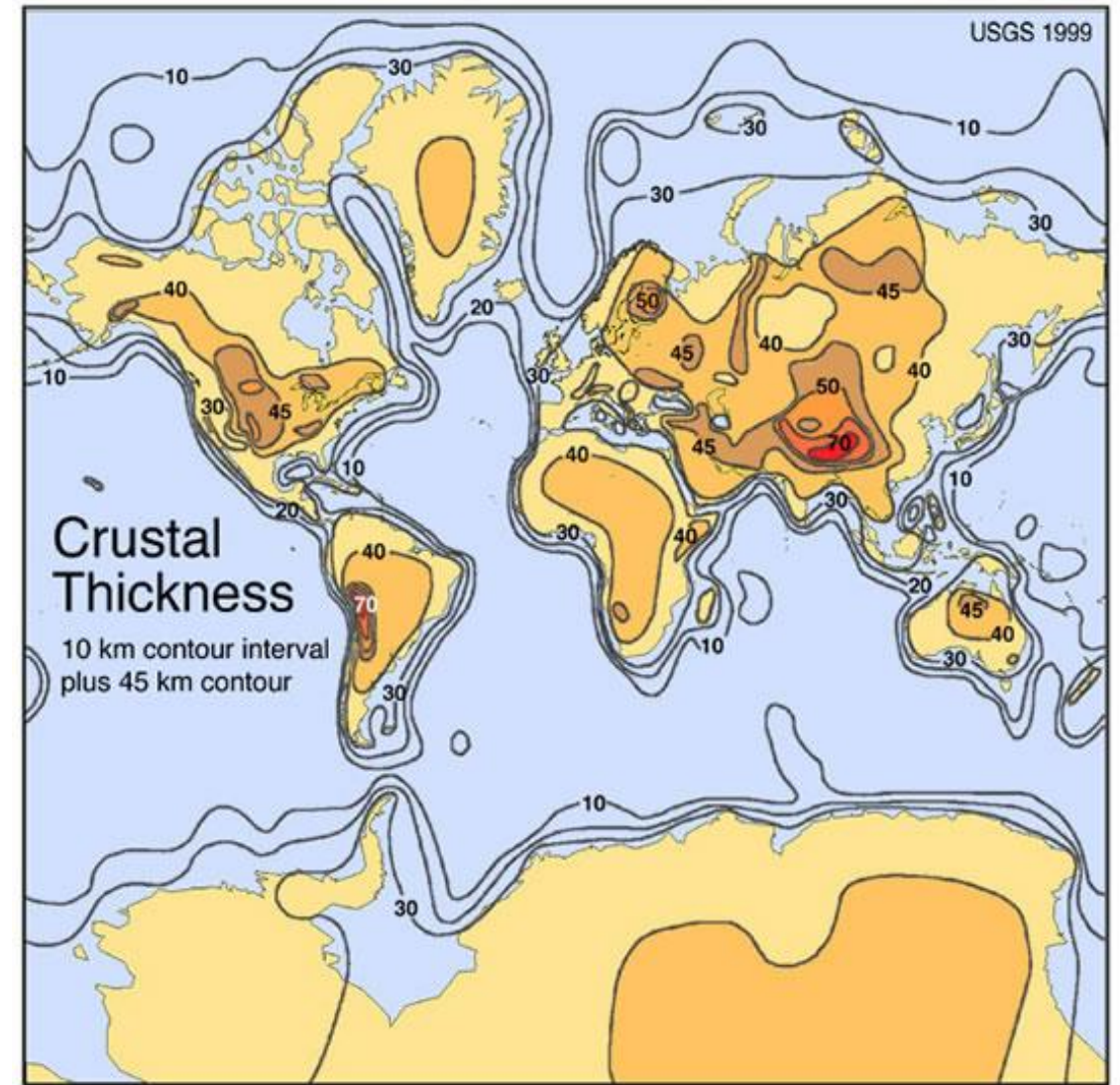
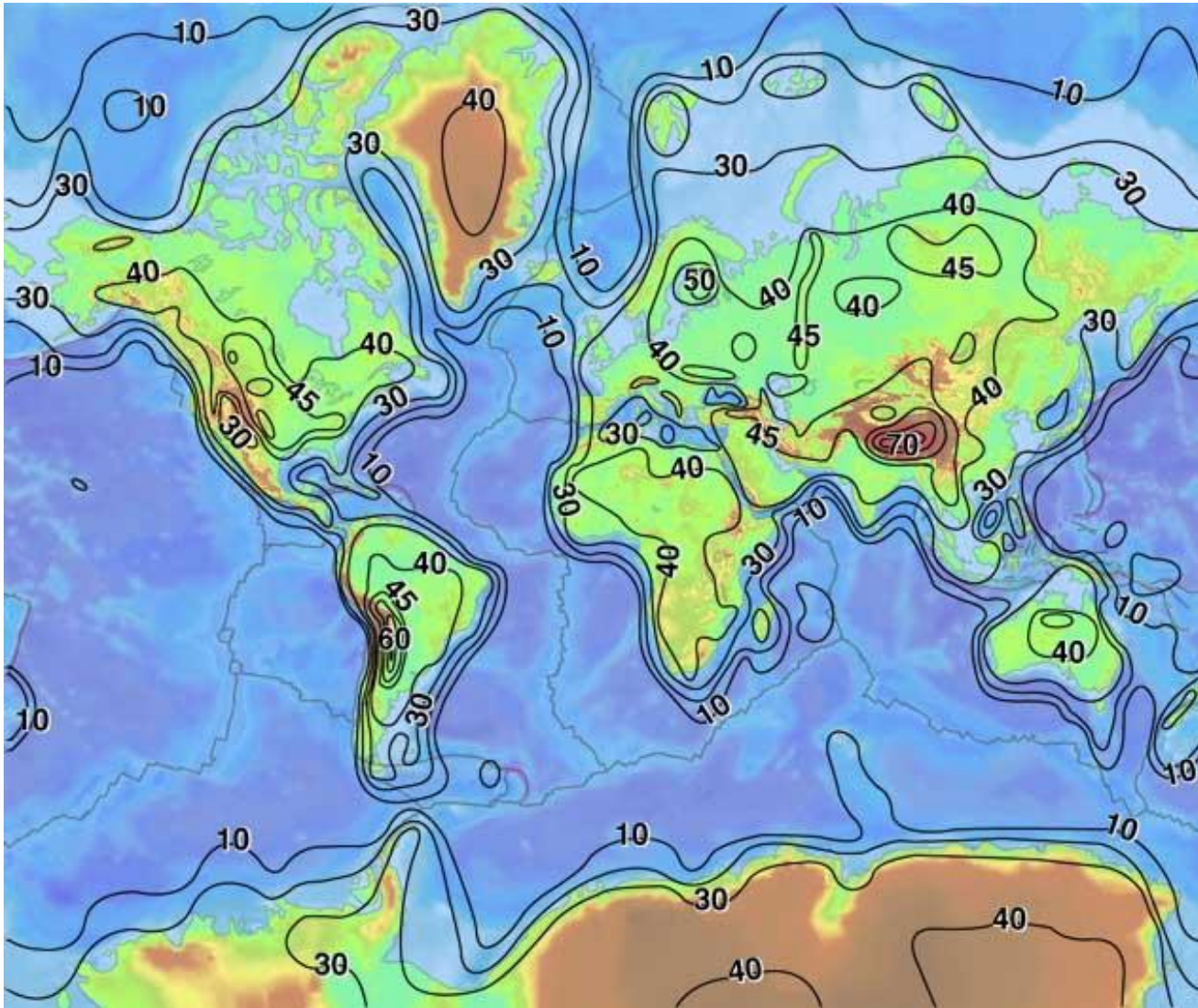


Figure 4.2 S-wave velocity distribution in the upper mantle beneath three crustal types: CR, continental rift; OB, ocean basin; and PS, Proterozoic shield or platform. After Grand and Helmberger (1984).

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 Reyleigh, Lord Rutherford)

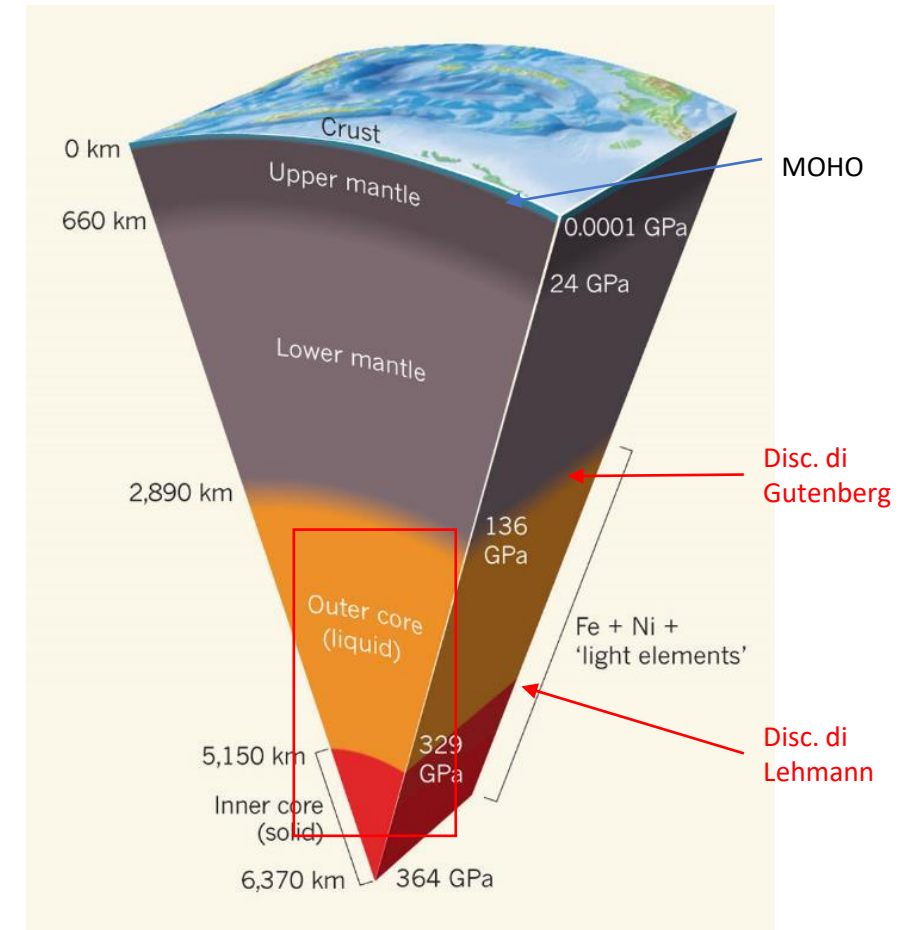
Mantello (ricco di silicati e magnesio, così chiamato da E. Wiecher)

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

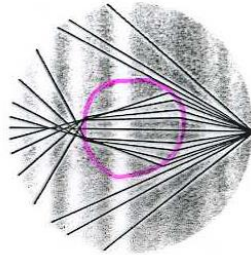
The Constitution of the Interior of the Earth, as Revealed by Earthquakes. By Richard Dixon Oldham, F.G.S. (Read February 21, 1906)

I. Introductory.

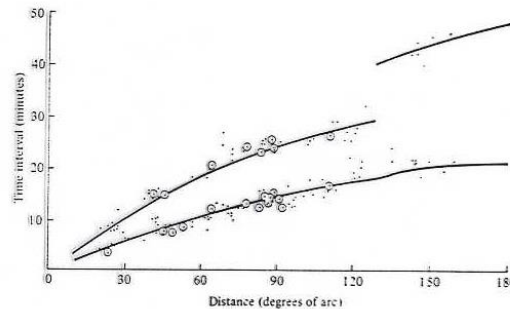
Of all regions of the earth none invites speculation more than that which lies beneath our feet, and in none is speculation more dangerous; yet, apart from speculation, it is little that we can say regarding the constitution of the interior of the earth. We know, with sufficient accuracy for most purposes, 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.]

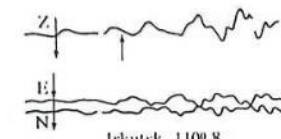
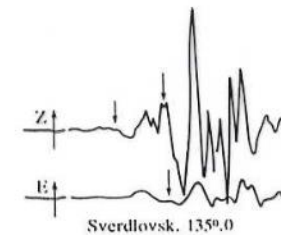
Box 1.4 The Seismological Discovery of the Earth's Inner Core

P'

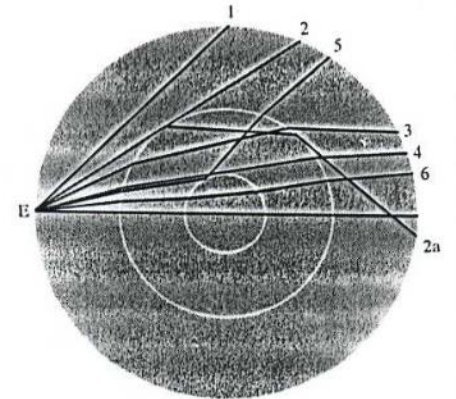
By I. Lehmann

An explanation of the P'_1 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° just touches the inner core.



June 16, 1929, P'_1 records



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

From I. Lehmann, " P'_1 ," 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

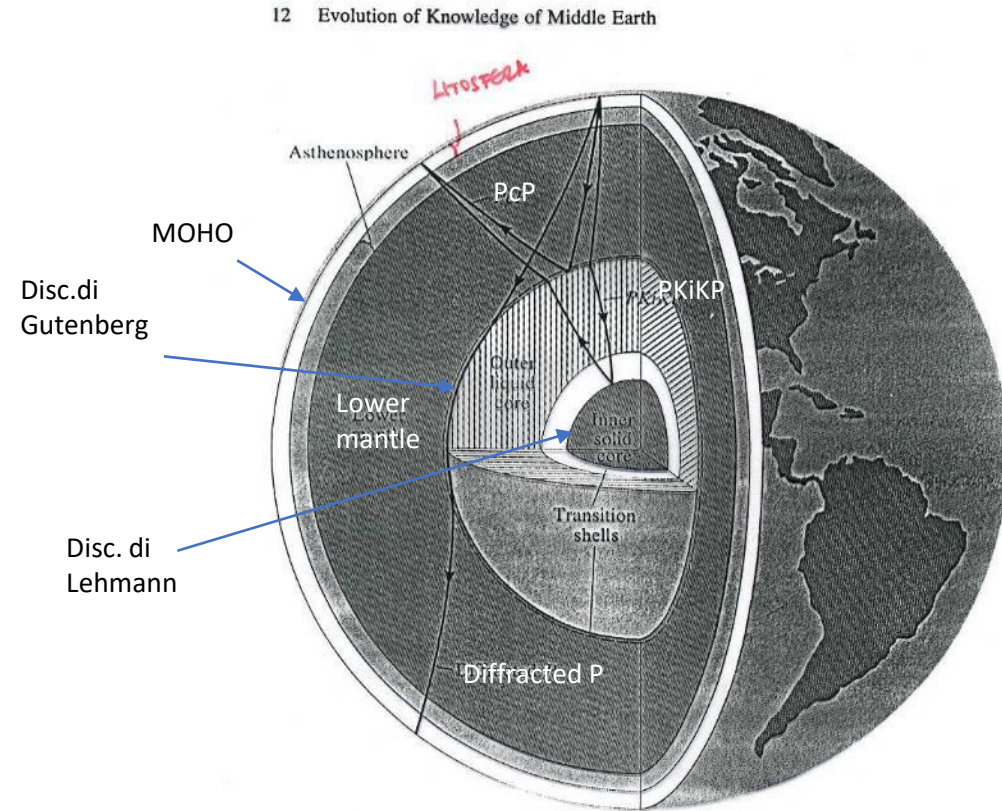
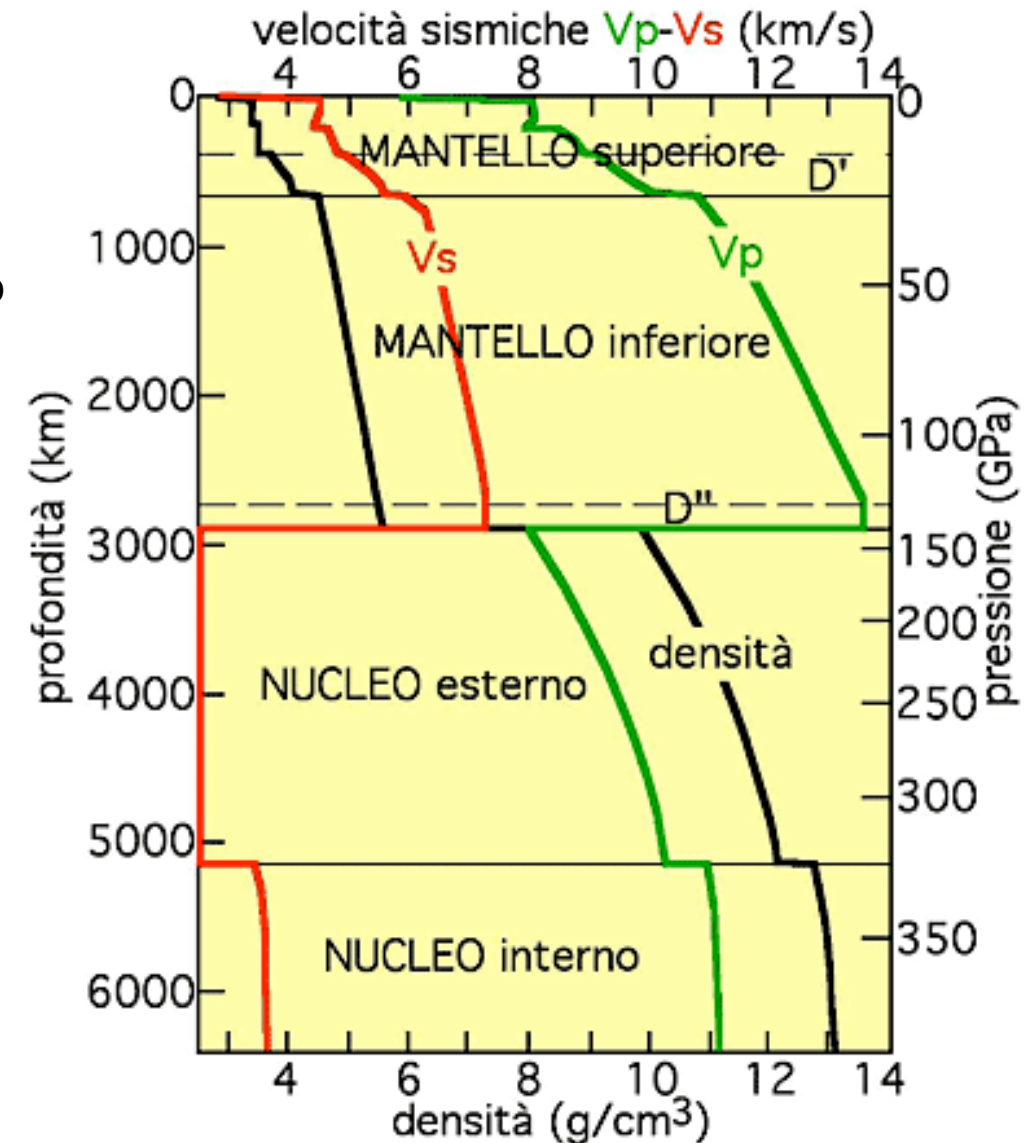
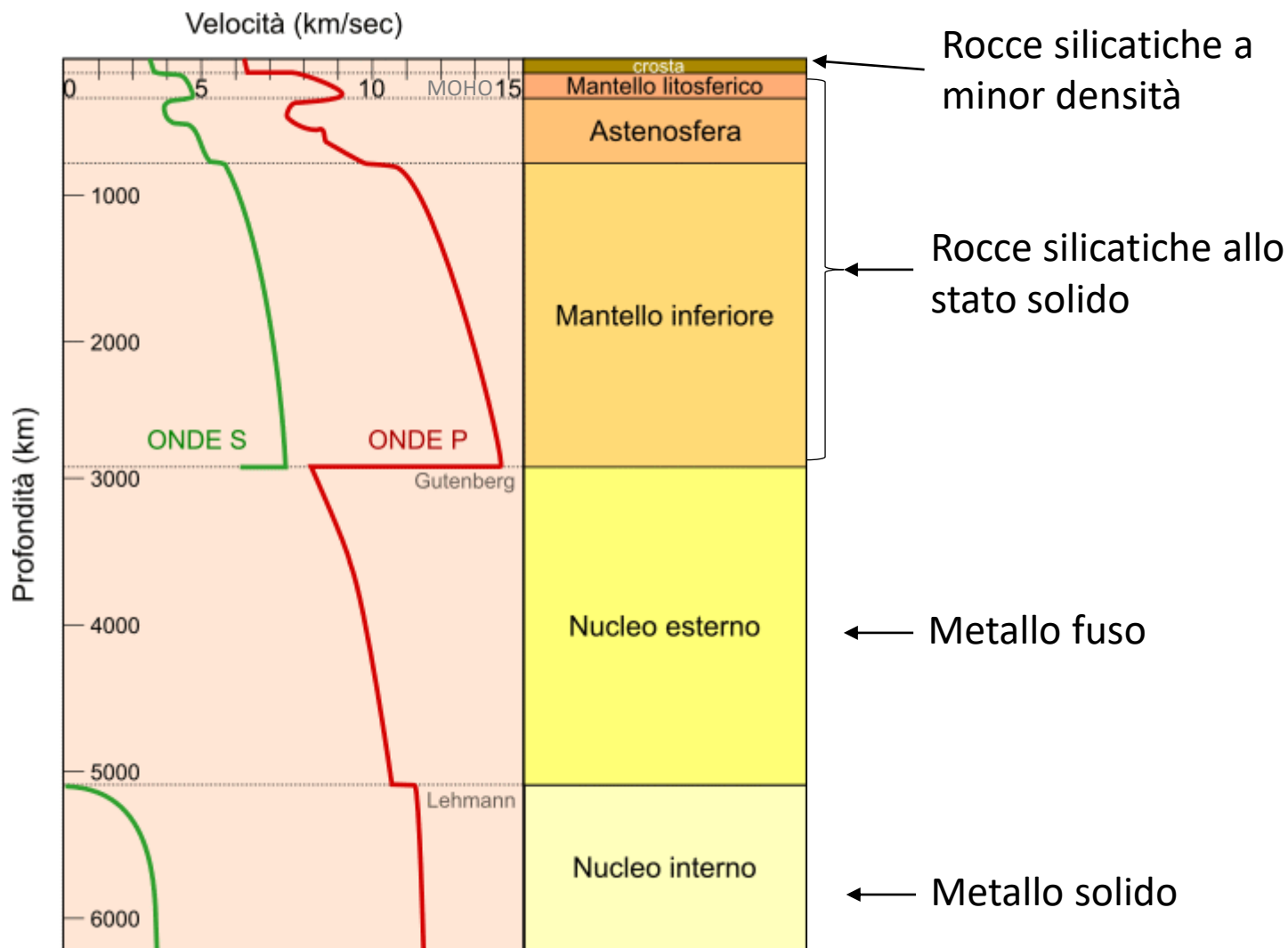
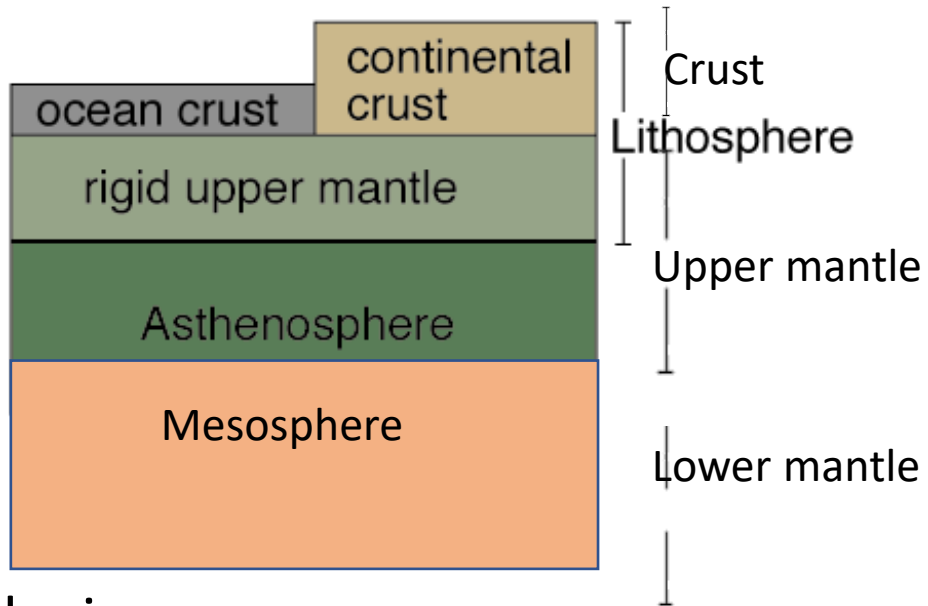


Figure 1.3 A cross section of the Earth based on the most recent seismological evidence. The outer shell consists of a rocky mantle that has structural discontinuities in its upper part and at its lower boundary that are capable of reflecting or modifying earthquake waves. Below the mantle an outer fluid 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

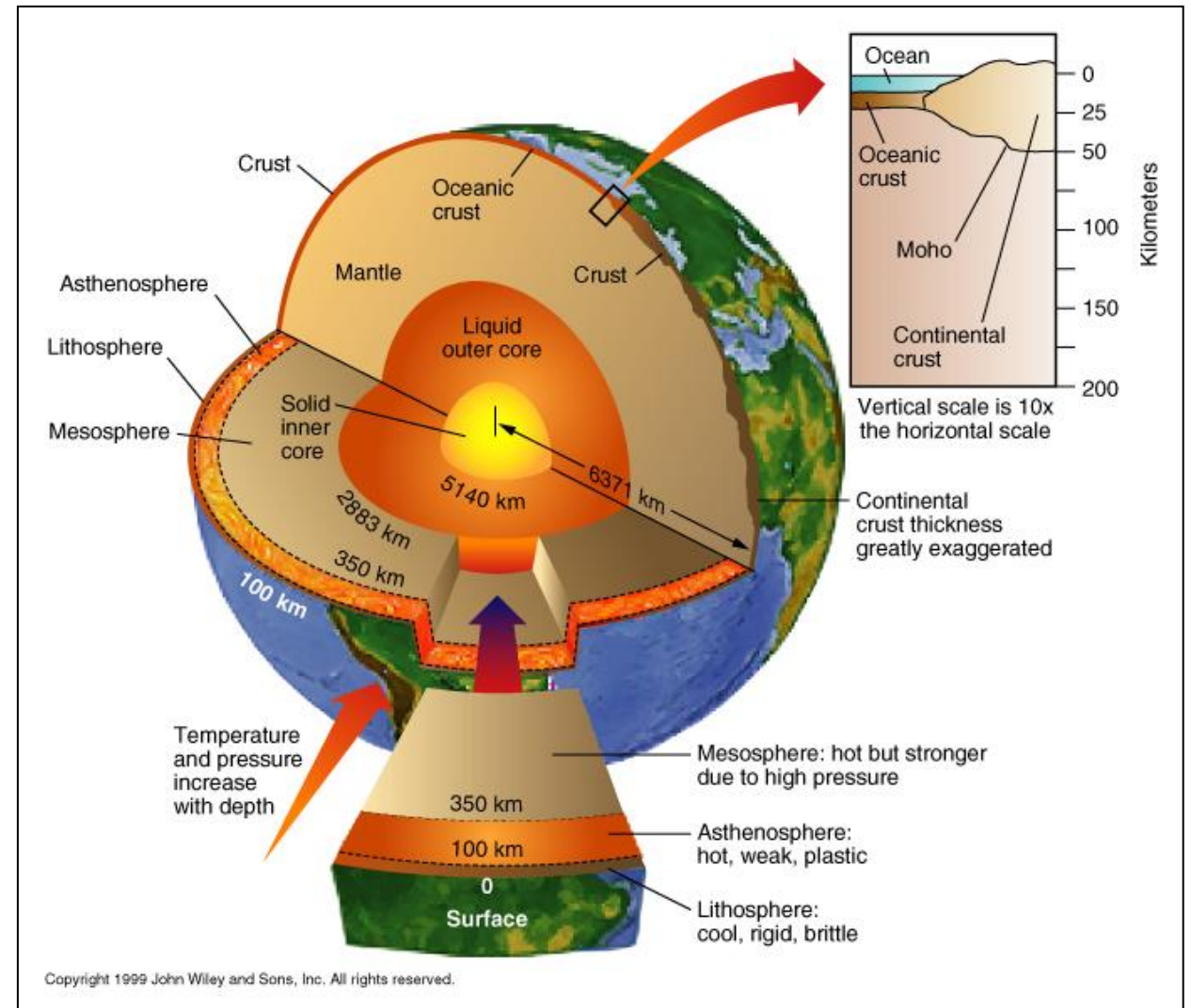


Reologia:

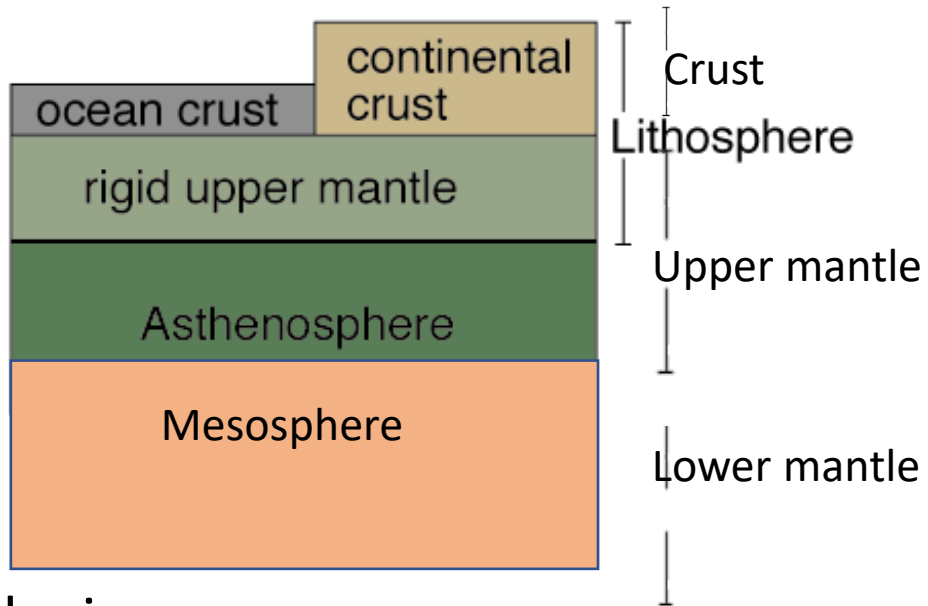
Litosfera: si comporta come un corpo rigido, frammentato in porzioni dette placche e in moto reciproco l'una con l'altra

Astenosfera: soggetta a deformazioni duttili

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



Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

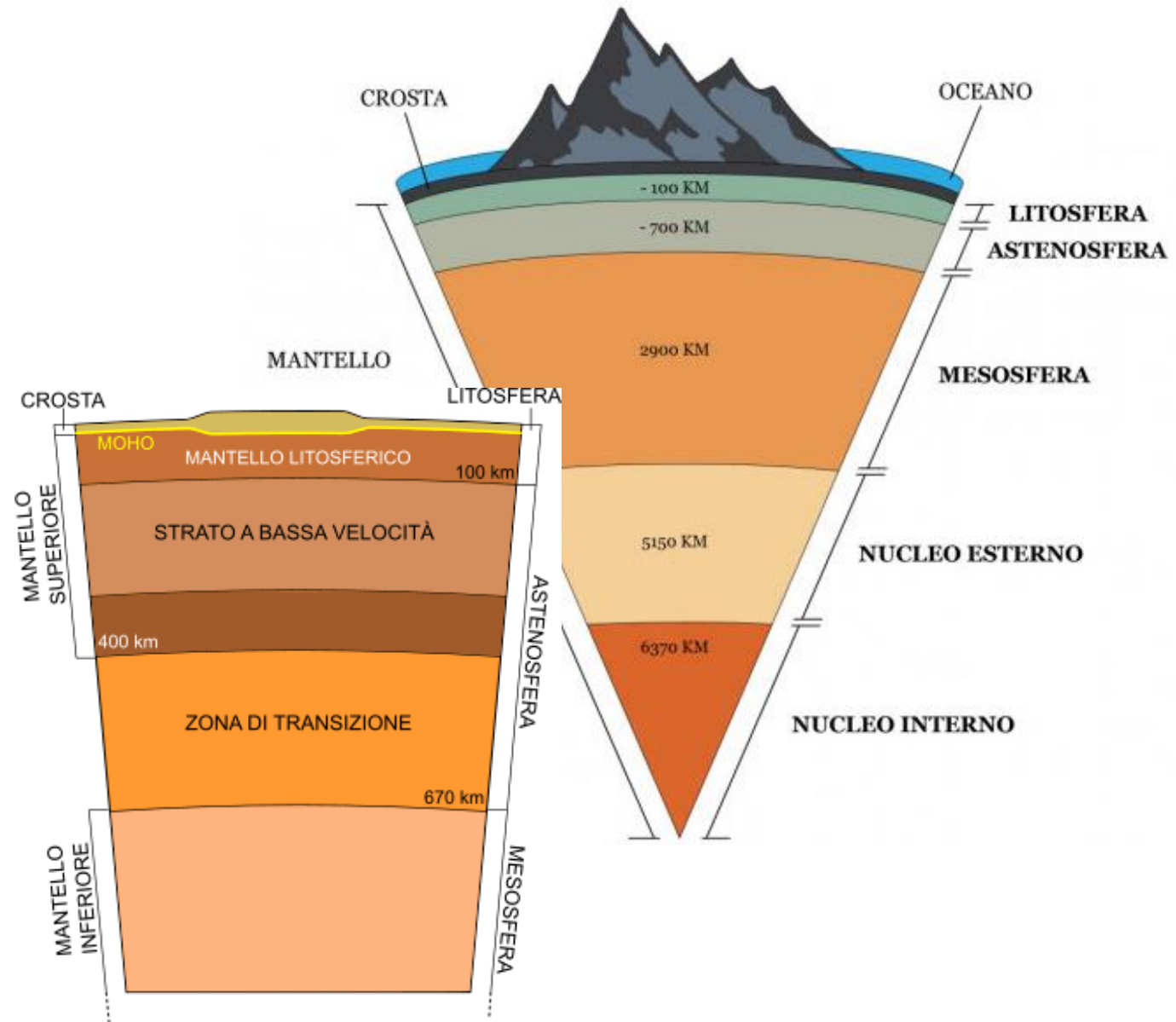


Reologia:

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

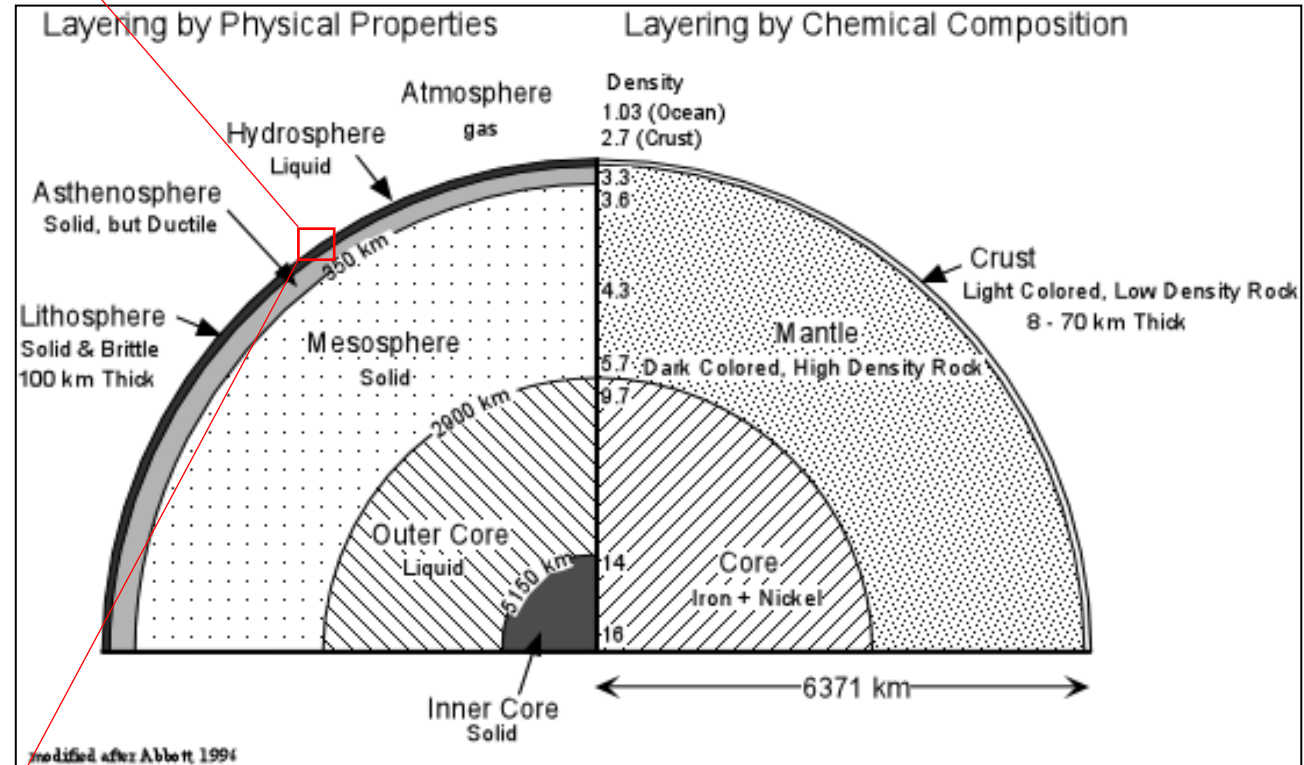
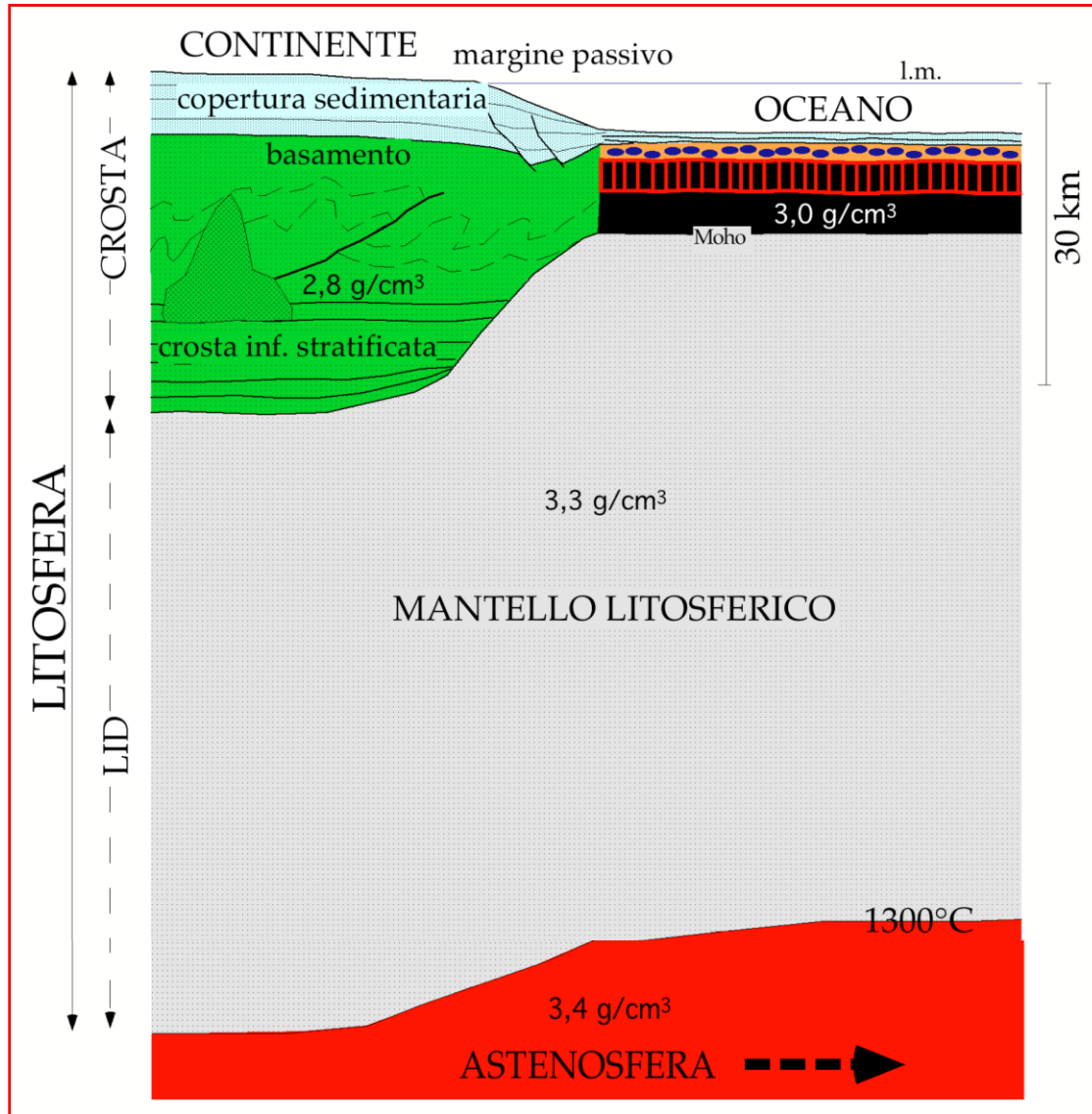
Astenosfera: soggetta a deformazioni duttili

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")

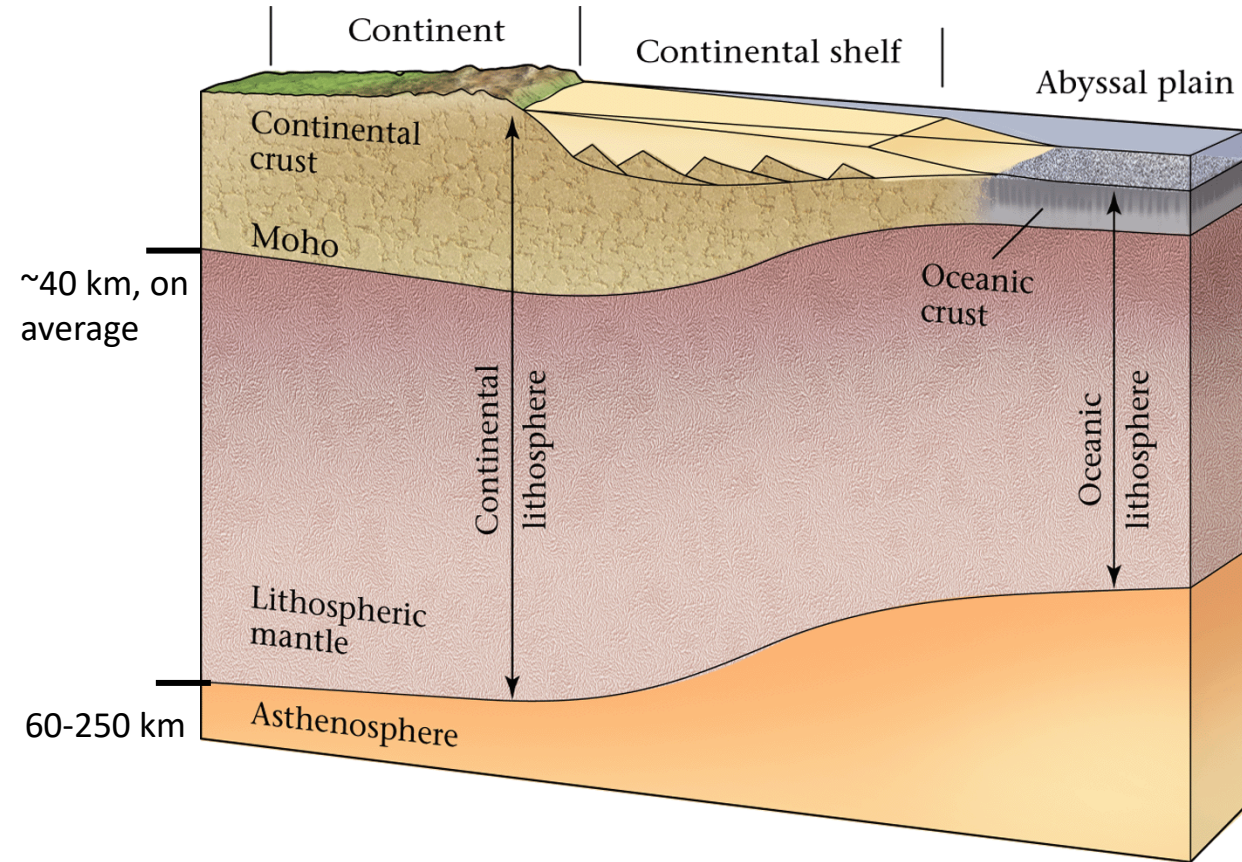
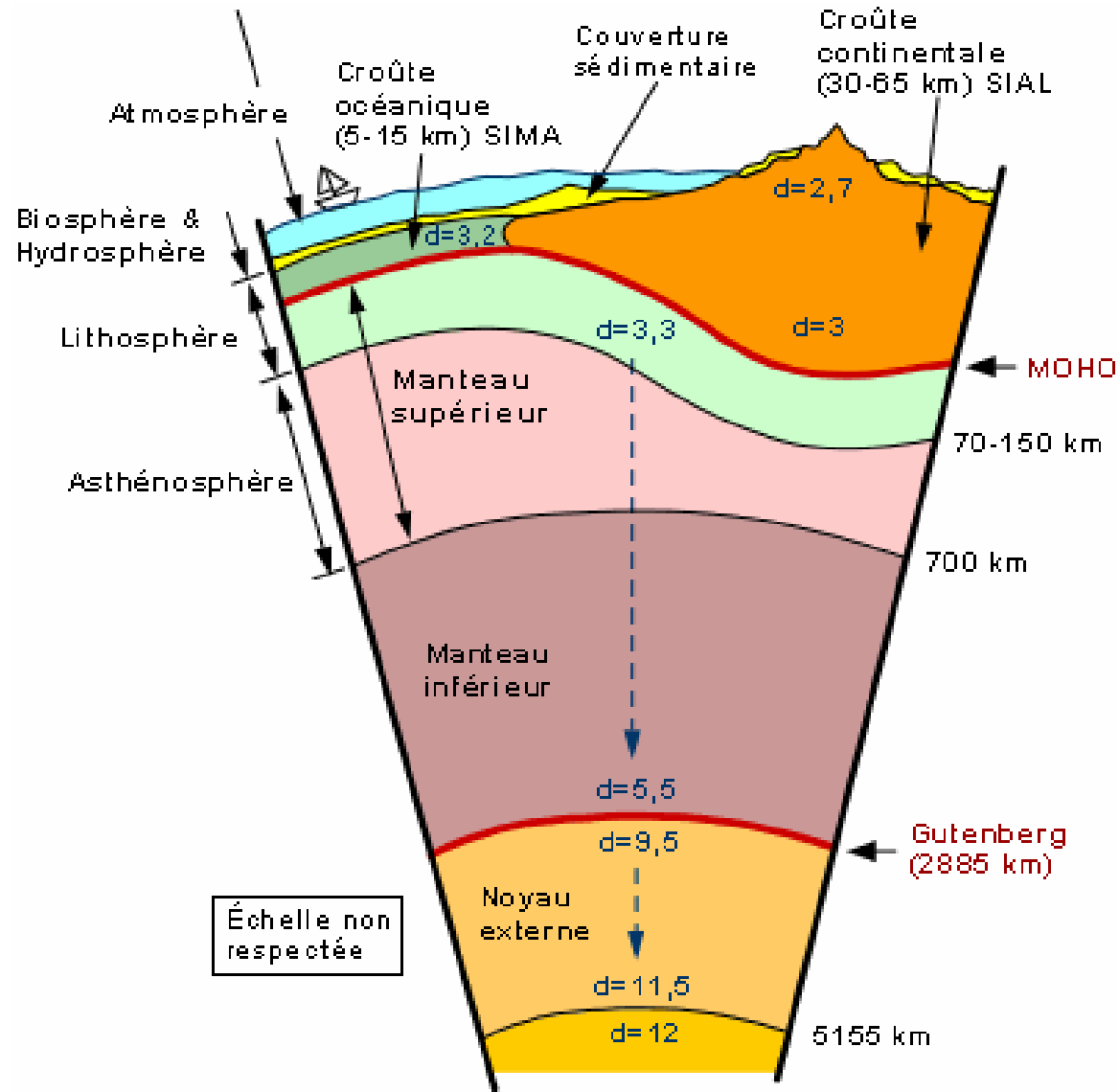


Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Variazioni di proprietà
fisiche e chimiche



Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

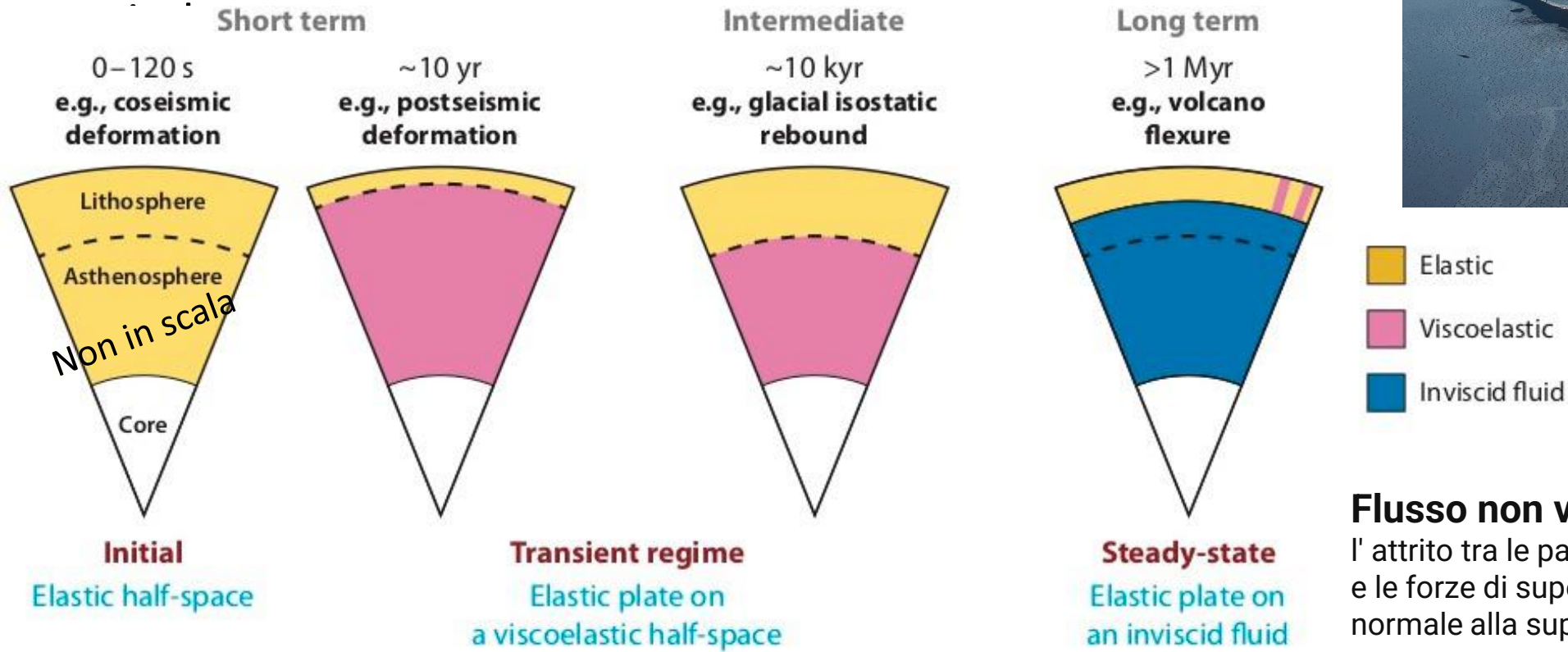
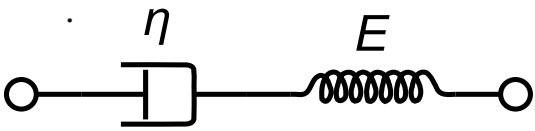


Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

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

Modello di Maxwell:

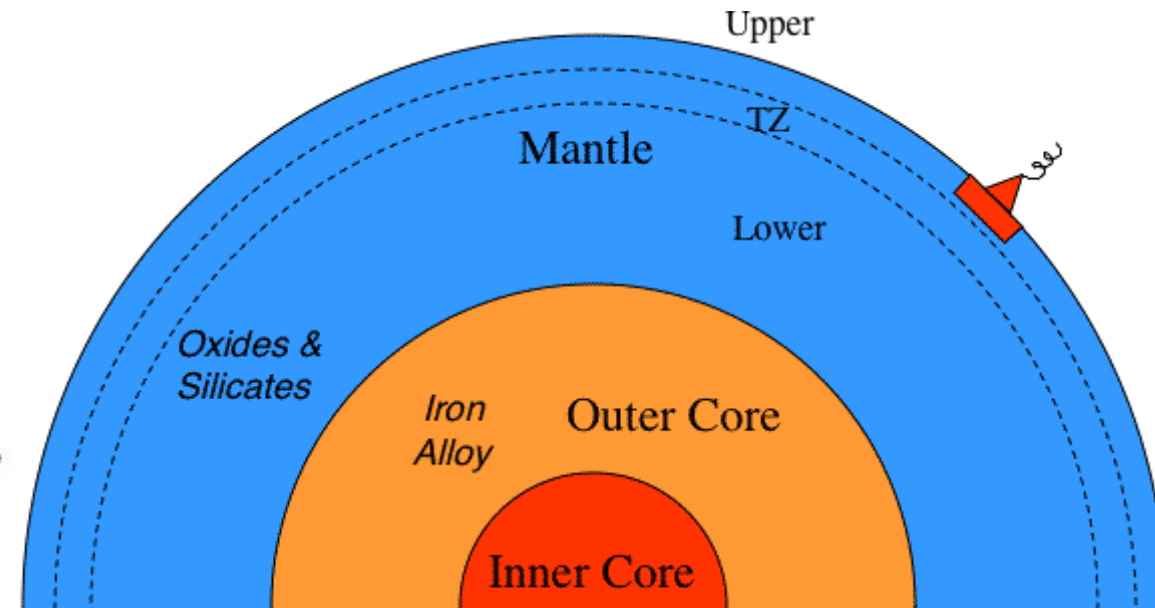
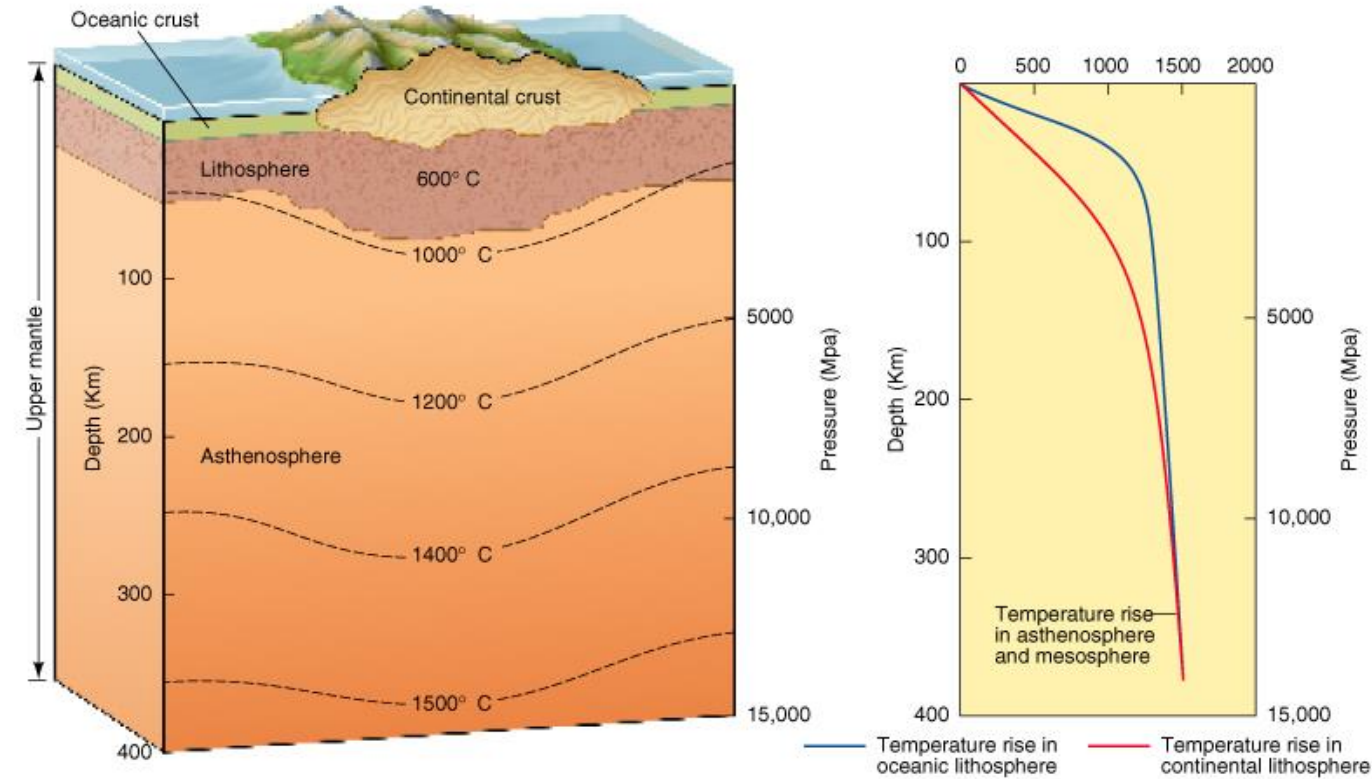


Flusso non viscoso:

l' attrito tra le particelle di fluido può essere trascurato e le forze di superficie hanno solo la componente normale alla superficie.

Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

Variazioni di temperatura

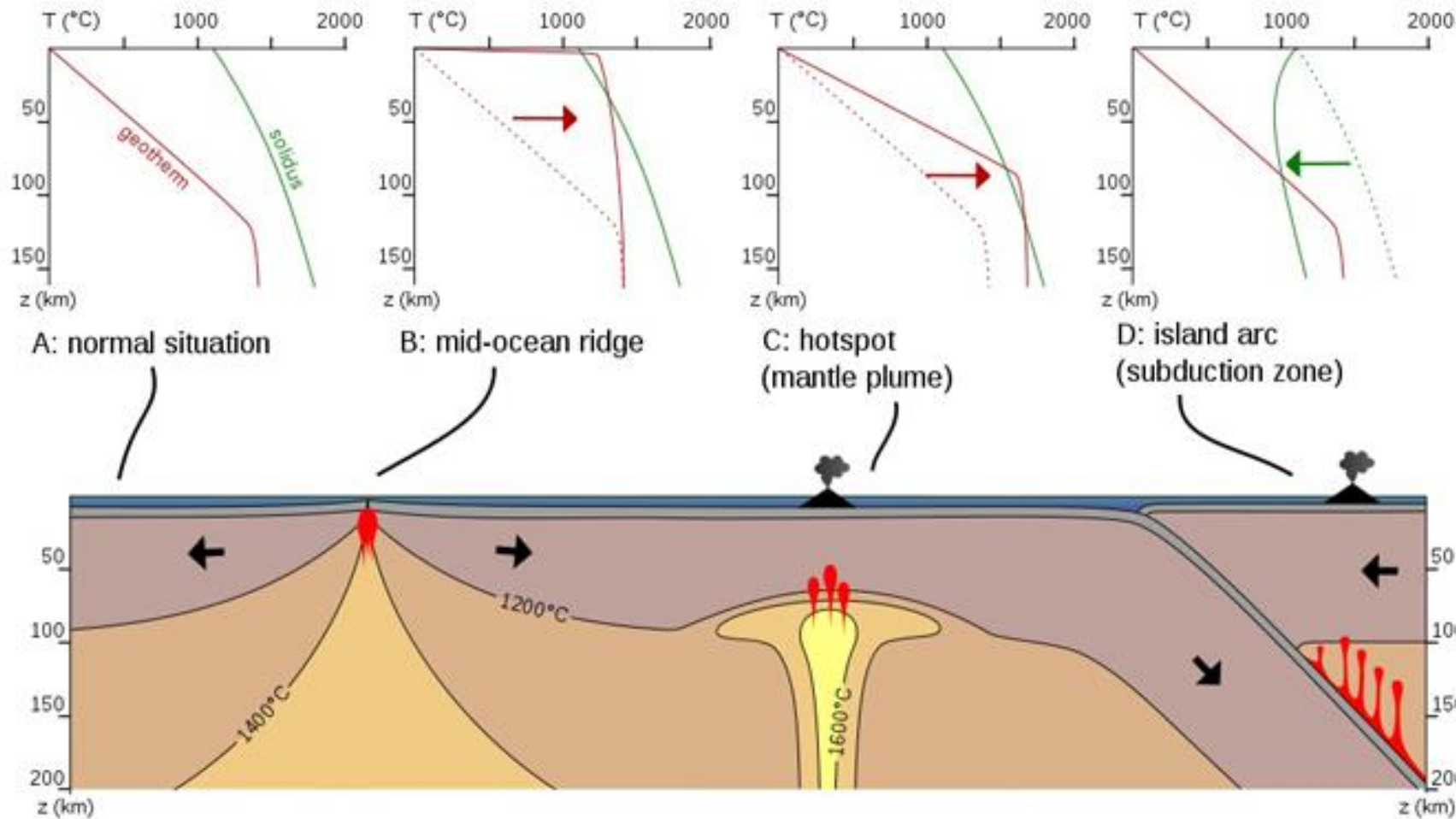


$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$$

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

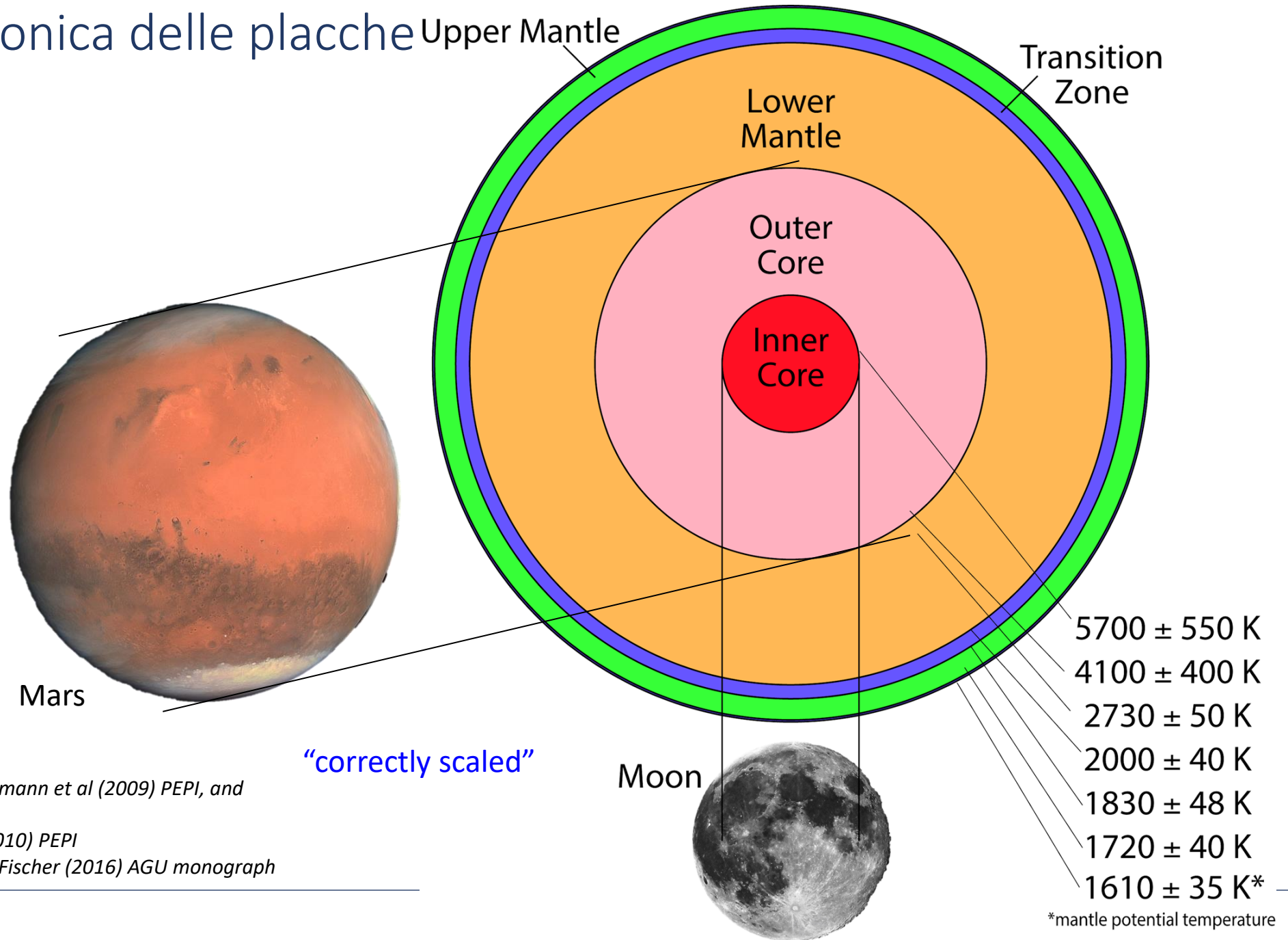
Tettonica delle placche: struttura interna della Terra

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

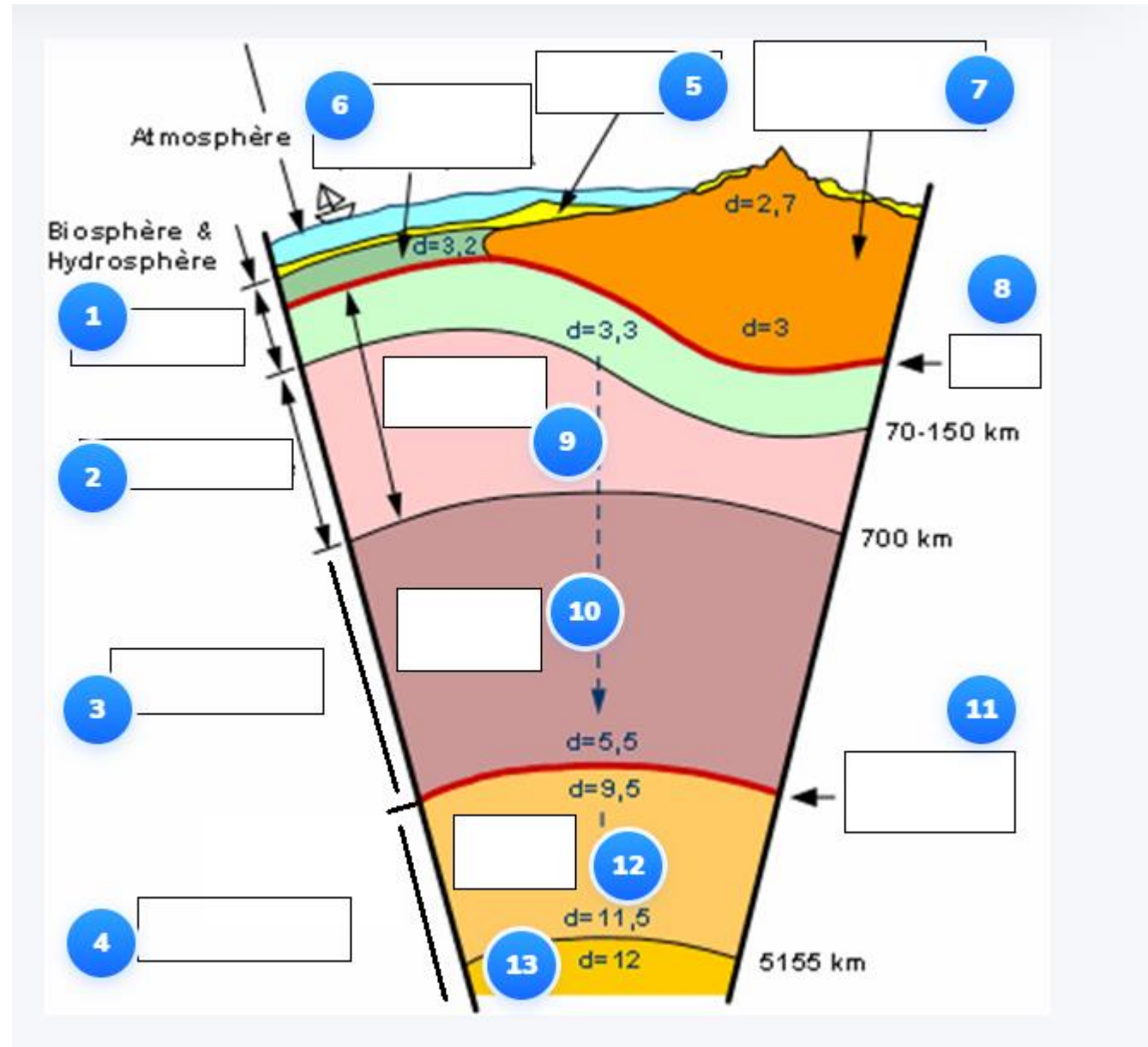
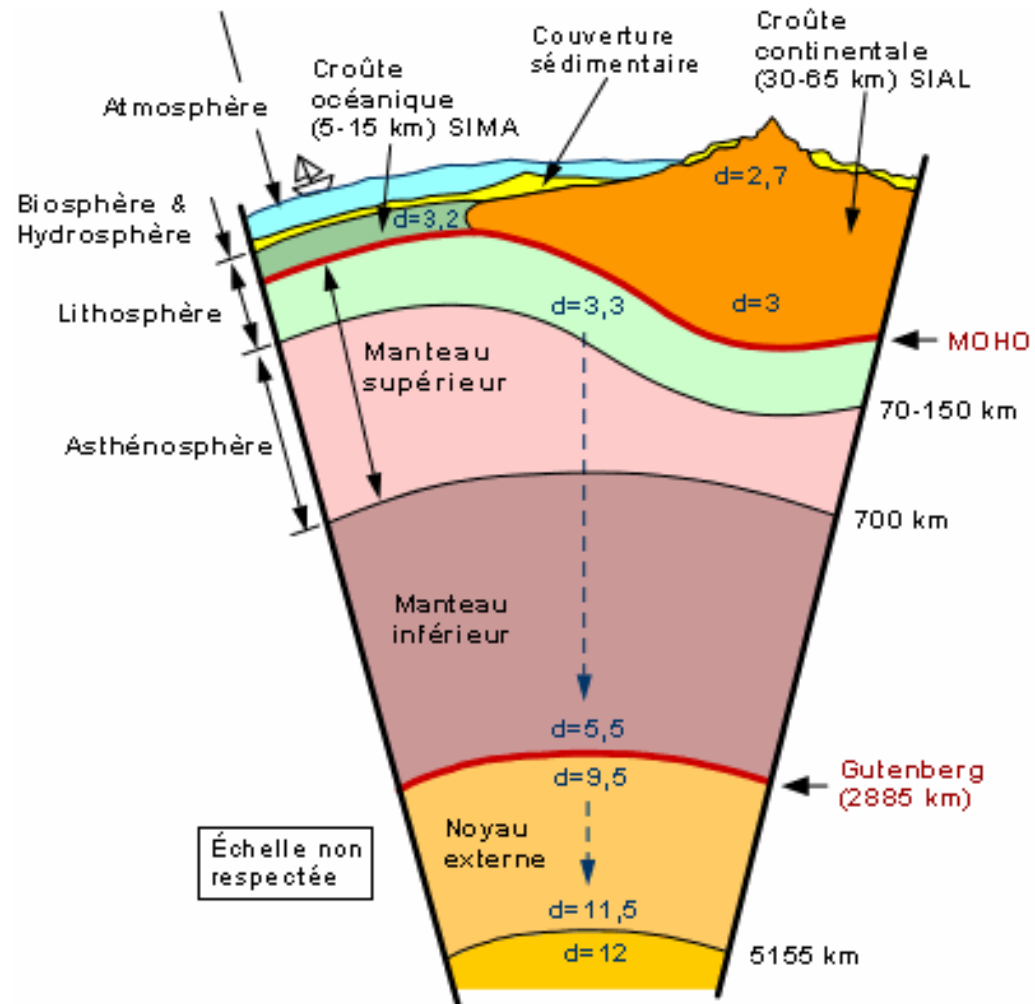
Litosfera vs astenosfera: usando come unità di misura le ere geologiche, la litosfera si comporta come un corpo rigido, suddiviso in placche in moto reciproco, mentre l'astenosfera si comporta come un corpo duttile. La litosfera è sia di tipo oceanico che continentale

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: struttura interna della Terra

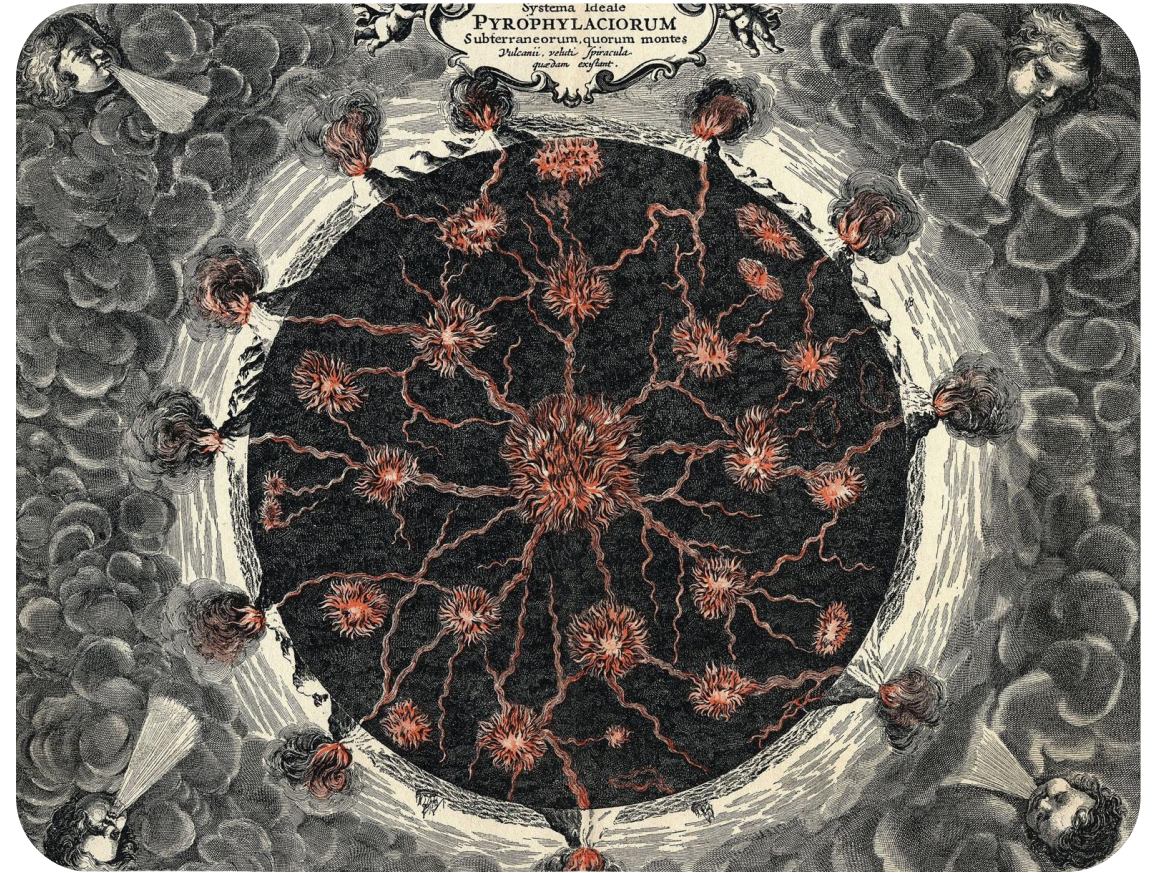


Tettonica delle placche: quando nasce?

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?

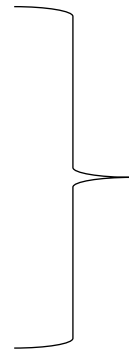
Tre concetti apparentemente separati (e sostenuti da pochi scienziati e una dozzina di lavori scientifici) si rivelano invece essere strettamente connessi:

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

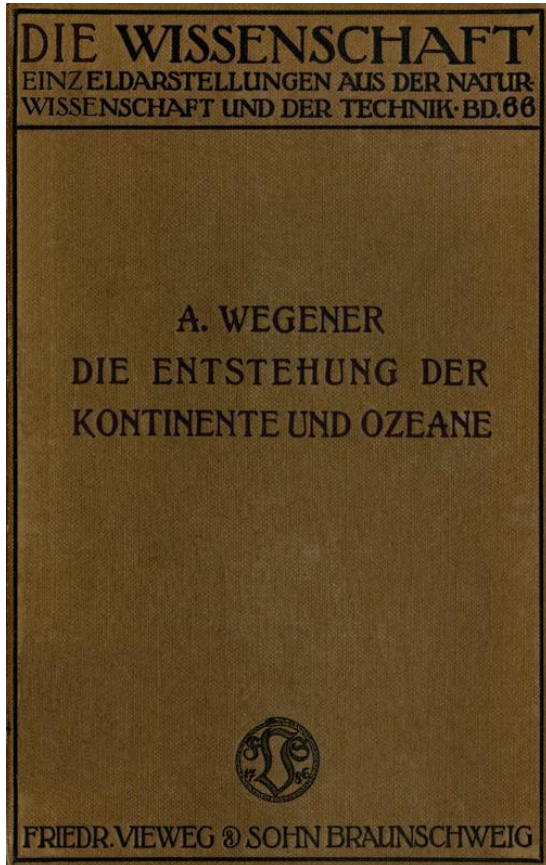


Geologo marino (1906-1969)

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.)

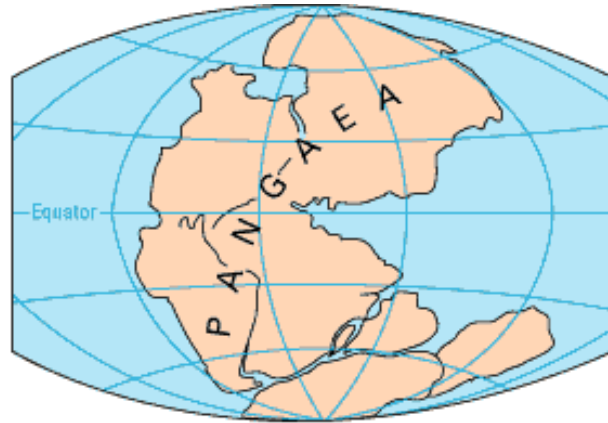
Tettonica delle placche: quando nasce?

1912/15 – Alfred Wegener

Formulazione concetto di deriva dei continenti.

Ipotesi basate su evidenze fossili.

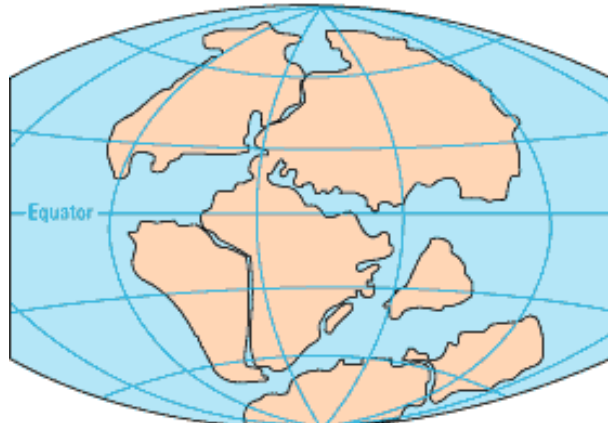
Propone un meccanismo di deriva (**movimento dei continenti attraverso le rocce solide dei fondali**) già allora non accettato e poi risultato errato.



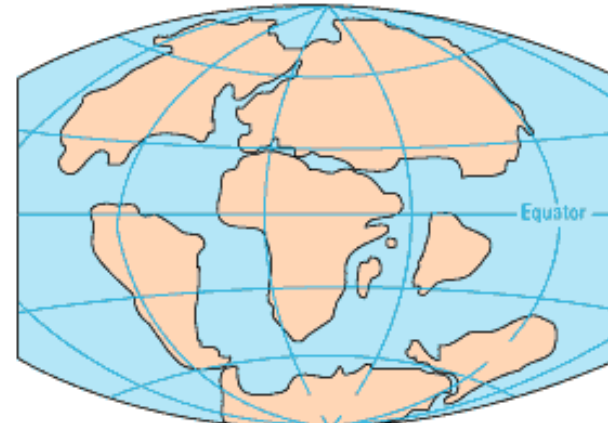
PERMIAN
225 million years ago



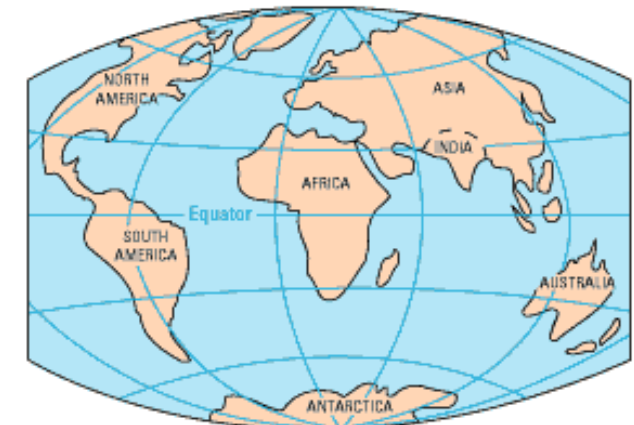
TRIASSIC
200 million years ago



JURASSIC
135 million years ago



CRETACEOUS
65 million years ago



PRESENT DAY

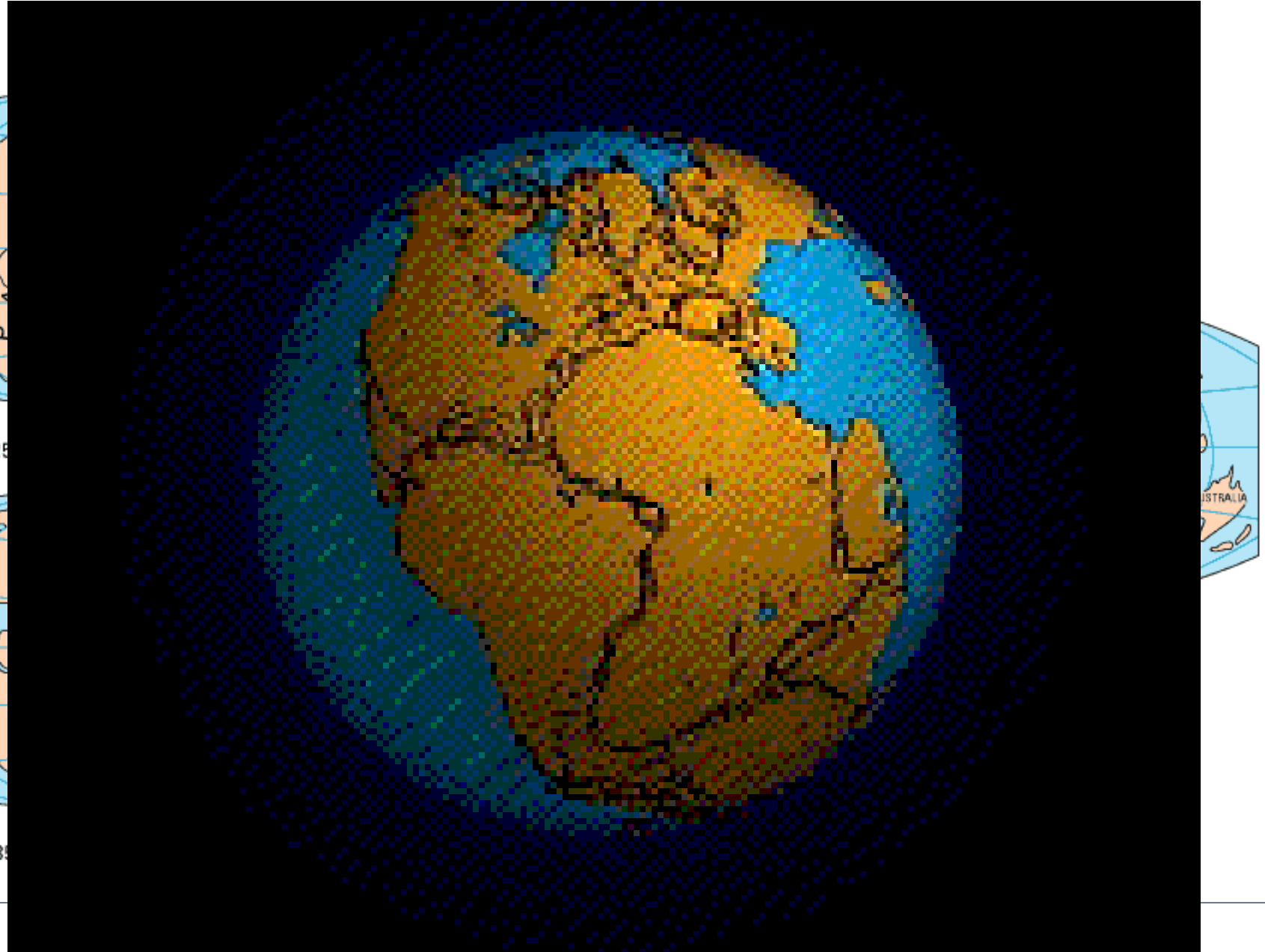
Tettonica delle placche: quando nasce?

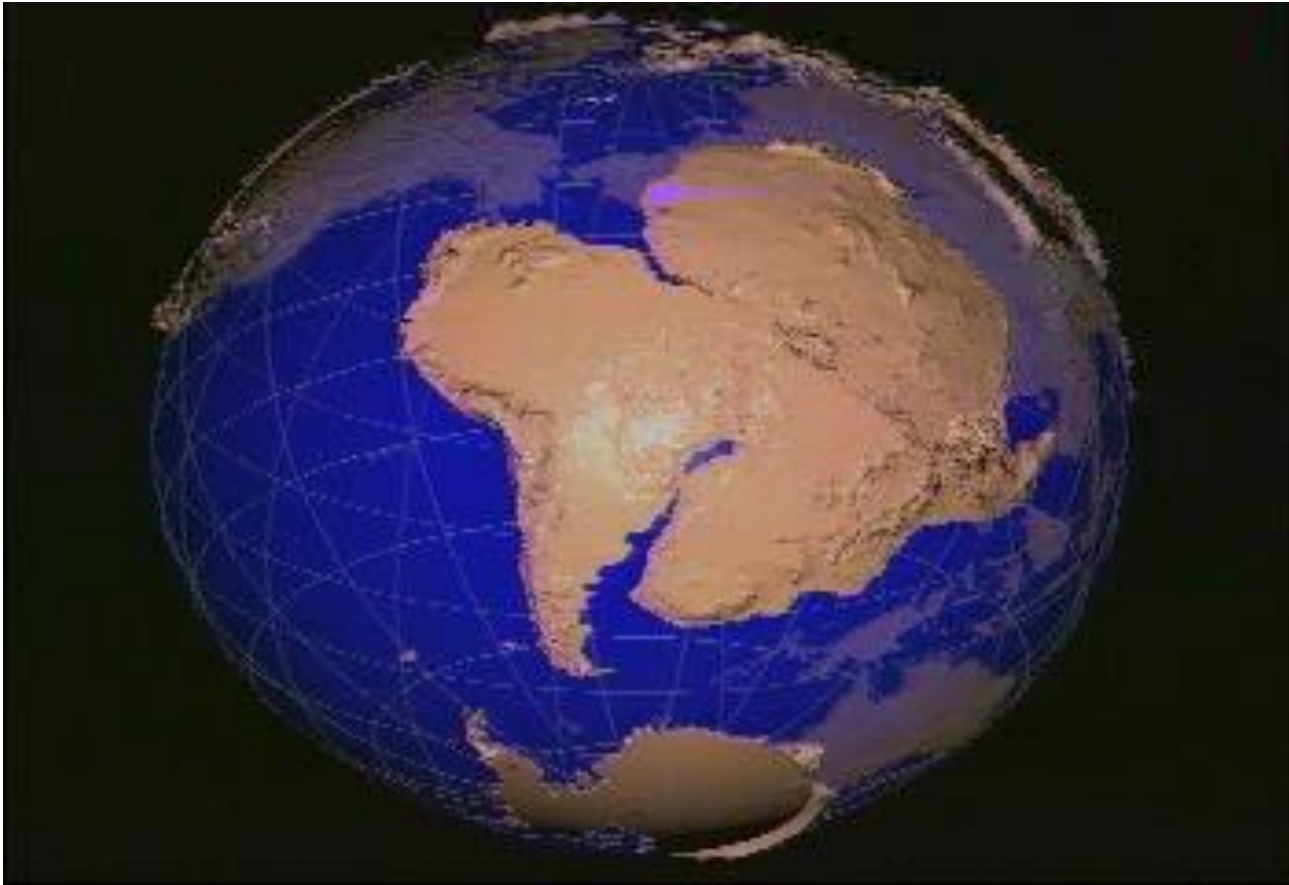
1912/15 – Alfred Wegener

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.

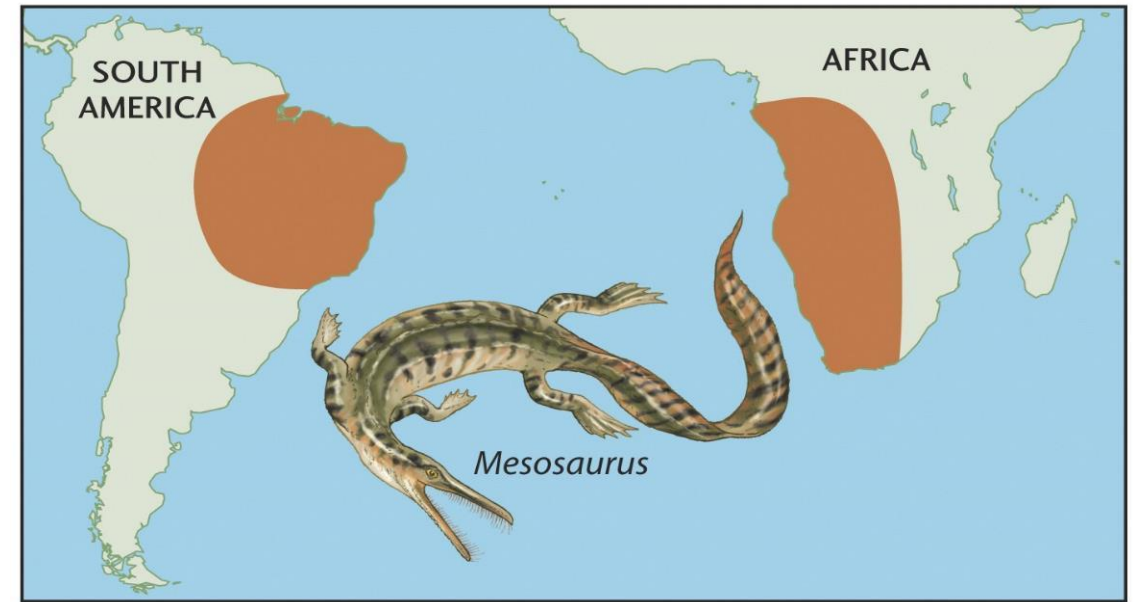
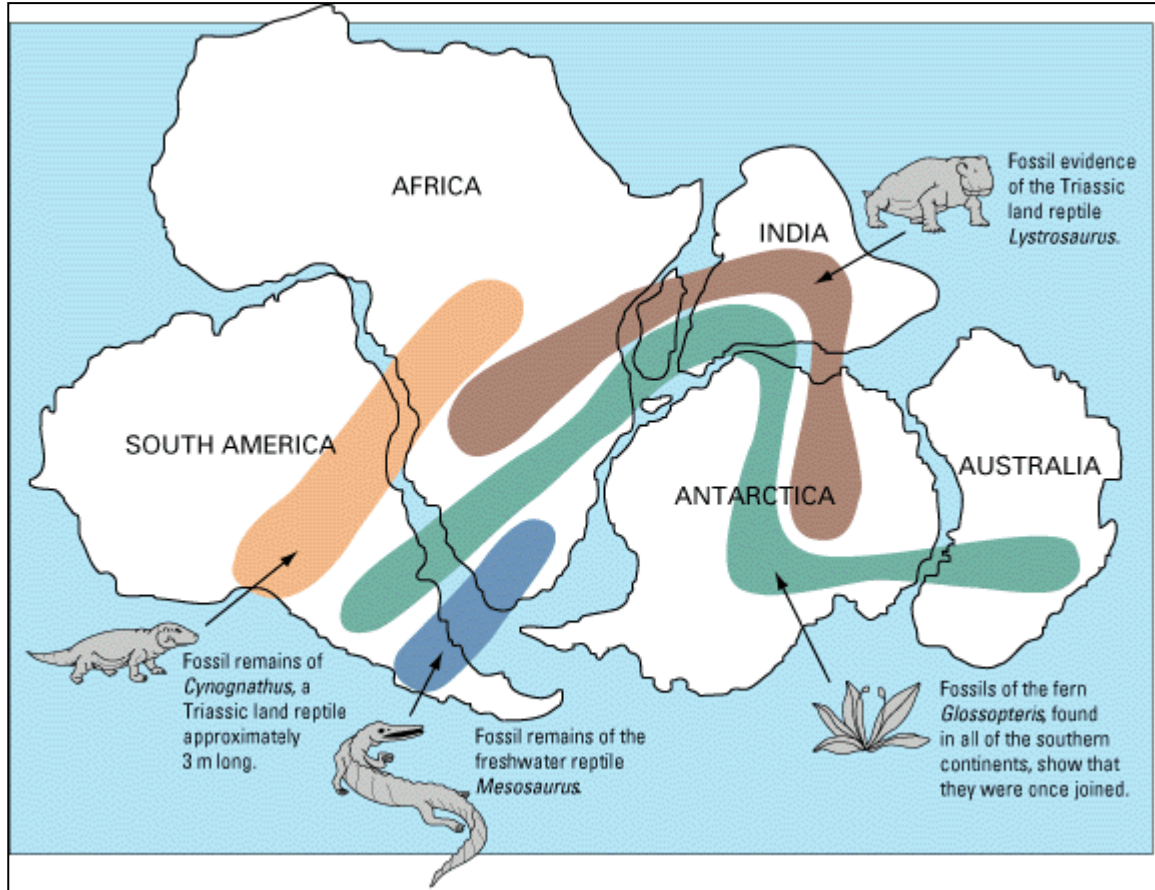




Gli ultimi 130 Milioni di anni

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)

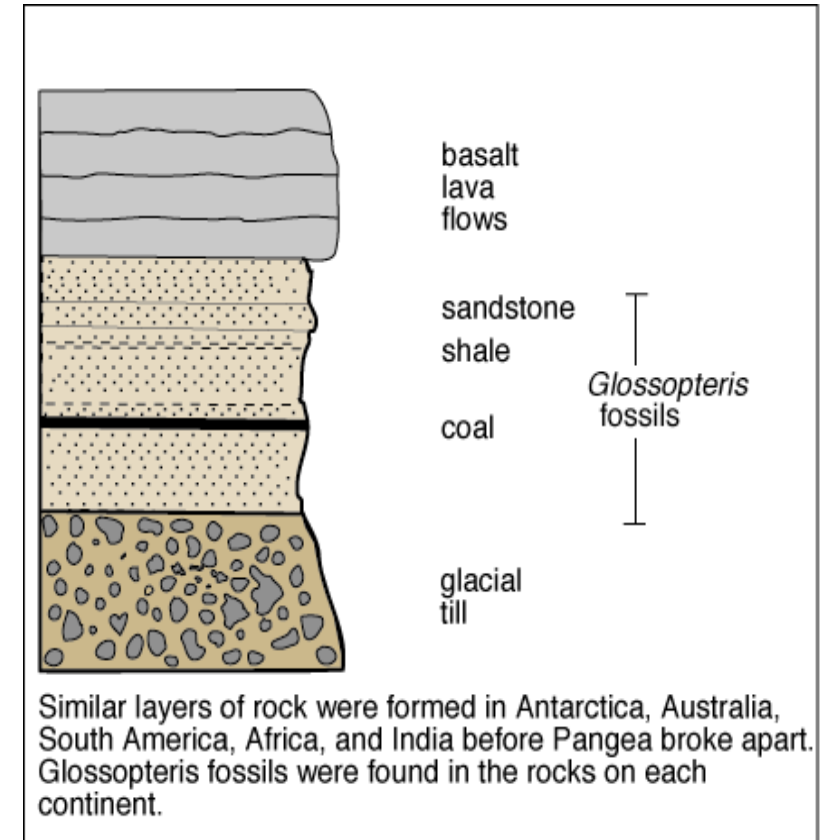


Incastro dei continenti

lungo i margini delle
piattaforme continen-
tali 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



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)

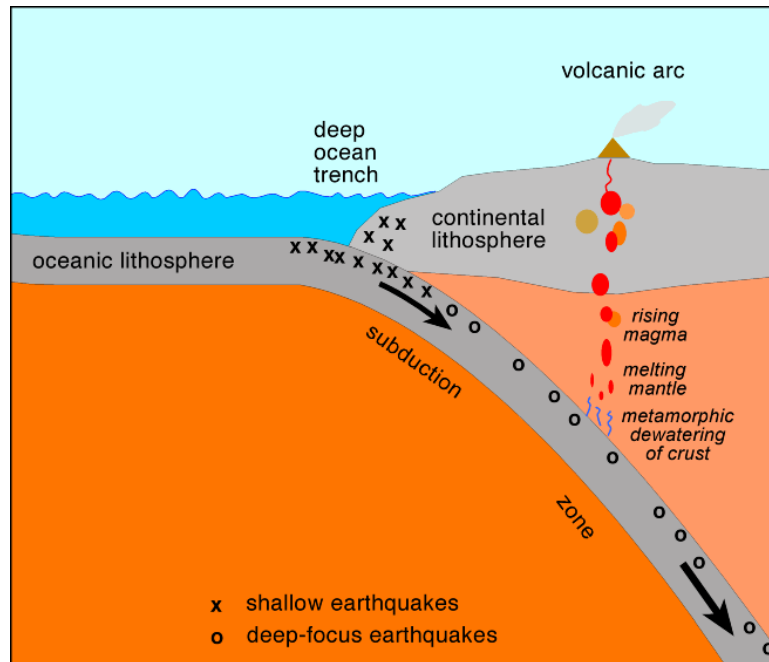
Tettonica delle placche: quando nasce?

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:

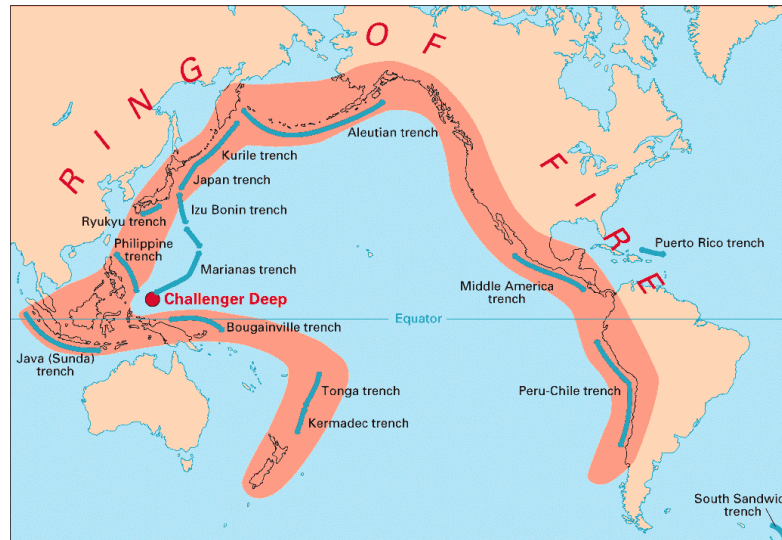
Deriva dei continenti (1858 – Antonio Snider-Pellegrini & 1912/15 – Alfred Wegener)

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)

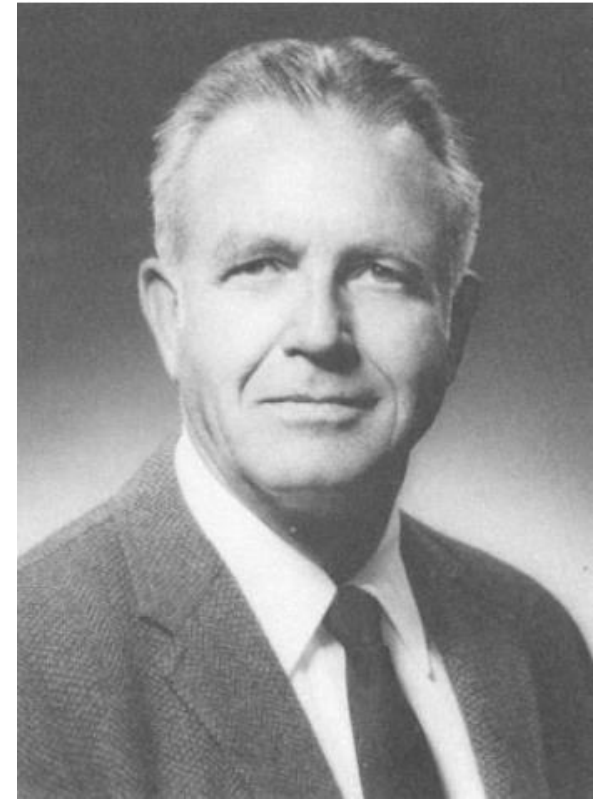
Espansione fondali marini (1929/31 – Arthur Holmes)

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)

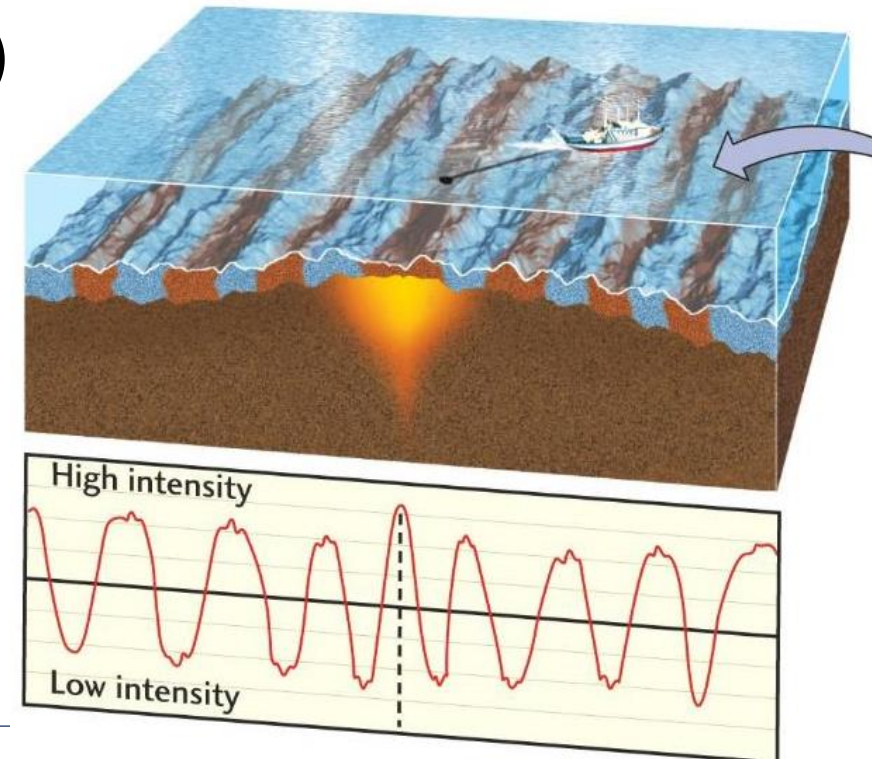
Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"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

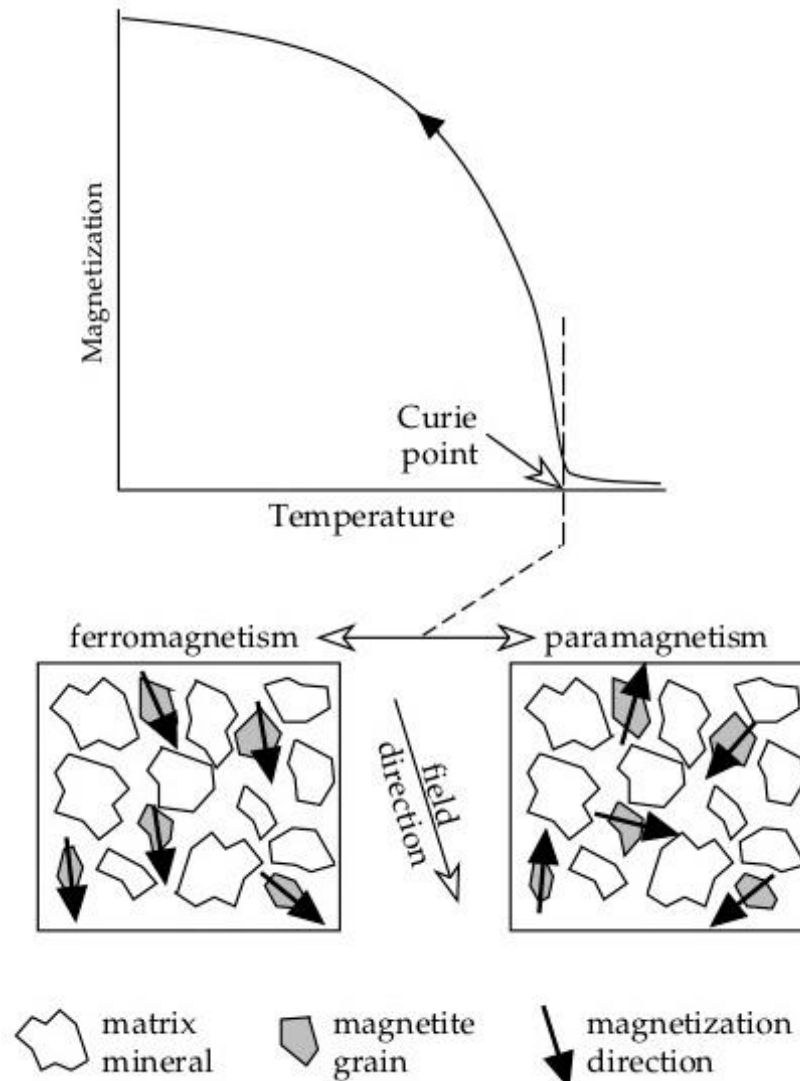


Tettonica delle placche: quando nasce?

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?

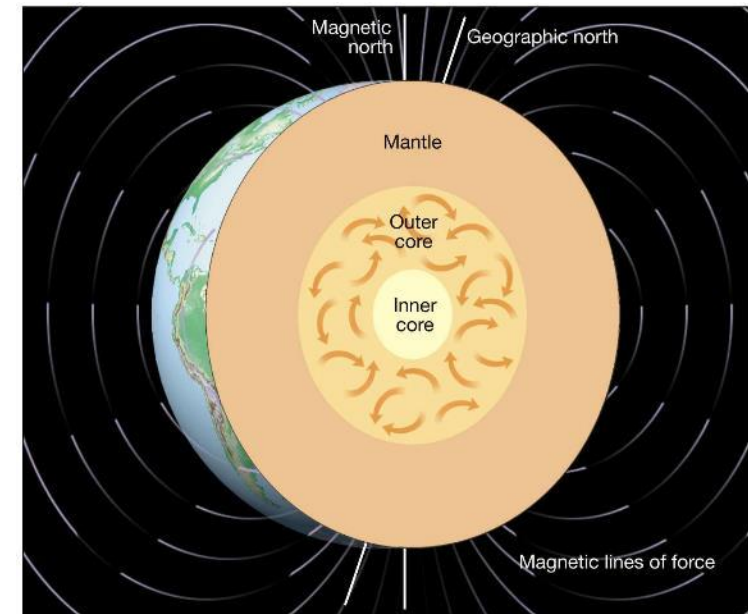
Il campo magnetico terrestre:

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?

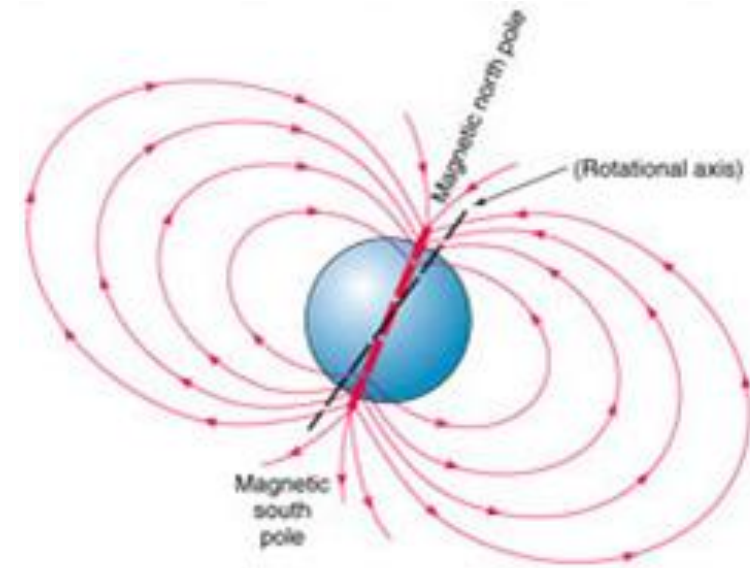
Paleomagnetismo:

Il **magma caldo non è magnetico**

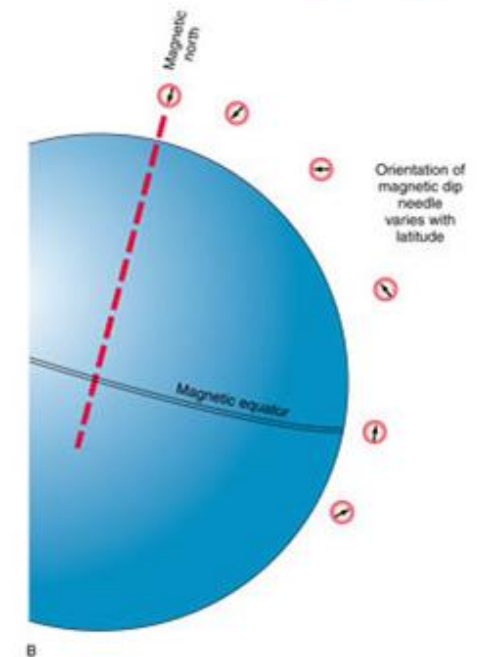
Quando il magma si raffredda e si solidifica, i minerali ferrosi (come i silicati ferromagnesiati) cristallizzano e quando la temperatura scende **al di sotto della temperatura di Curie** i **minerali contenenti ferro diventano magnetici**

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**



A



B

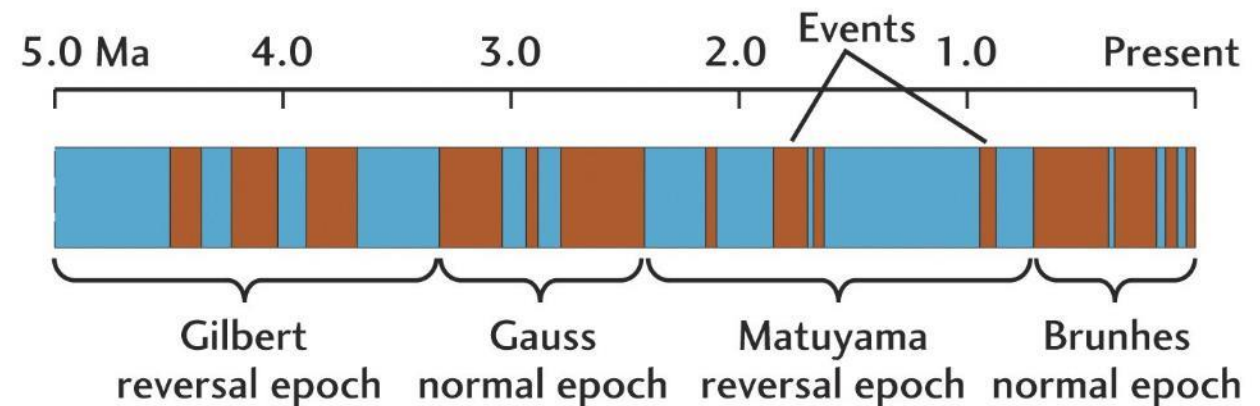
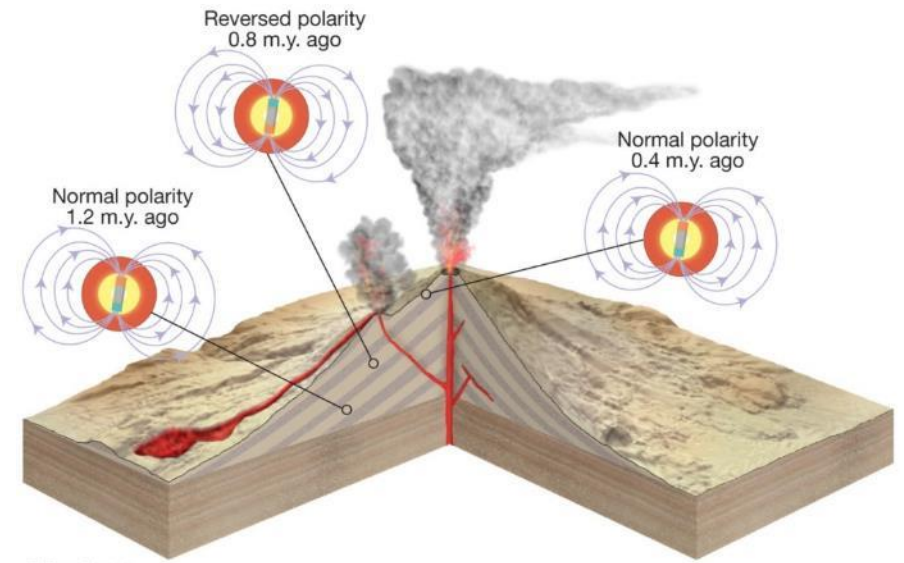
Tettonica delle placche: quando nasce?

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

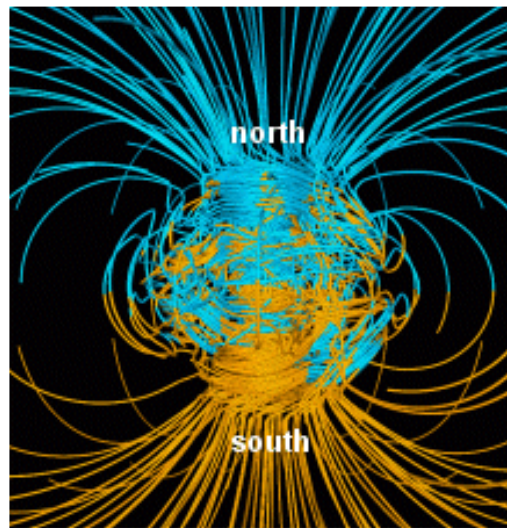
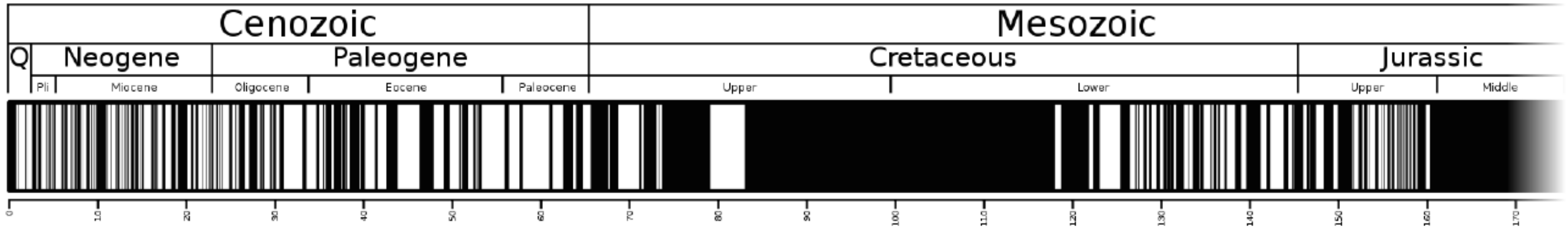


Tettonica delle placche: quando nasce?

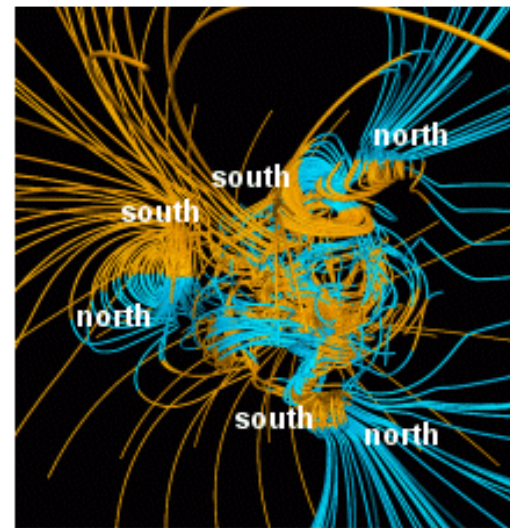
Paleomagnetismo:

Today

170 Ma



between reversals



during a reversal

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)

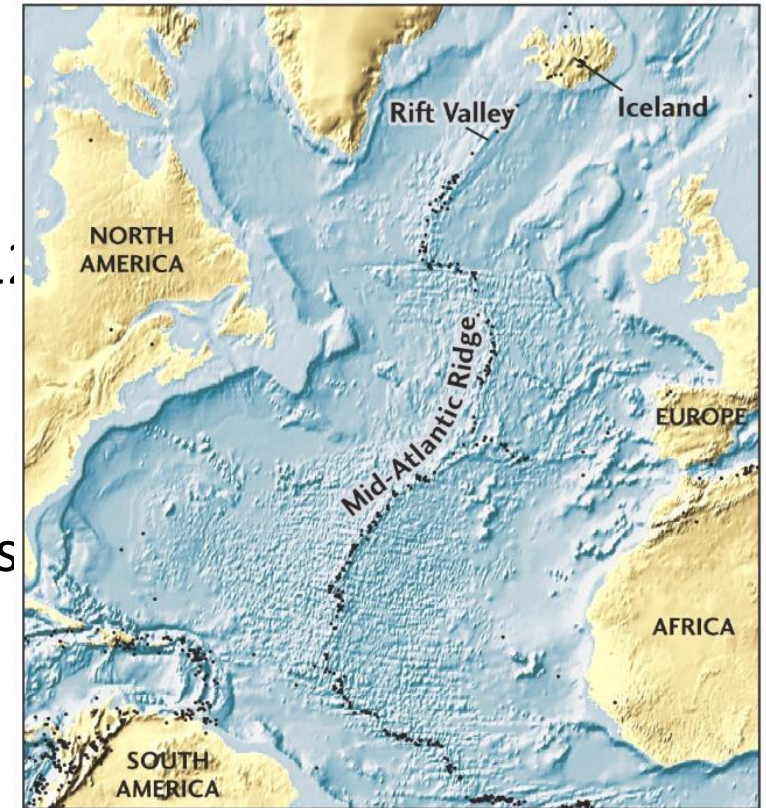
Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"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)

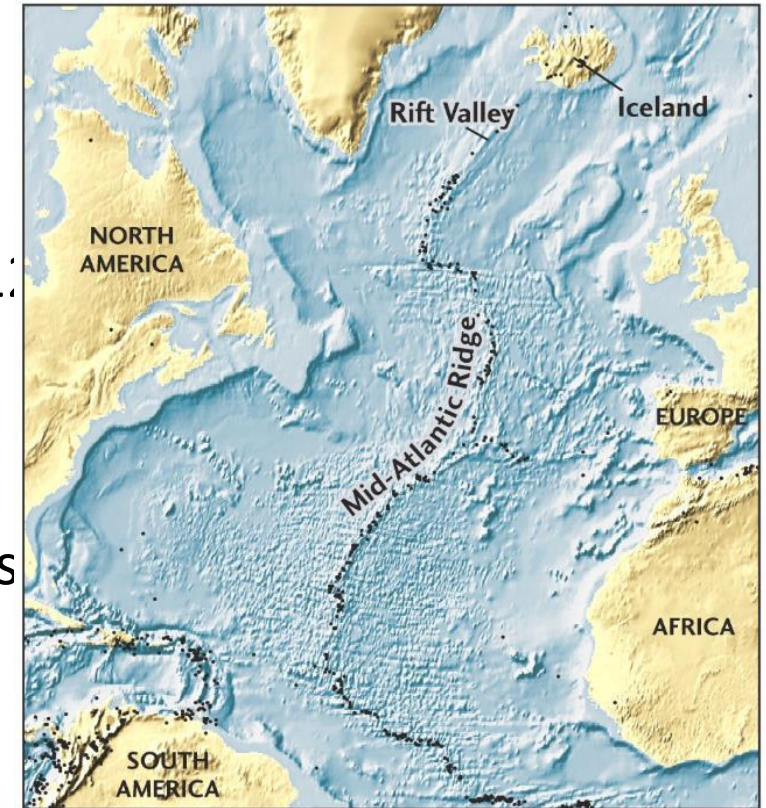
Terremoti, vulcani e mobilità crostale (1930 – Wadati)

"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)

Radiodatazione (anni '60)*

*le tecniche di radiodatazione 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**



Datazioni assolute: Radioattività

Cenni Storici

- Nel 1903 Marie, Pierre Curie e Henri Becquerel vincono il premio Nobel per la Fisica per la scoperta della radioattività.
- Nello stesso periodo alcuni scienziati (Thompson e Ernest Rutherford) presso il "Cavendish Laboratory" dell' Università di Cambridge studiano la struttura interna della materia (modello dell' atomo).
- Nel 1898 Rutherford scopre che le radiazioni consistono di tre diversi elementi: alpha, beta e gamma.
- Nel 1900 Frederick Soddy (il primo a formulare il concetto di isotopo) e Rutherford formulano la **legge del decadimento radioattivo** che può essere espresso come:

$$dN/dt = -\lambda N$$

dove λ è la costante di decadimento radioattivo che rappresenta la probabilità che ha un atomo di "decadere" nella unità di tempo e N il numero di atomi presente nel materiale.

Radioattività: protoni, neutroni e nuclidi

Z = number of protons or Atomic Number

N = number of neutrons

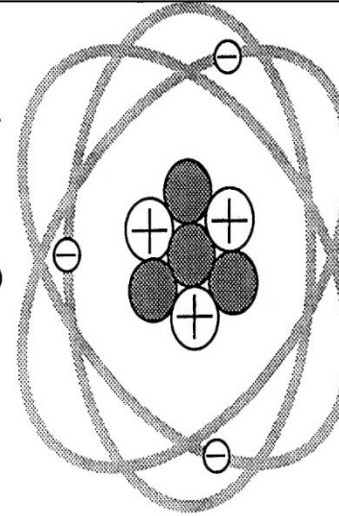
A = mass number

$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} \text{E} \quad A = Z + N$$

ISOTOPE = same number of protons but different number of neutrons

Structure of the atom

Isotope Number
e.g. $\begin{matrix} 7 \\ 3 \end{matrix} \text{Li}$
Atomic (Proton) Number



\oplus Proton
 \ominus Electron
● Neutron

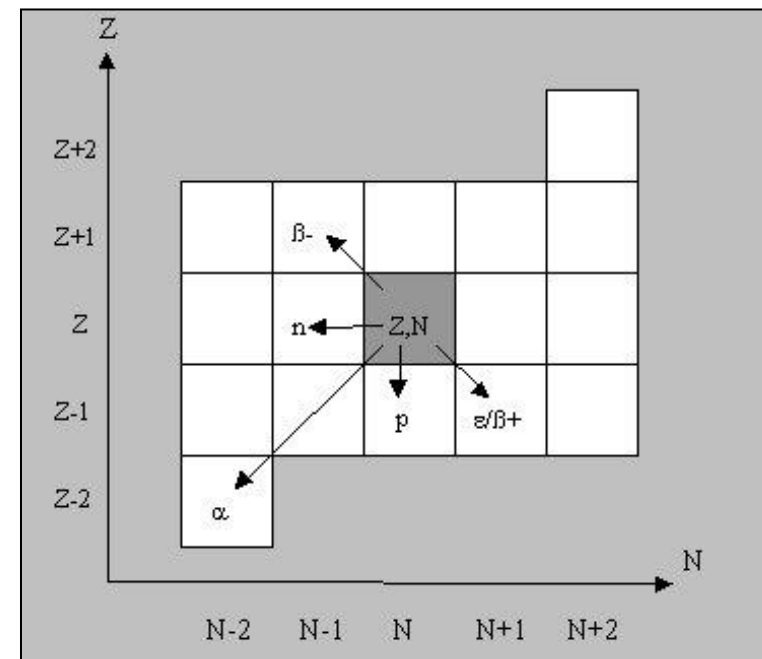
- Il numero di massa A di un elemento è determinata dalla somma del numero di protoni e di neutroni ($Z+N$)
- Stessi elementi con diversi numeri di neutroni vengono chiamati isotopi



Radioattività: tipi di decadimento

Esistono quattro tipi di decadimento radioattivo

- 1) Decadimento alfa (α) - (emissione ^4He)
- 2) Decadimento beta (β) - (cambia la carica nucleare, massa conservata)
- 3) Decadimento gamma (γ) - (emissione di fotoni, non cambia ne A ne Z)
- 4) Fissione Spontanea ($Z \geq 92$) - (si generano elementi più leggeri)



Datazioni assolute: Radioattività

Cenni Storici

- La formulazione della legge di decadimento radioattivo ha di fatto aperto la porta allo sviluppo delle tecniche di datazione radiometrica.
- Rutherford e Boltwood nel 1905 proposero che l'età dell'uranio presente in una roccia potesse essere determinata misurando la quantità di elio che risulta accumulata in tale roccia. Per alcuni minerali di uranio determinarono un'età di 550 milioni di anni.
- Nel 1913 alla età di soli 23 anni Arthur Holmes pubblicò un libro dal titolo "The Age of the Earth". Il lavoro di Holmes fu a lungo ignorato. Nel 1927 Holmes pubblicò "*The Age of the Earth, an Introduction to Geological Ideas*" e suggerì che l'età della Terra fosse compresa tra 1.6 e 3.0 miliardi di anni.
- Nel 1931 si costituì una commissione speciale (National Research Council of the US National Academy of Sciences) con il compito di stabilire l'età della Terra.
- L'età della Terra fu determinata nel 1956 da Patterson.

Scala dei tempi geologici

Eon	Era	Period, subera	Epoch, subperiod	Age (Ma)
Phanerozoic	Cenozoic	Quaternary Q	Holocene	0.01
			Pleistocene	1.8
		Tertiary TT	Pliocene	5.3
			Miocene	23.8
			Oligocene	33.7
			Eocene	54.8
			Palaeocene	65.0
	Mesozoic	Cretaceous K	Late	99.0
			Early	144
		Jurassic J	Late	159
			Middle	180
			Early	206
		Triassic Tr	Late	227
			Middle	242
			Early	248
	Palaeozoic	Permian P	Late	256
			Early	290
		Carboniferous C	Pennsylvanian	323
			Mississippian	354
		Devonian D	Late	370
			Middle	391
			Early	417
		Silurian S	Late	423
			Early	443
		Ordovician O	Late	458
			Middle	470
			Early	490
		Cambrian c	Merioneth	543
			St David's	~1000
			Caerfai	1800
Proterozoic	Late	Hadrynian		2500
	Middle	Helikian		
Archaean	Early	Aphebian (Canada)		
	Late	Kenoran	Transvaal Shamvaian	
	Middle		Witwatersrand Bulawayan	
	Early		Pongola Belingwean	
		Pilbara	Barberton	Sebakwian
		(Canada) (Australia)	(S. Africa)	(Zimbabwe) (Greenland)
		Isua		4000
		Zircons in Jack Hills (Australia)		
		Origin of Earth		~4560

Scala dei tempi geologici "standard": basata su:

- Stratigrafia;
- Paleontologia;
- Geocronologia (datazioni assolute);
- Inversioni di polarità del campo geomagnetico terrestre.

Datazioni assolute

Riassunto

- Si utilizzano radioisotopi naturali
- **Isotopo** - una particolare forma di un elemento che presenta neutroni in eccedenza.
- **Radioisotopo** - isotopo che spontaneamente decade emettendo radiazioni

Velocità di decadimento radioattivo

- Radioisotopi decadono a velocità costante.
- La velocità di decadimento viene misurata dal "tempo di dimezzamento" (Half-life)
- **Half-life**: è il tempo occorrente perché la metà degli atomi di un campione puro dell'isotopo decadano in un altro elemento.

Prodotti del decadimento radioattivo

- Radioisotopi possono decadere formando altri isotopi non stabili oppure un isotopo stabile.
- Si può avere una serie di decadimento a cascata fino a giungere ad una forma stabile di isotopo.
- L'isotopo stabile viene chiamato "figlio" formato dal decadimento del radionuclide padre.

Datazione radiometrica

- Radioisotopi vengono intrappolati nei minerali al momento della loro cristallizzazione;
- Radioisotopi decadono fino al raggiungimento di una forma stabile;
- Determinando il rapporto tra il "padre" ed "figlio" è possibile stimare il numero di "Half-life" o emivite intercorsi dalla formazione della roccia.

Isotopi comunemente utilizzati per le datazioni

U-Pb -- half-life di U-238 è 4.5 b.y.

K-Ar -- half-life di K-40 è 1.3 b.y.

Rb-Sr -- half-life di Rb-87 è 47 b.y.

Carbonio 14 -- half-life di C-14 è 5730 anni.

Tettonica delle placche: quando nasce?

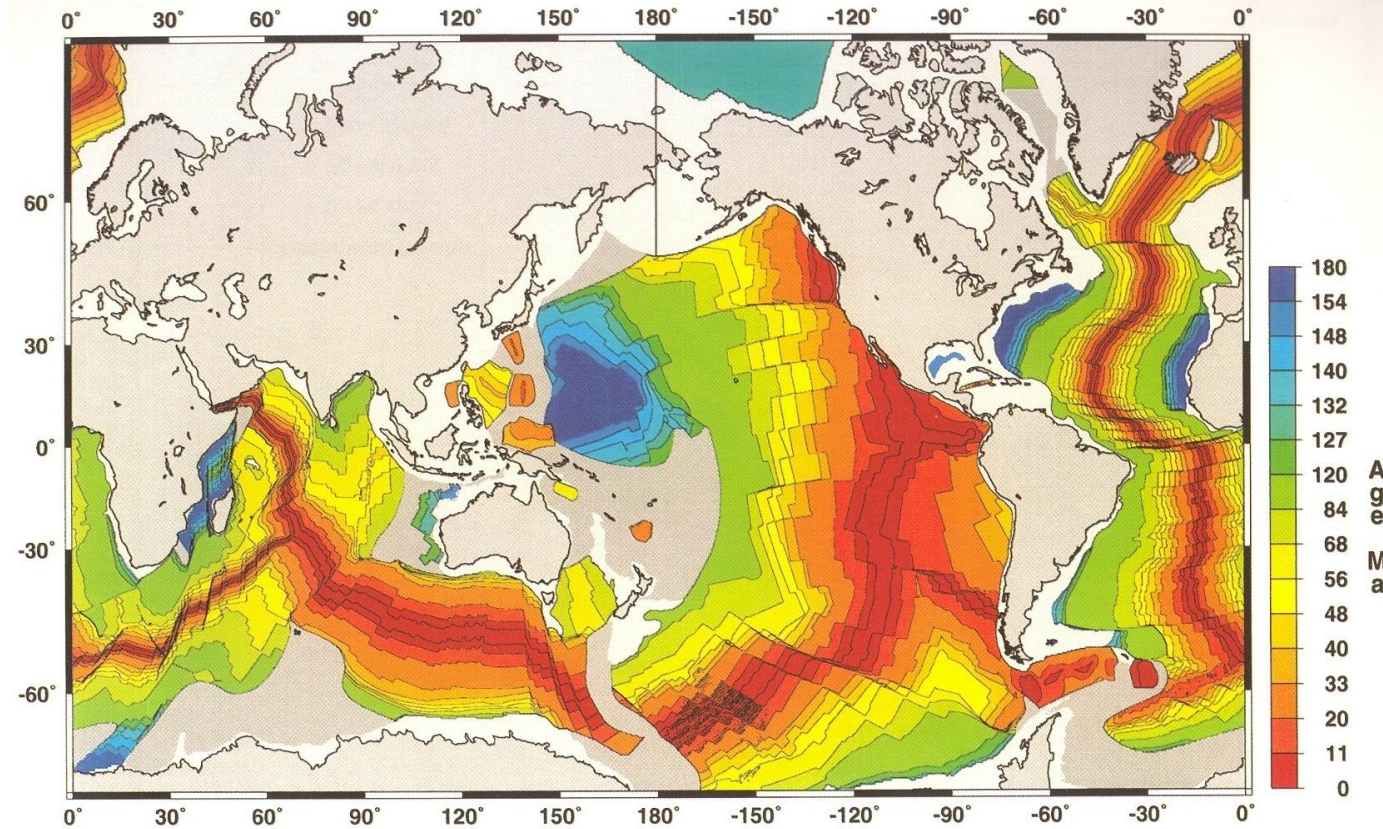
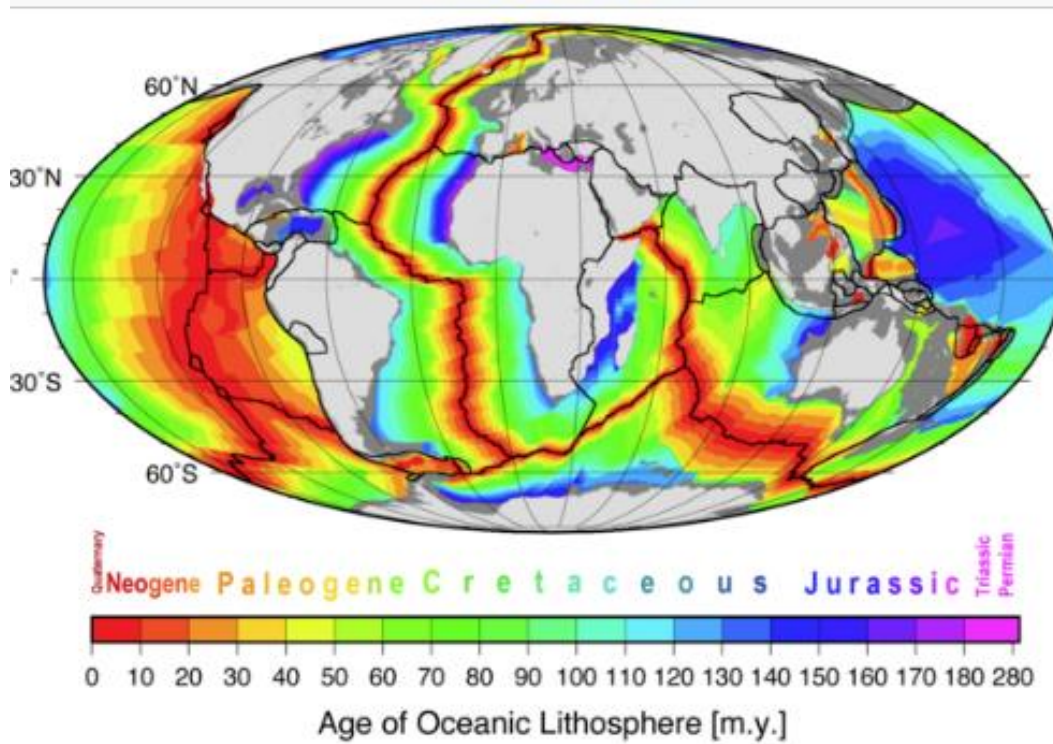


Figure 2.3. Age distribution of the oceanic crust as determined by magnetic anomalies on the seafloor. Based on Mueller et al. (1997).

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

Joshua J. Schwartz,^{1*} Barbara E. John,¹ Michael J. Cheadle,¹
Elena A. Miranda,¹ Craig B. Grimes,¹ Joseph L. Wooden,²
Henry J. B. Dick³

28 OCTOBER 2005 VOL 310 SCIENCE 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?

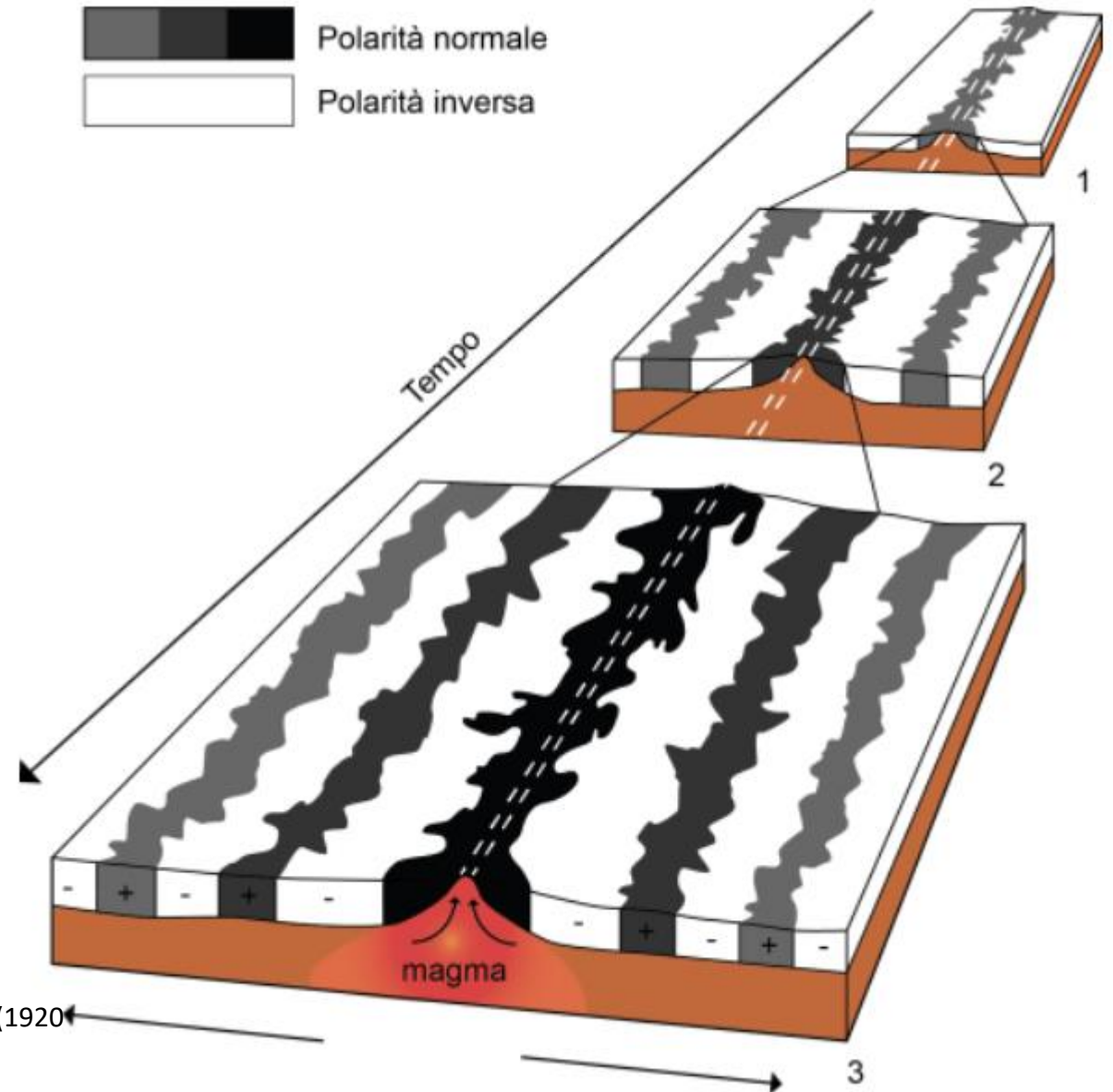
1963 – il team di Frederick John Vine e Drummond Hoyle Matthews (e indipendentemente Lawrence Whitaker Morley) propose che l'espansione del fondale marino potrebbe spiegare la striscia di inversione magnetica osservata sui fondali dell'Atlantico e del Pacifico



Sx: Matthews, geologo e geofisico marino (1931 - 1997)
Dx: Vine, geologo (1939 -2024)



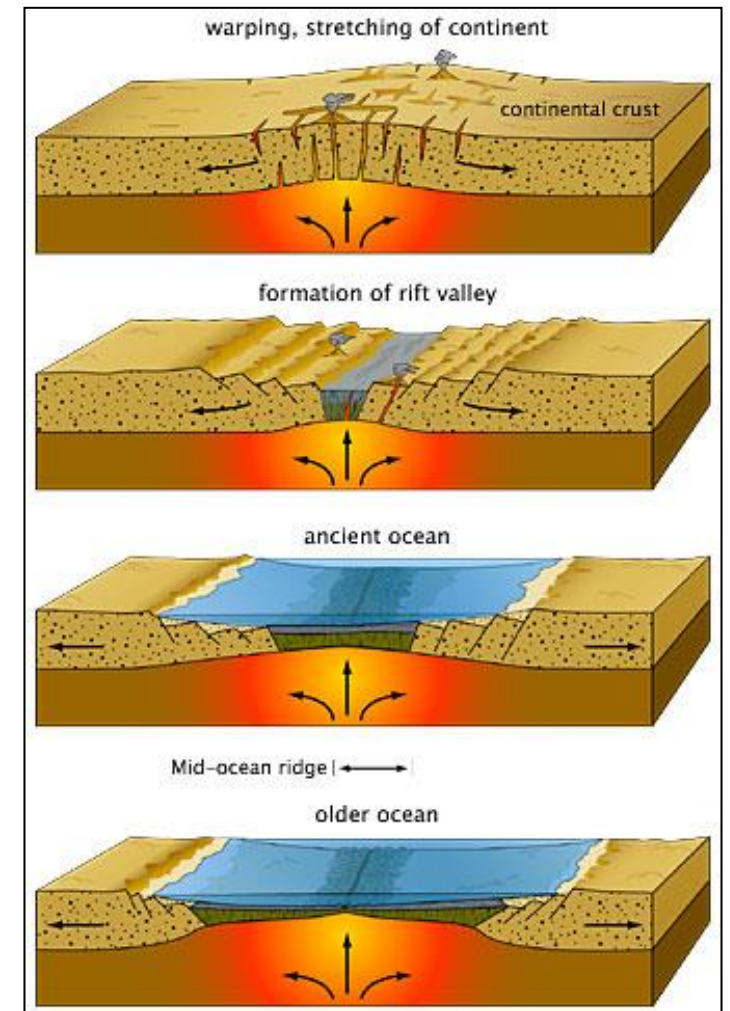
Whytaker Morley Geologo, geofisico (1920 - 2013)



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.

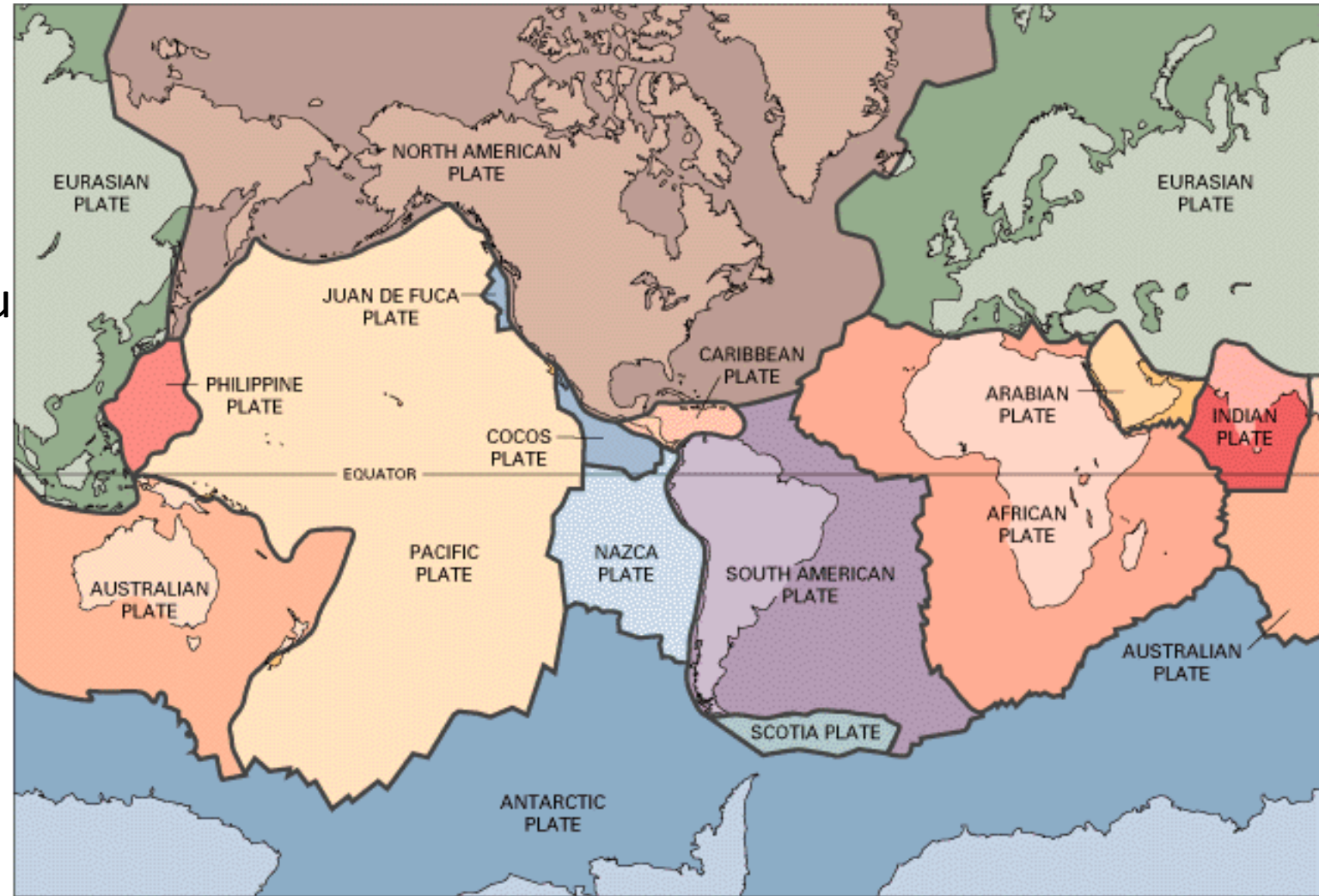
Hess calcolò che i fondali oceanici non erano più antichi di 260 milioni di anni

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

Tettonica delle placche: cosa dice?

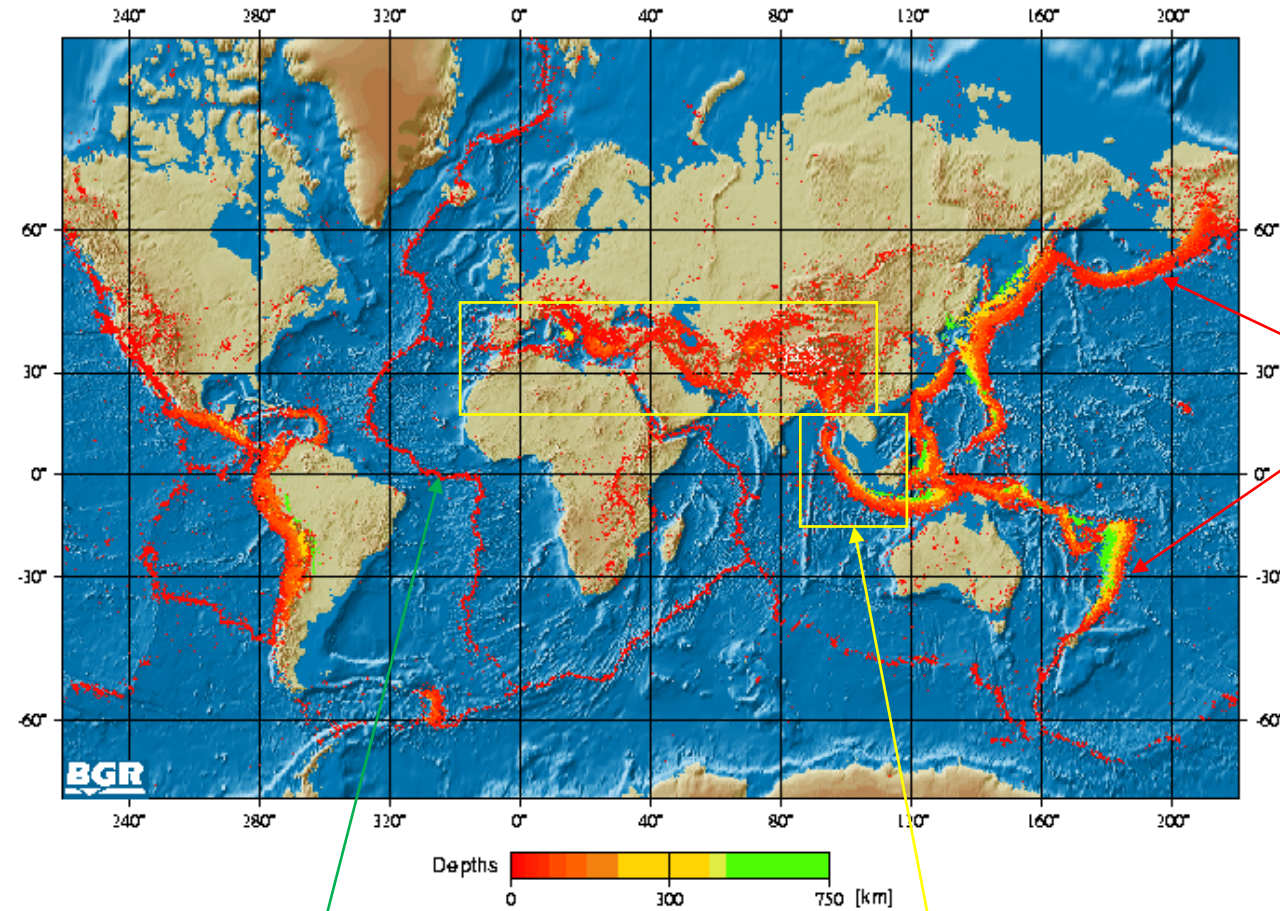
Tre concetti chiave:

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



Tettonica delle placche: cosa dice?

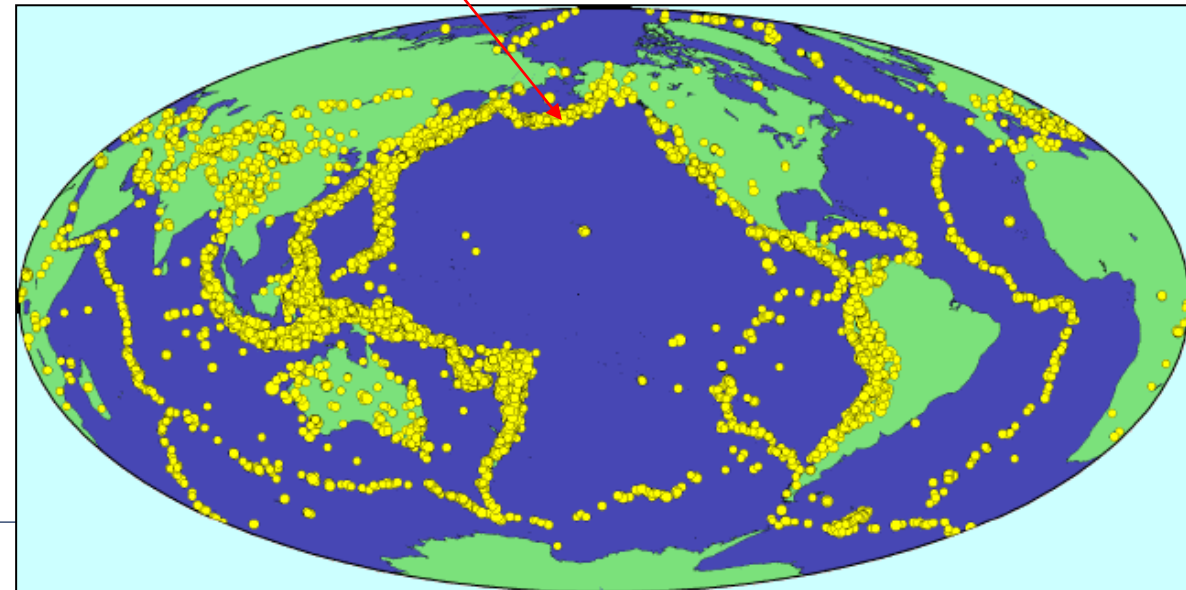
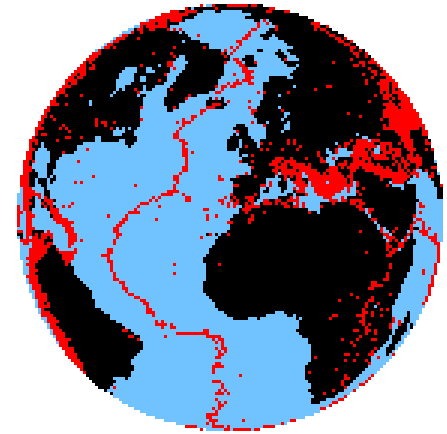
I “bordi” delle placche sono individuabili osservando la distribuzione dei terremoti



Mid-Atlantic belt:
la terza più grande

Alpide belt: la
seconda grande

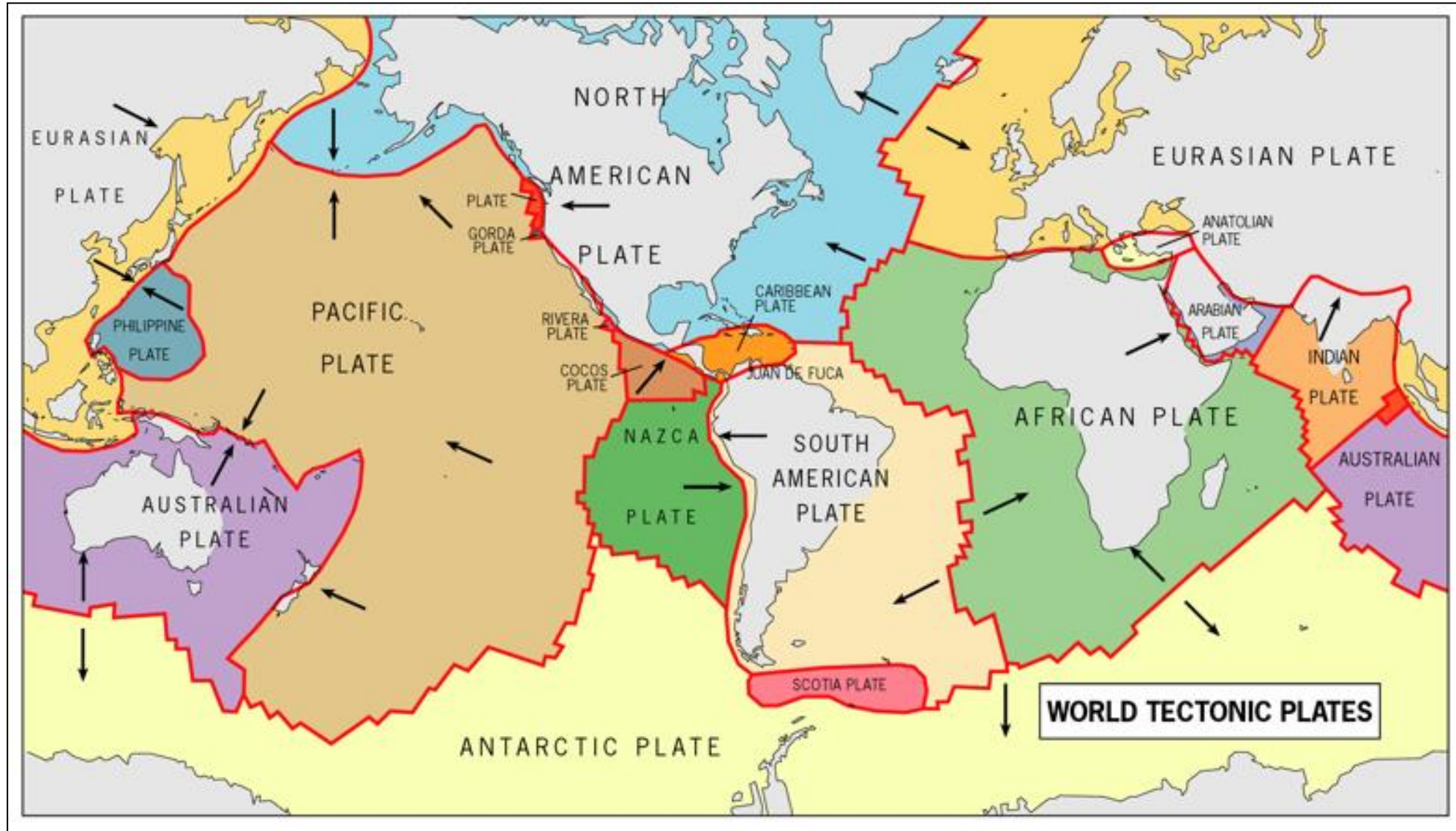
Circum Pacif belt:
la più grande



Tettonica delle placche: cosa dice?

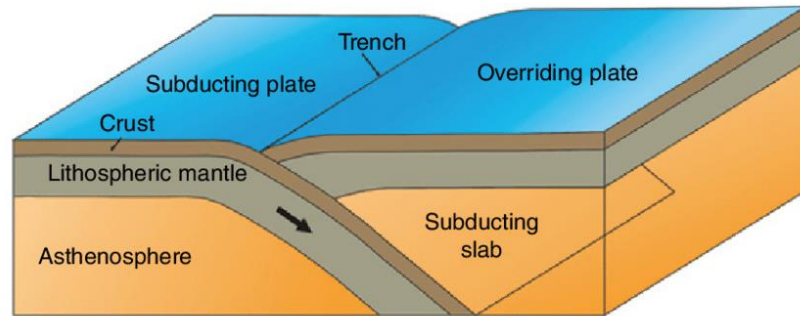
Esistono una dozzina di placche principali e molte più piccole

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



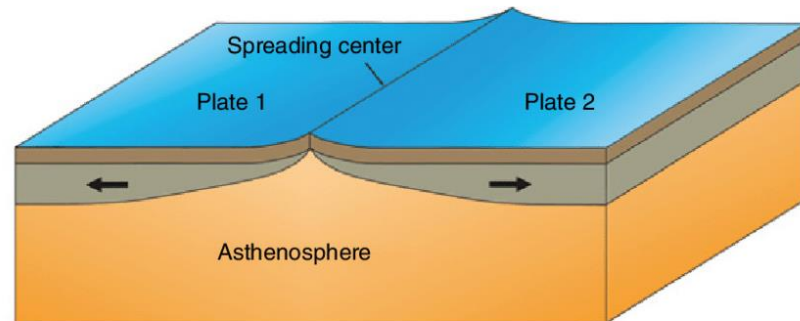
Tettonica delle placche: cosa dice?

Convergent plate boundary: subduction zone



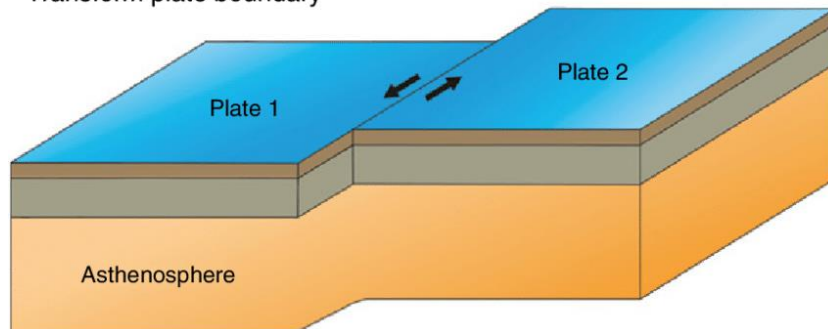
Margini
convergenti

Divergent plate boundary



Margini
divergenti

Transform plate boundary



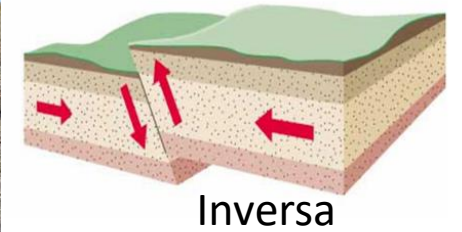
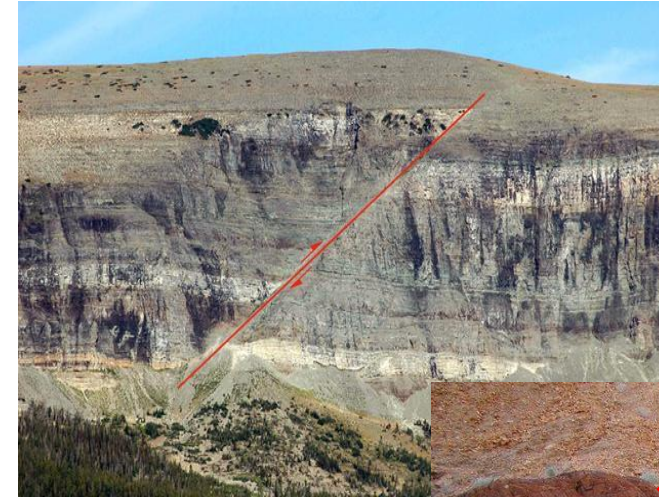
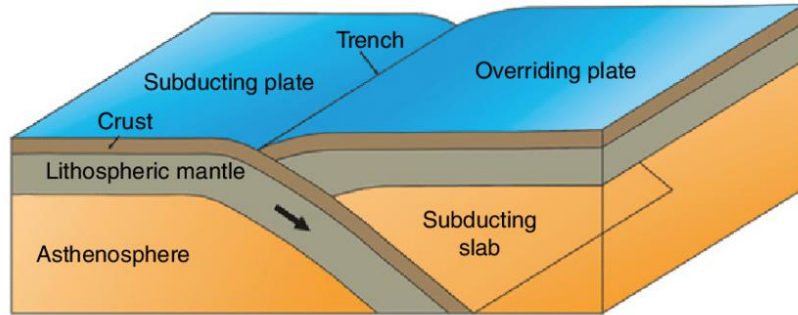
Margini
conservativi

Tettonica delle placche: cosa dice?

Tipologie di faglie

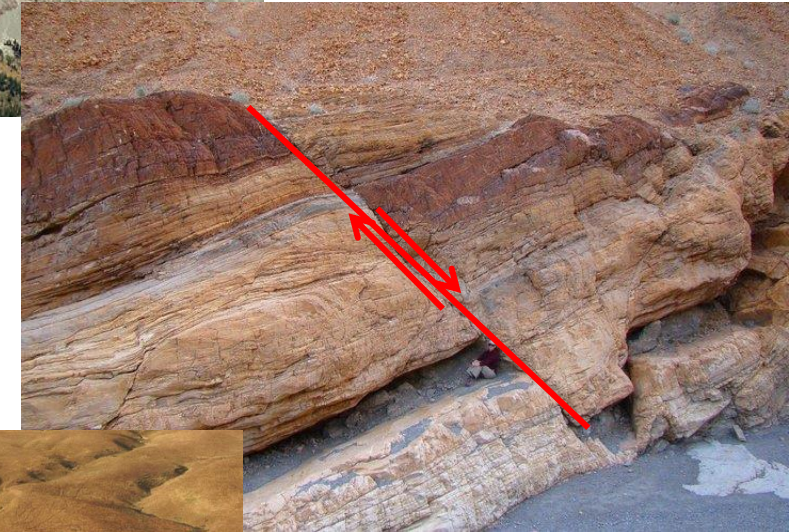
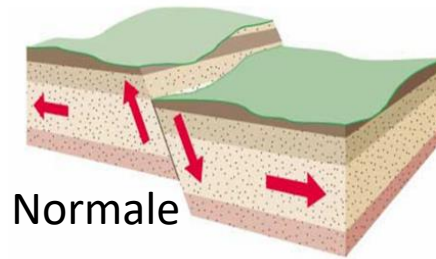
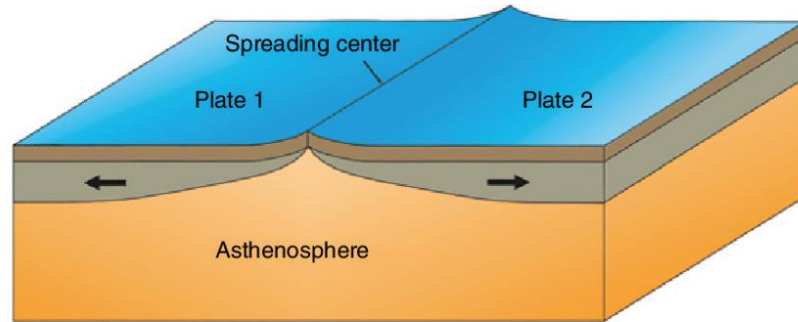
Margini convergenti

Convergent plate boundary: subduction zone



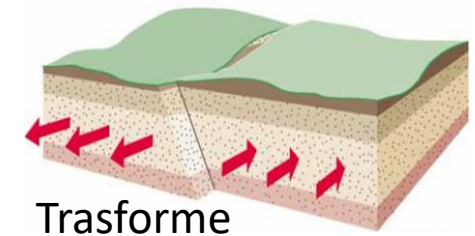
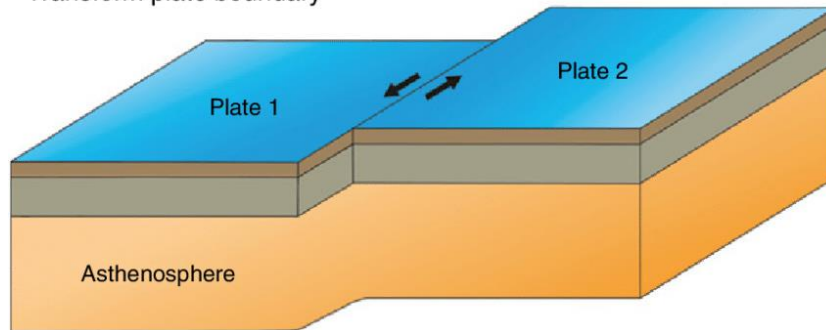
Margini divergenti

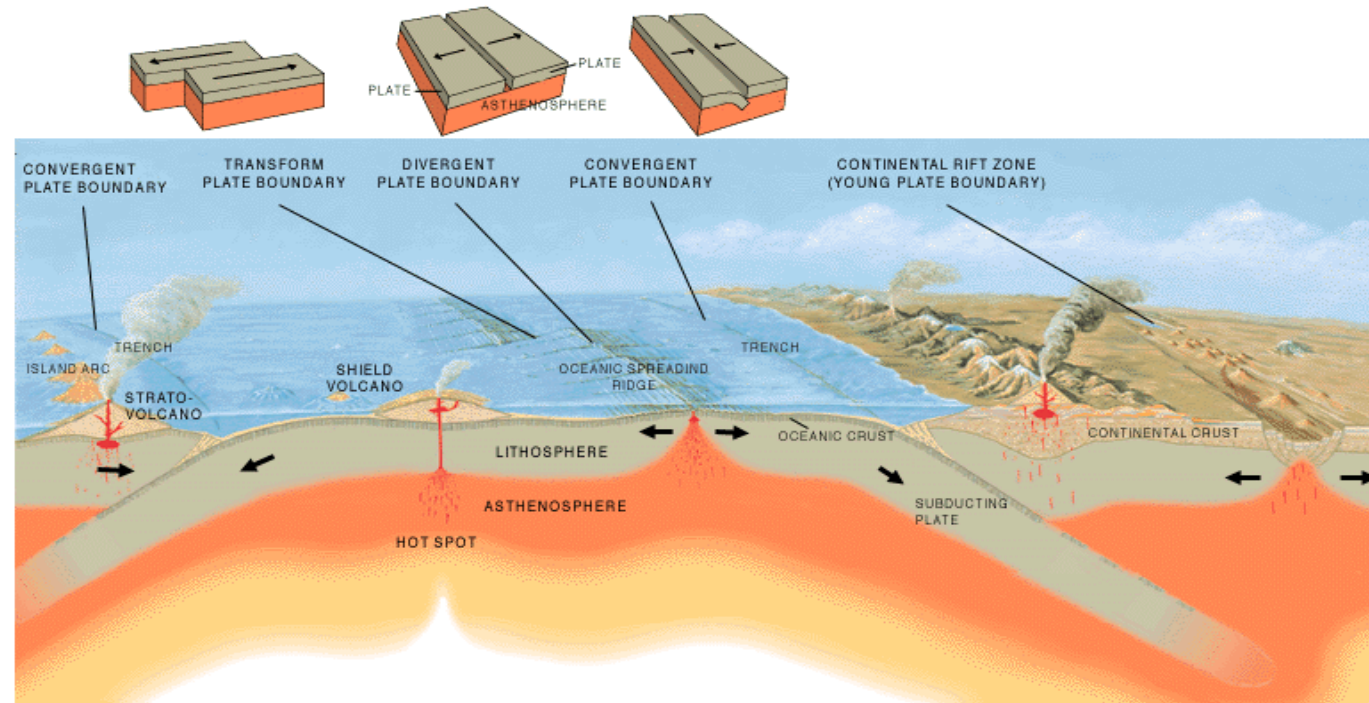
Divergent plate boundary



Margini conservativi

Transform plate boundary





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.

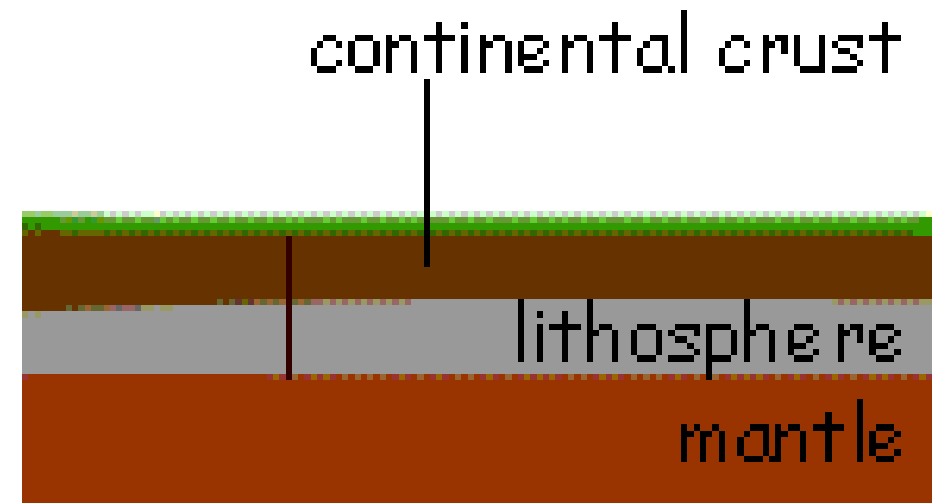
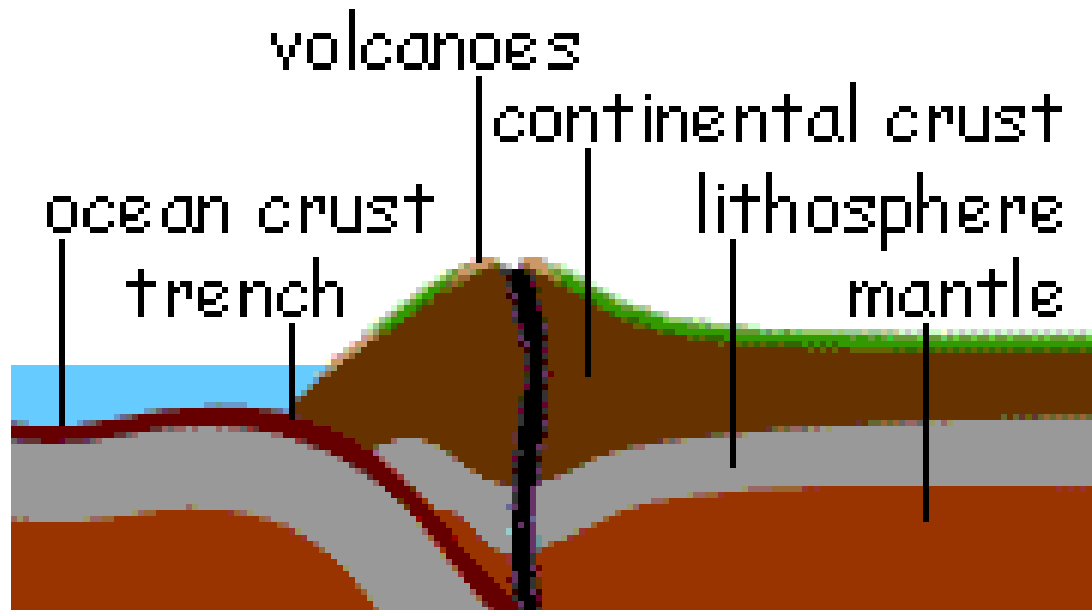
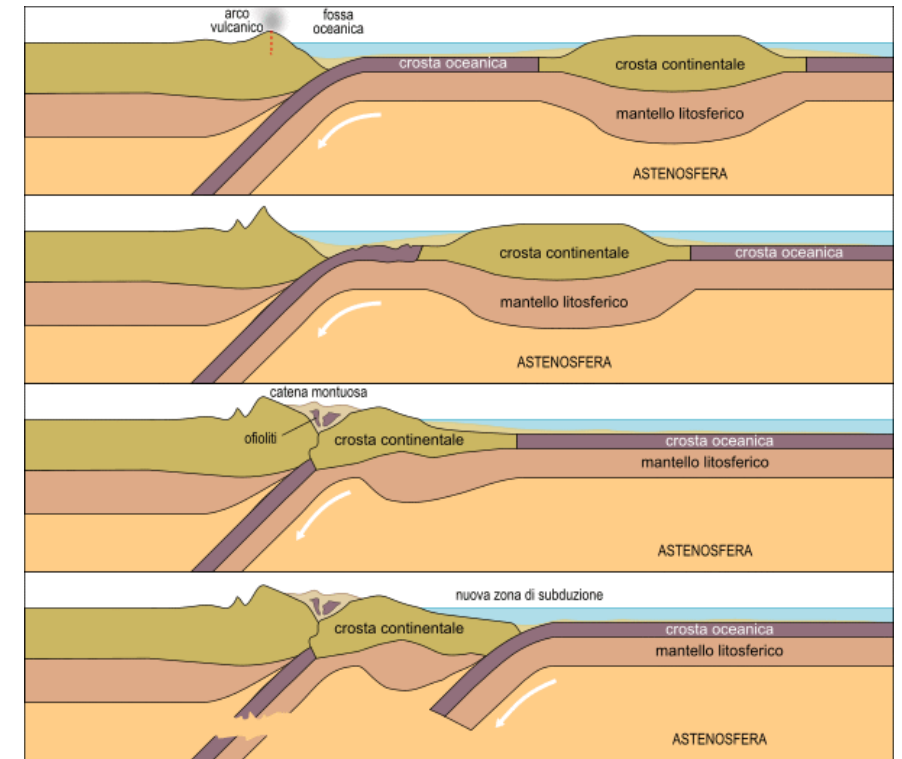
Limiti di placca **conservativi**: le placche si muovono parallelamente ai loro confini. La litosfera rimane intatta.

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?

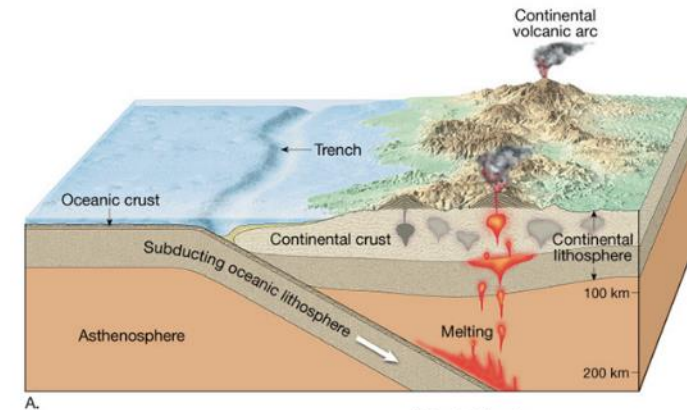
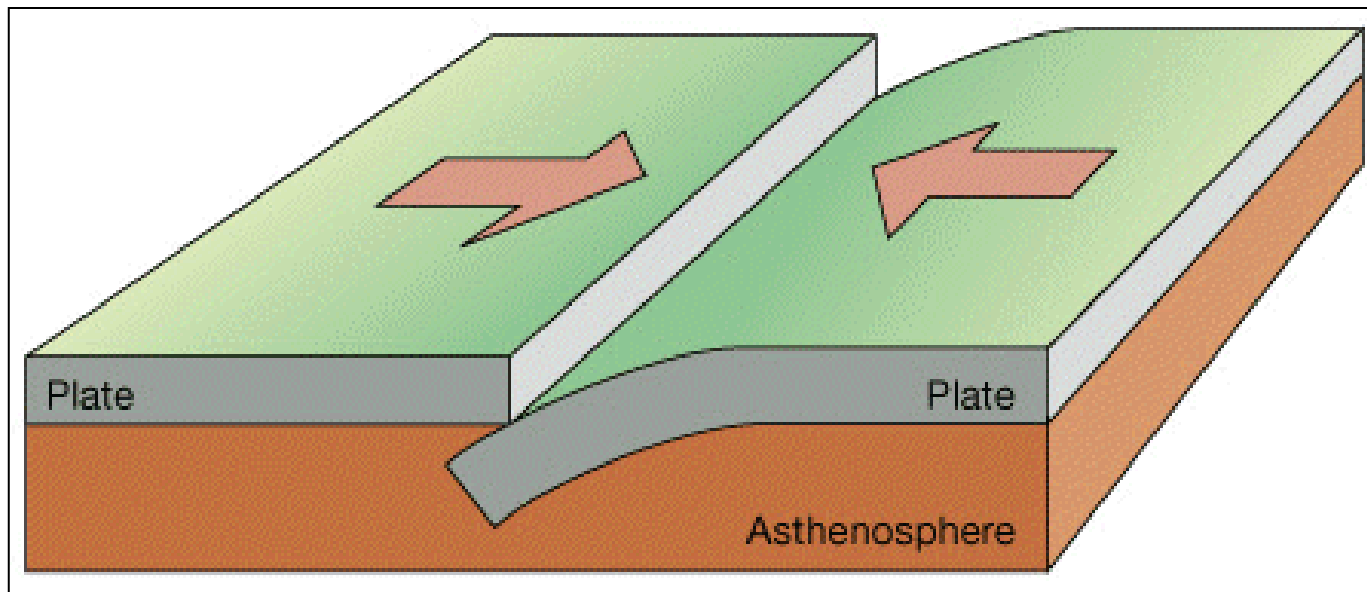
Margini convergenti/distruttivi

Le combinazioni sono di tre tipi:

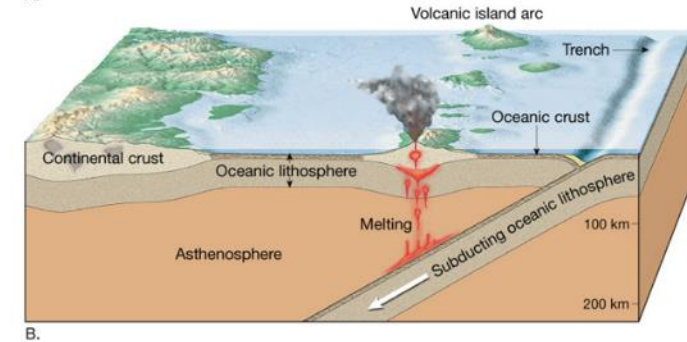
oceanica – continentale (fosse oceaniche)

oceanica – oceanica (sistemi di archi insulari)

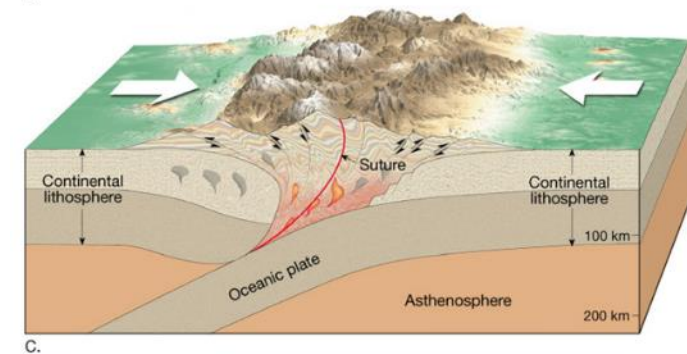
continentale – continentale (catene montuose)



Oceanica
Continental



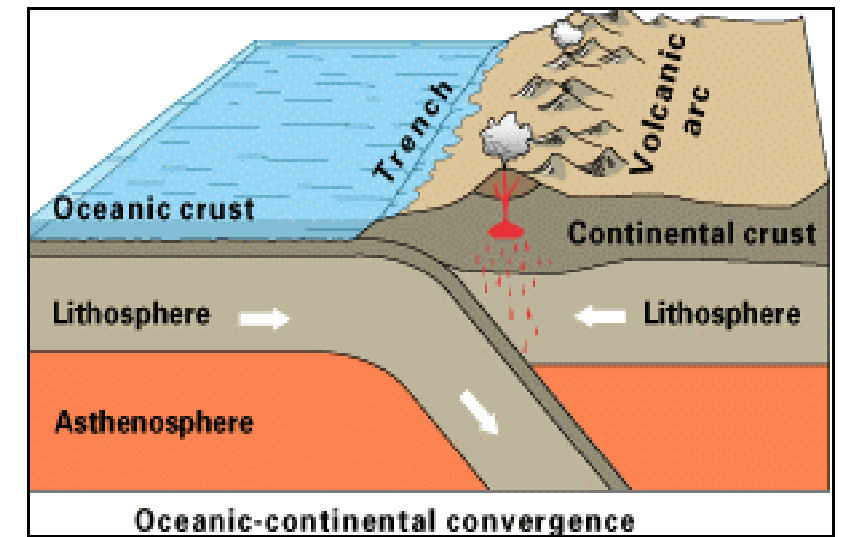
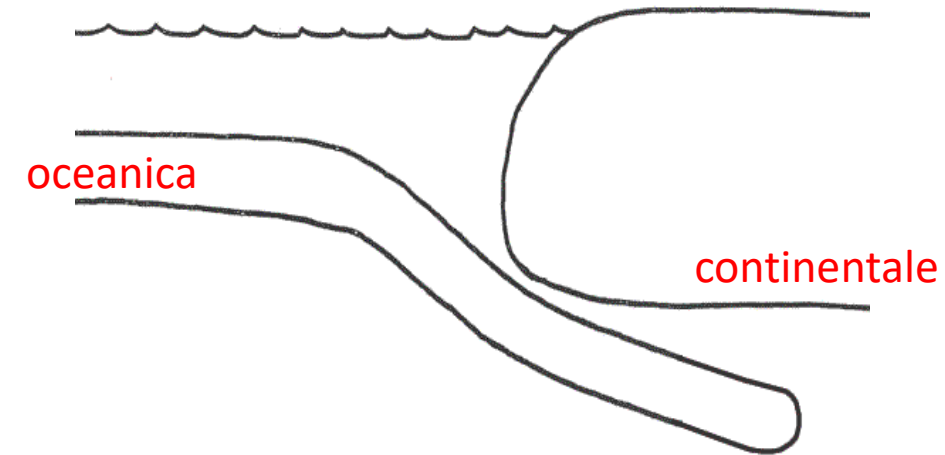
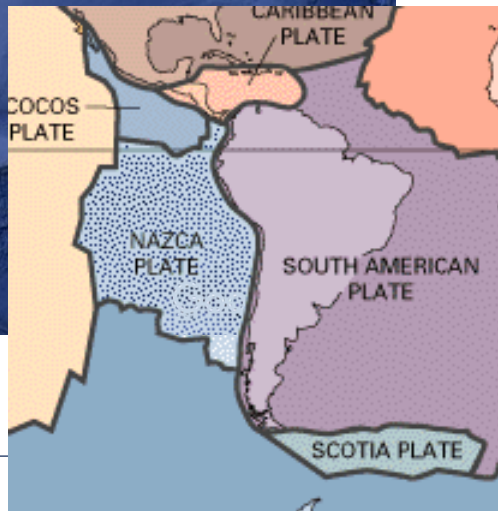
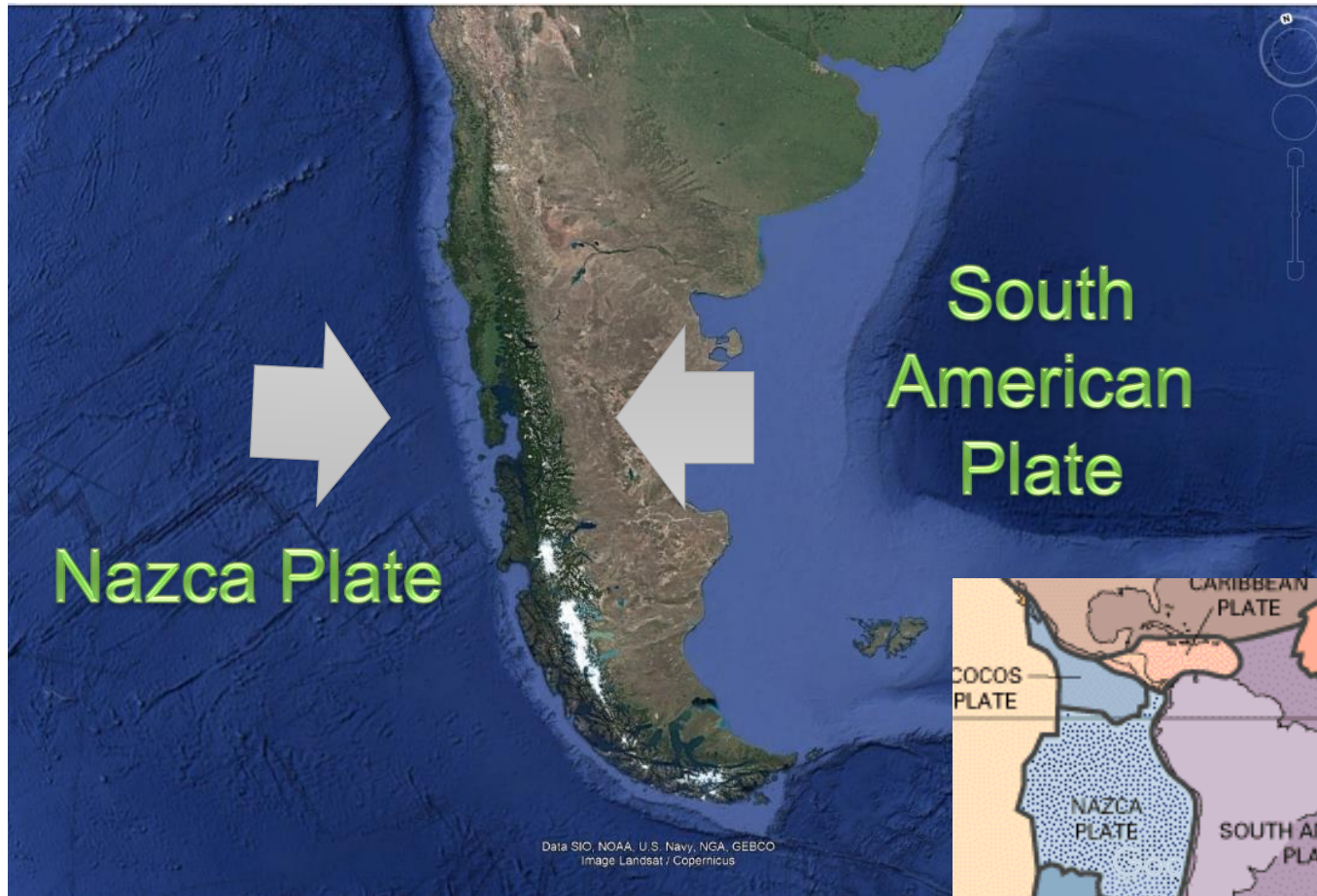
Oceanica
Oceanica



Continental
Continental

Tettonica delle placche: cosa dice?

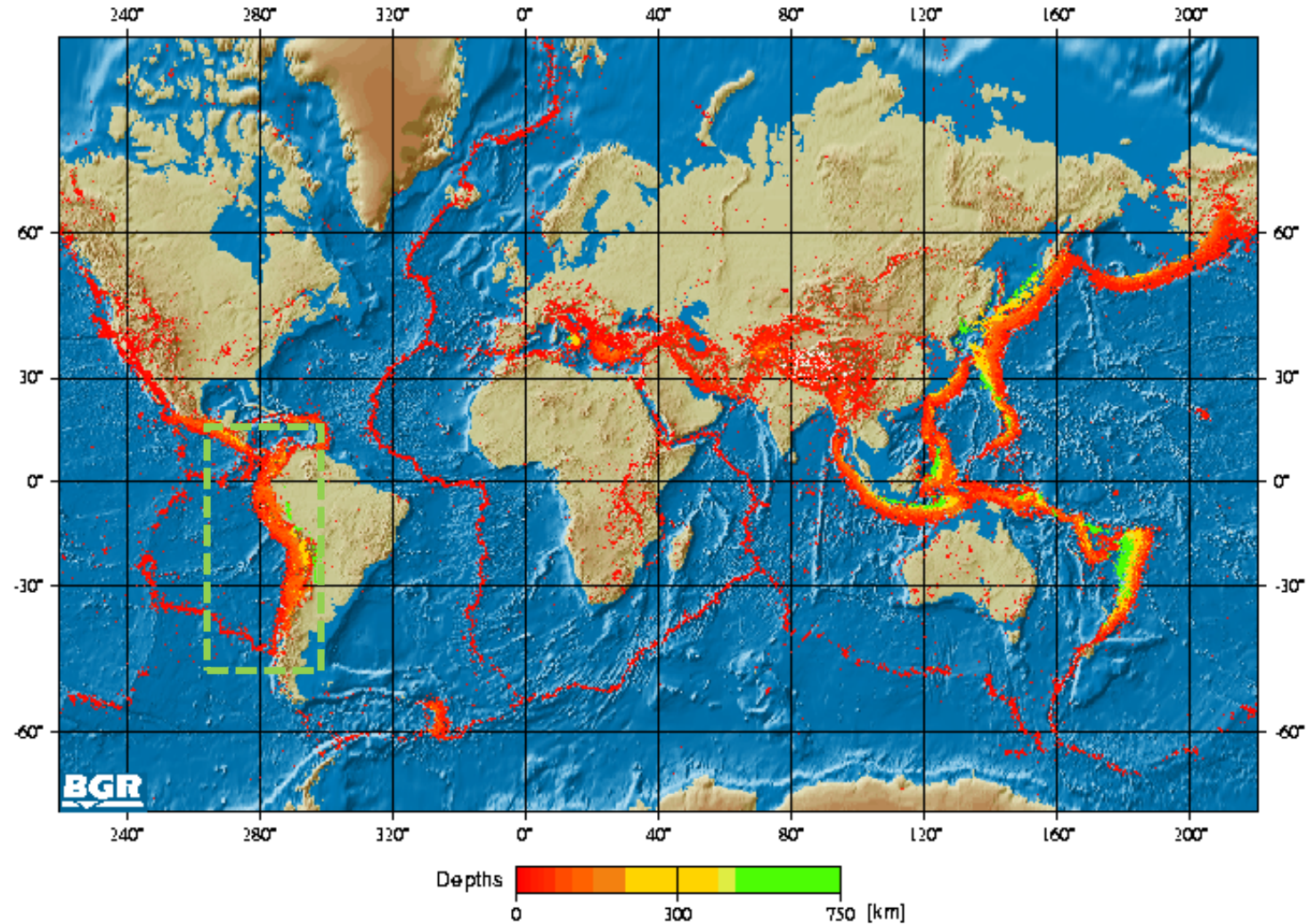
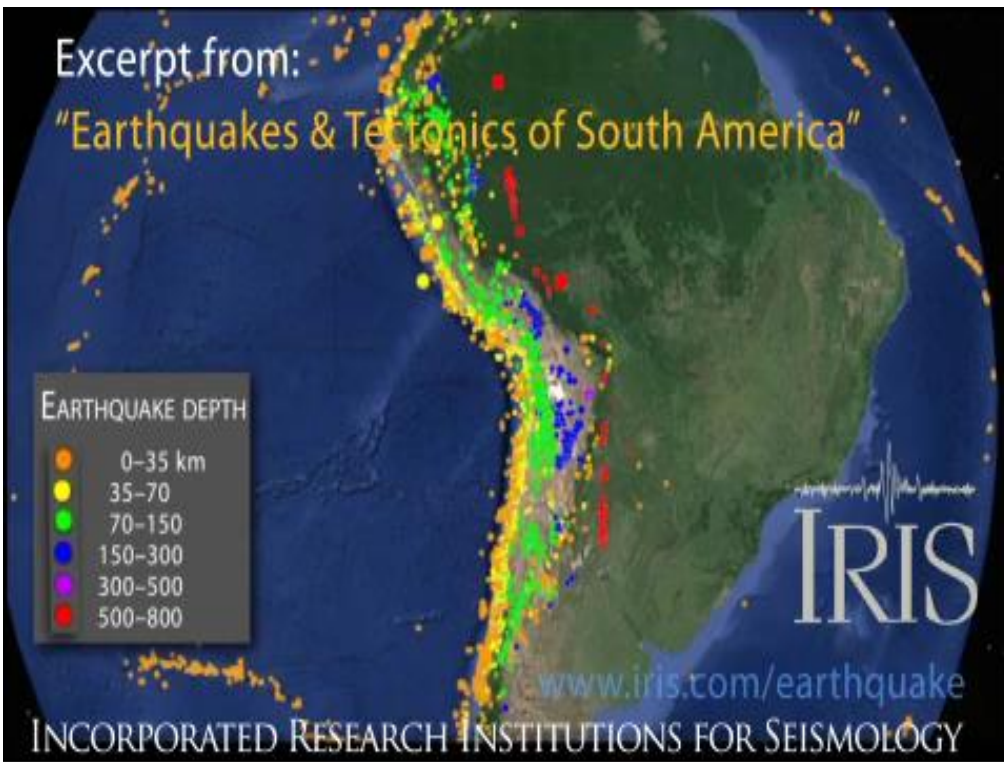
Margini convergenti/distruttivi: oceanica e continentale



Tettonica delle placche: cosa dice?

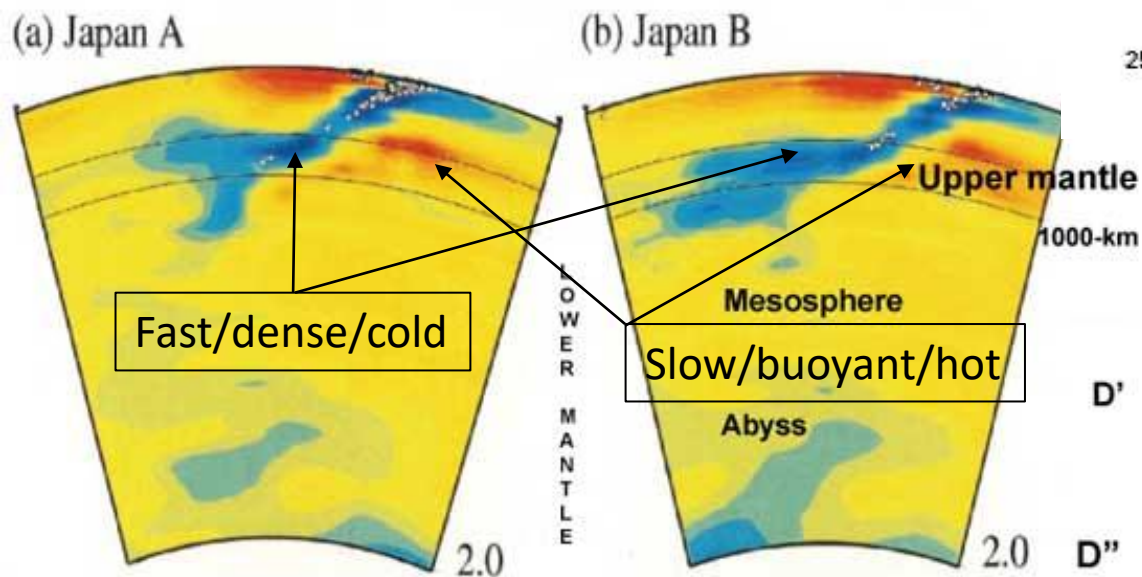
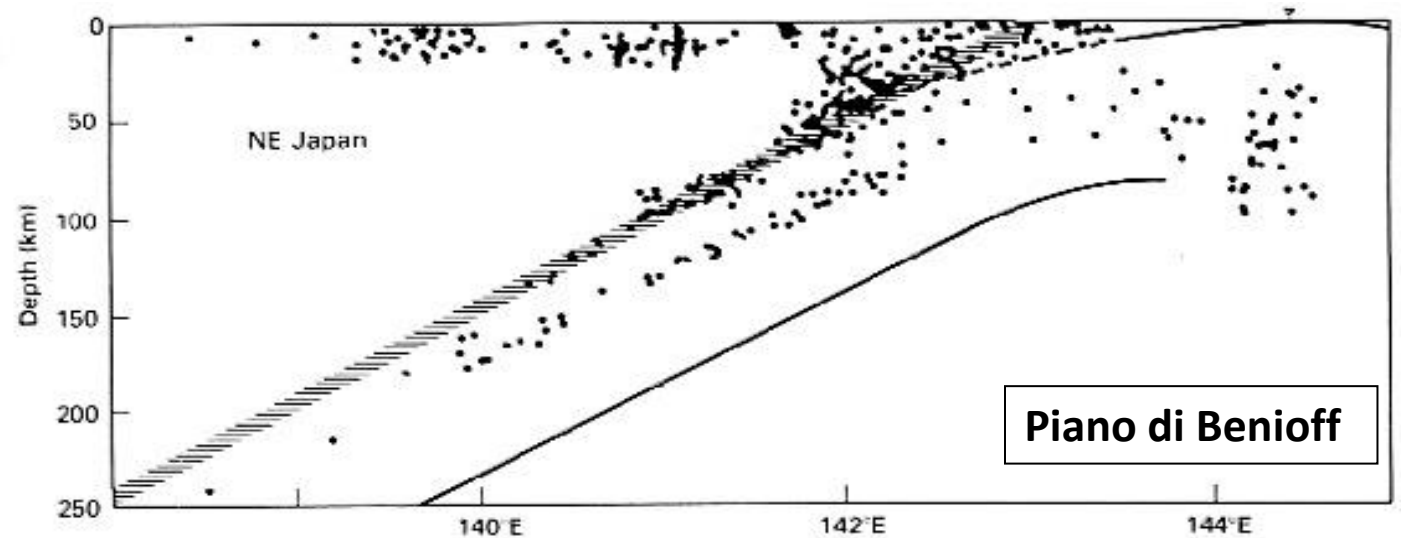
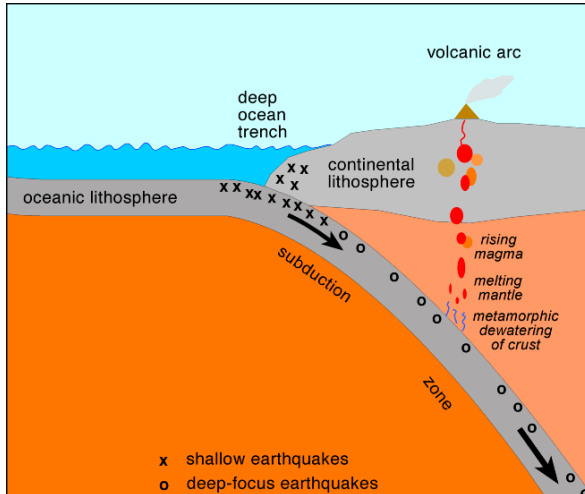
Margini convergenti/distruttivi: oceanica e continentale

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



Tettonica delle placche: cosa dice?

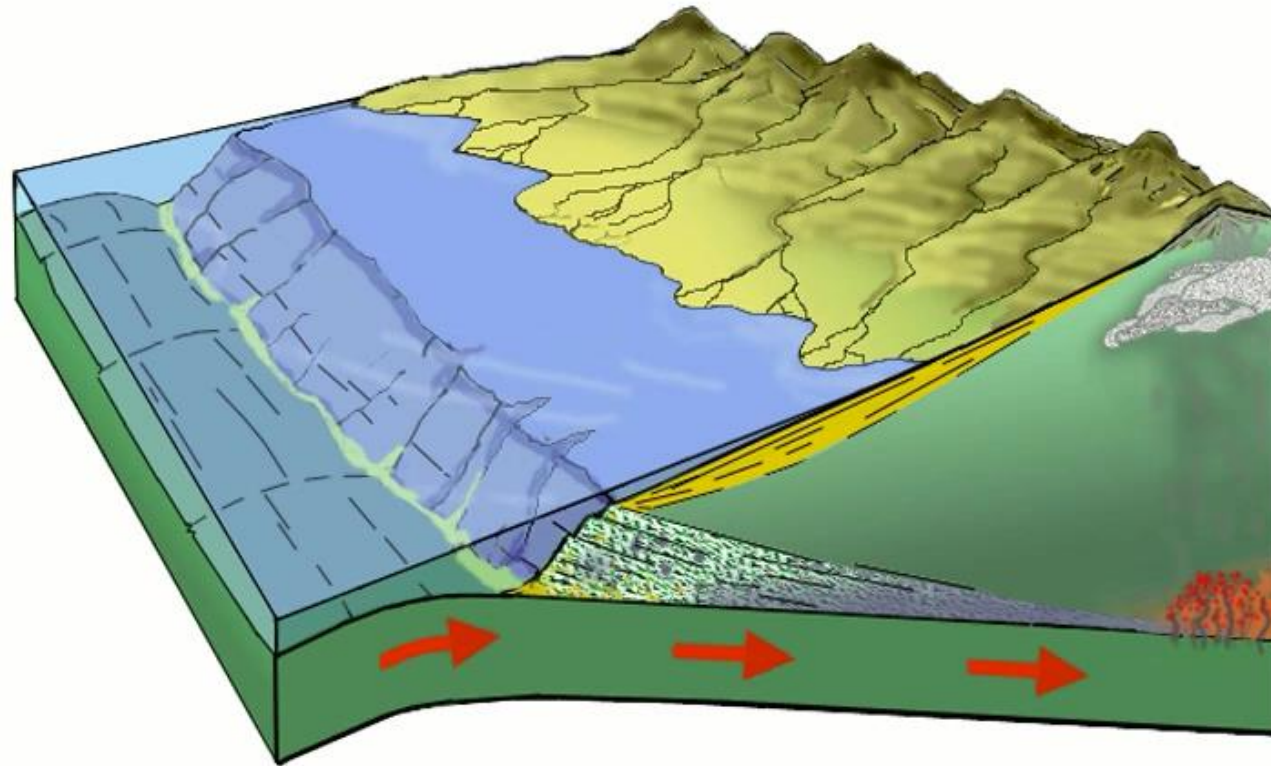
Margini convergenti/distruttivi: oceanica e continentale



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.

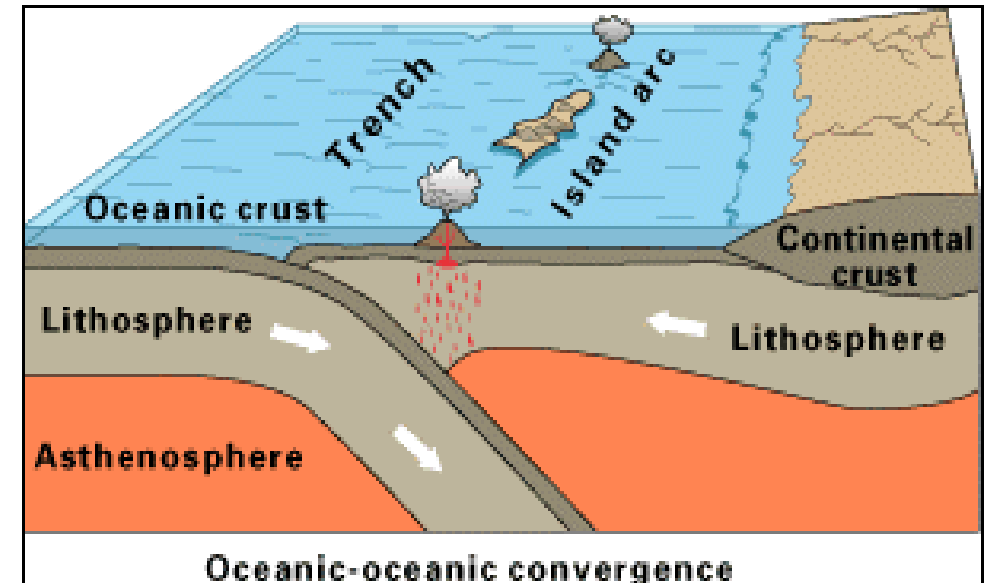
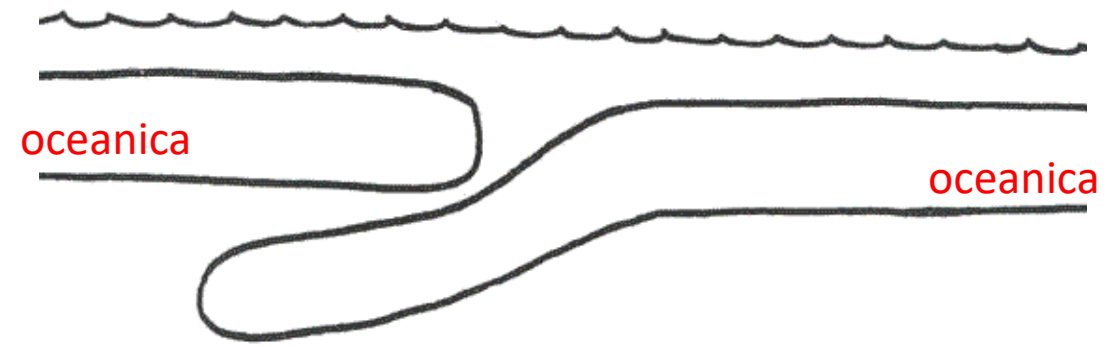
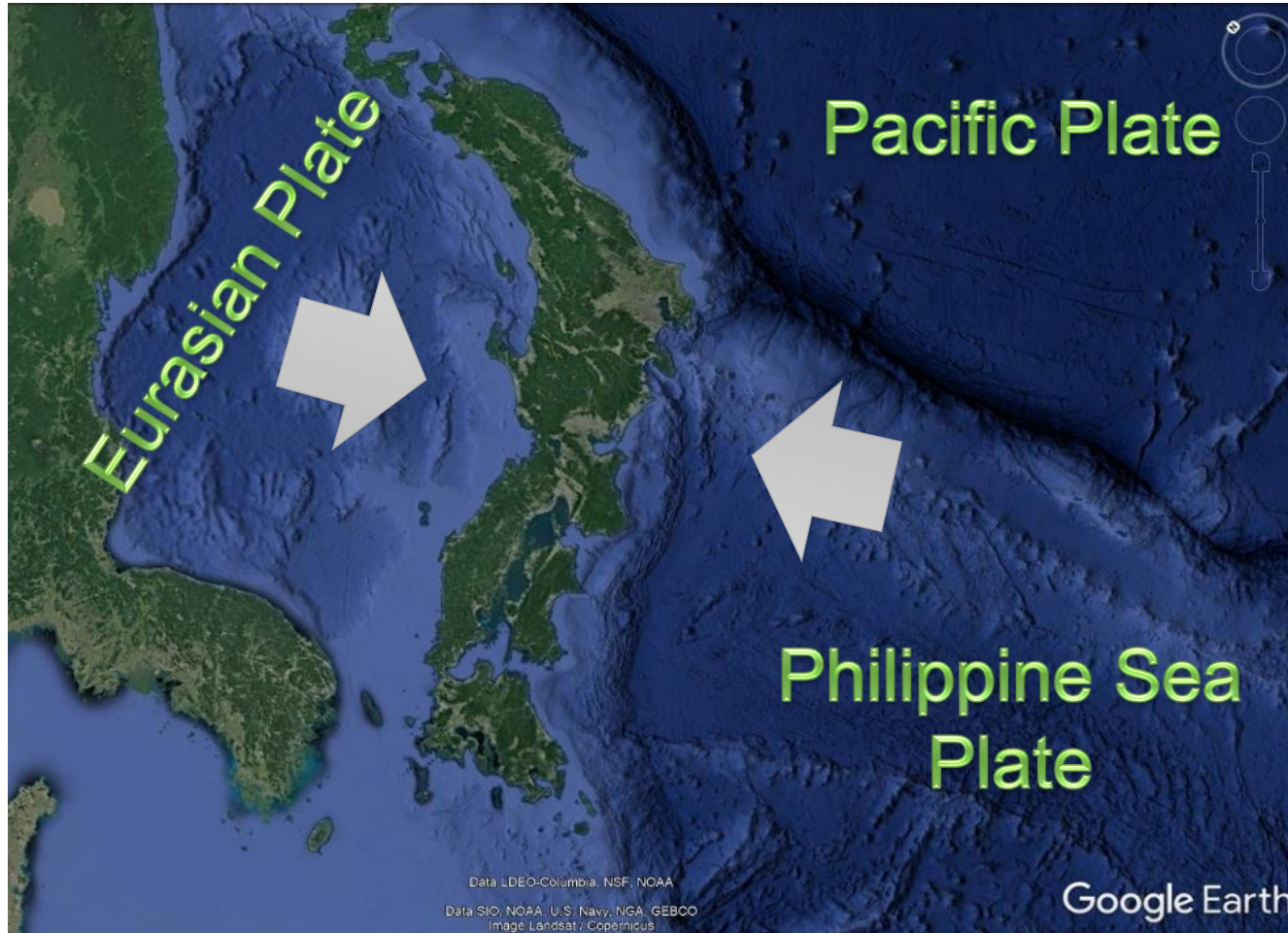
Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini convergenti/distruttivi: oceanica e continentale



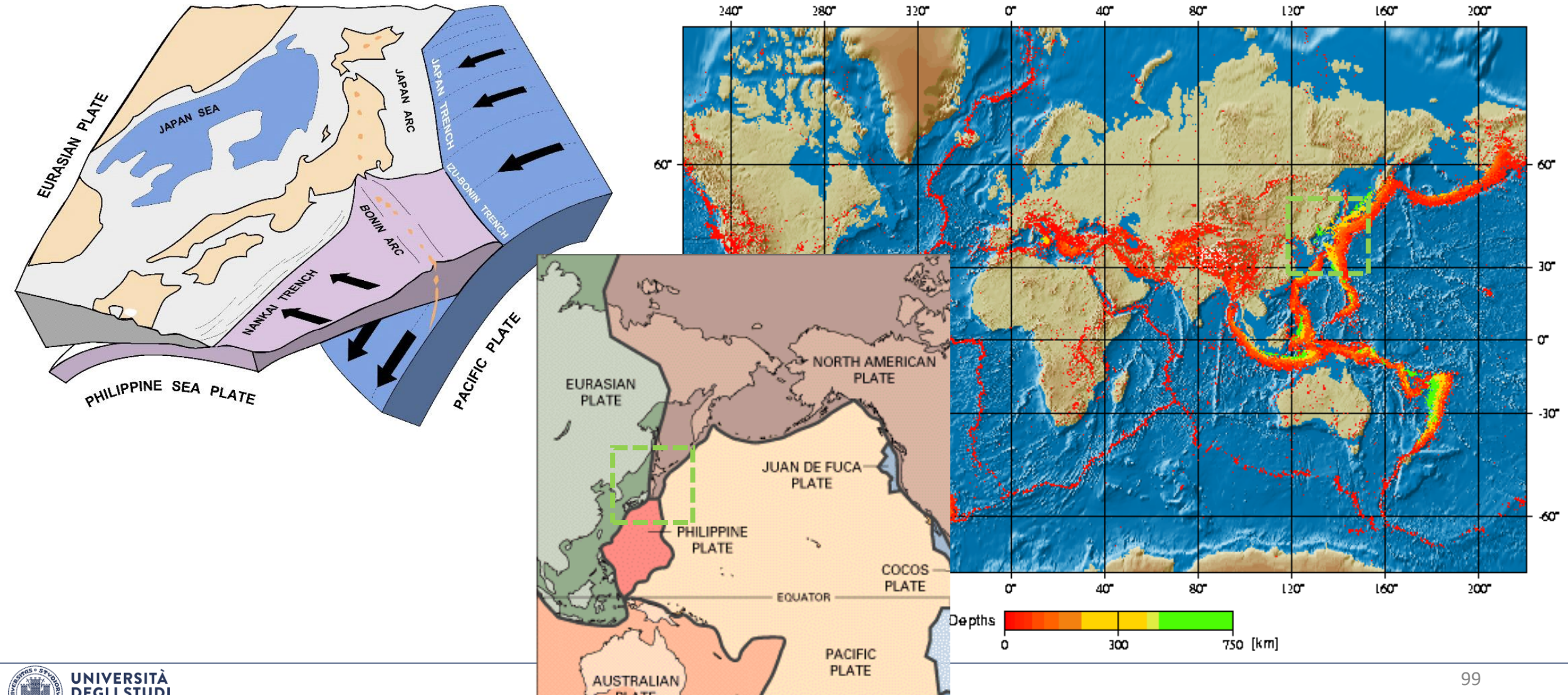
Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini convergenti/distruttivi: oceanica e oceanica



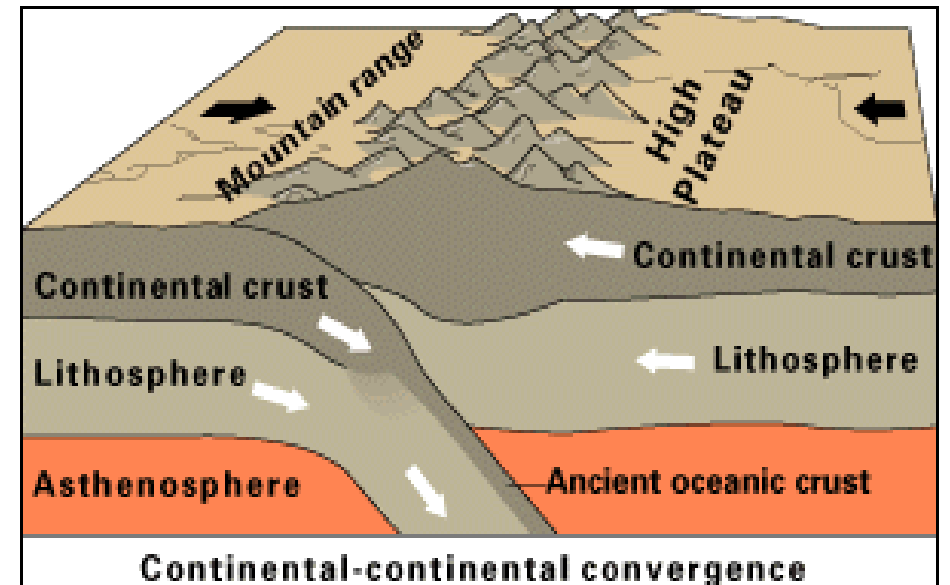
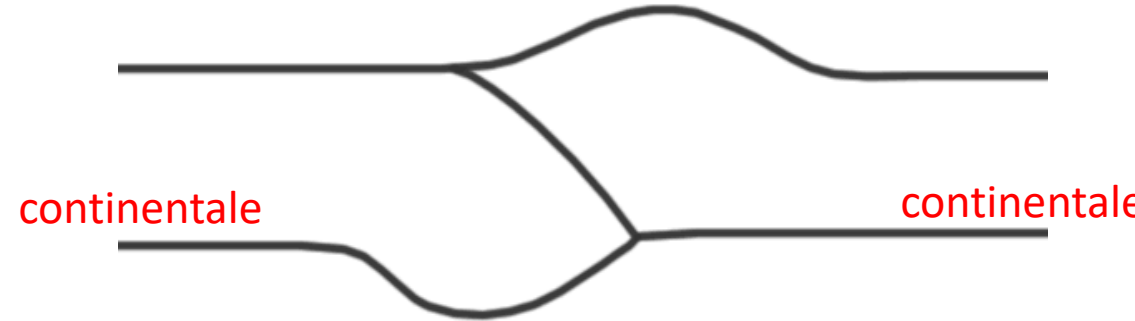
Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini convergenti/distruttivi: oceanica e oceanica



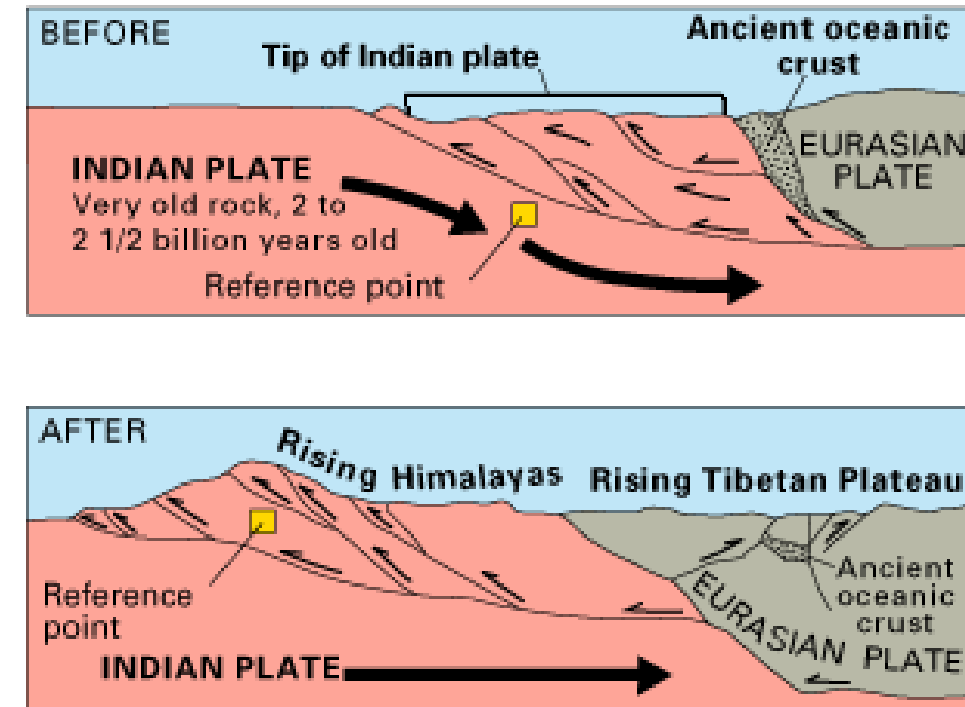
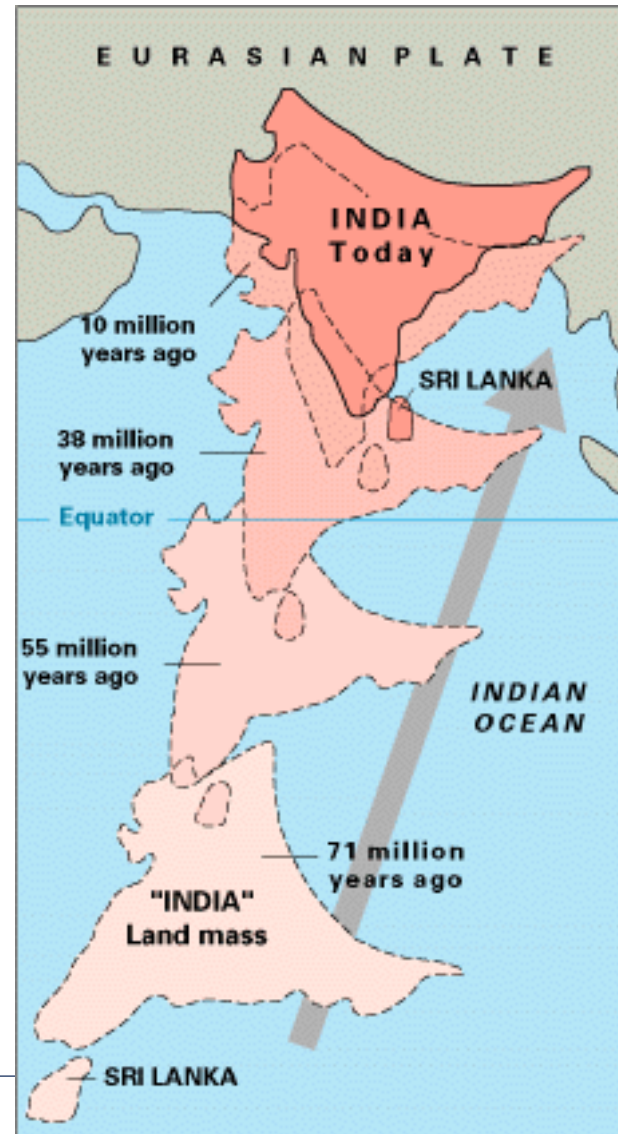
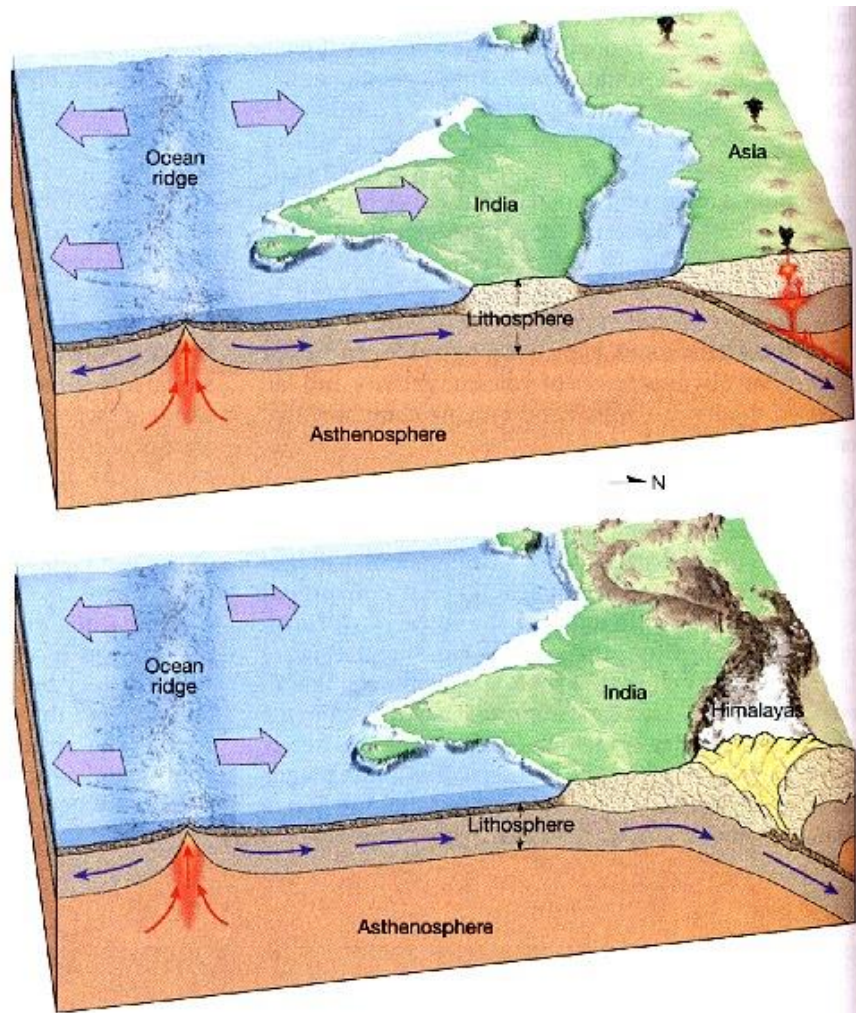
Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini convergenti/distruttivi: continentale e continentale



Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini convergenti/distruttivi: continentale e continentale

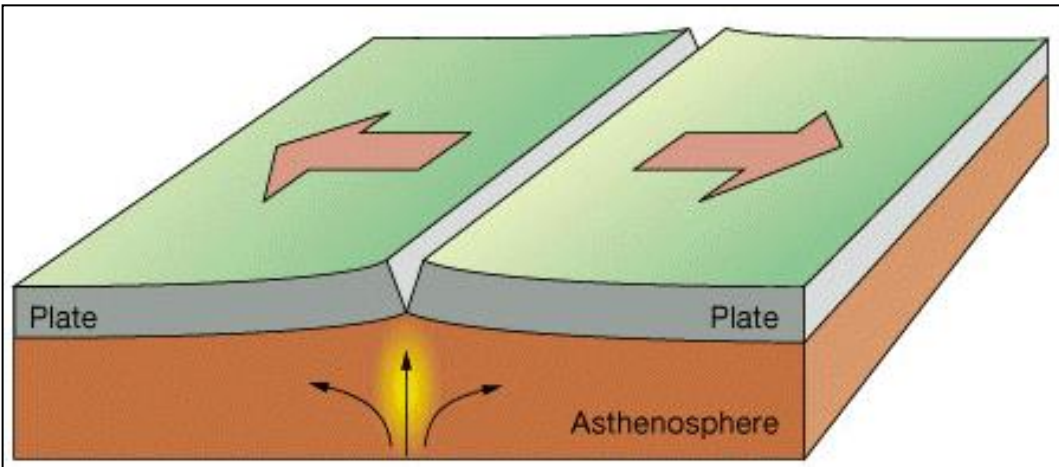
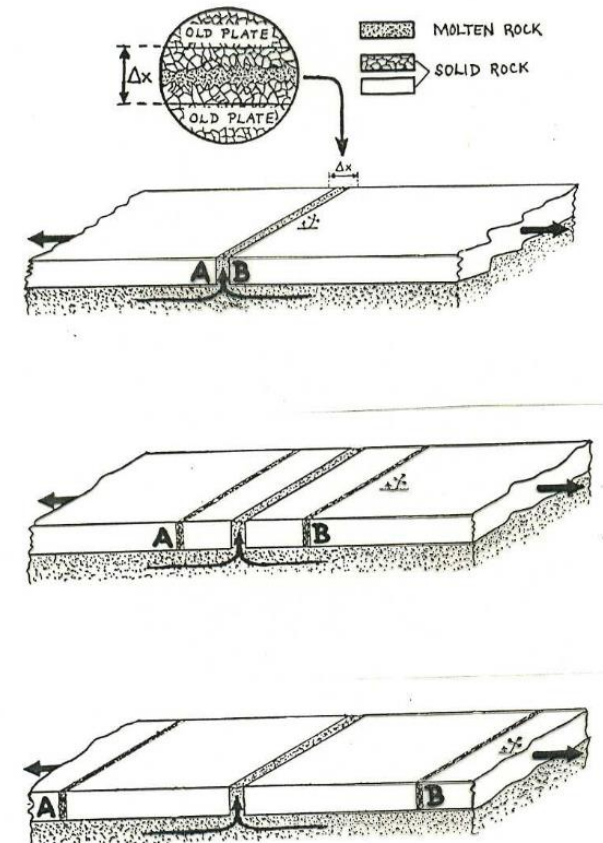


Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini divergenti/costruttivi

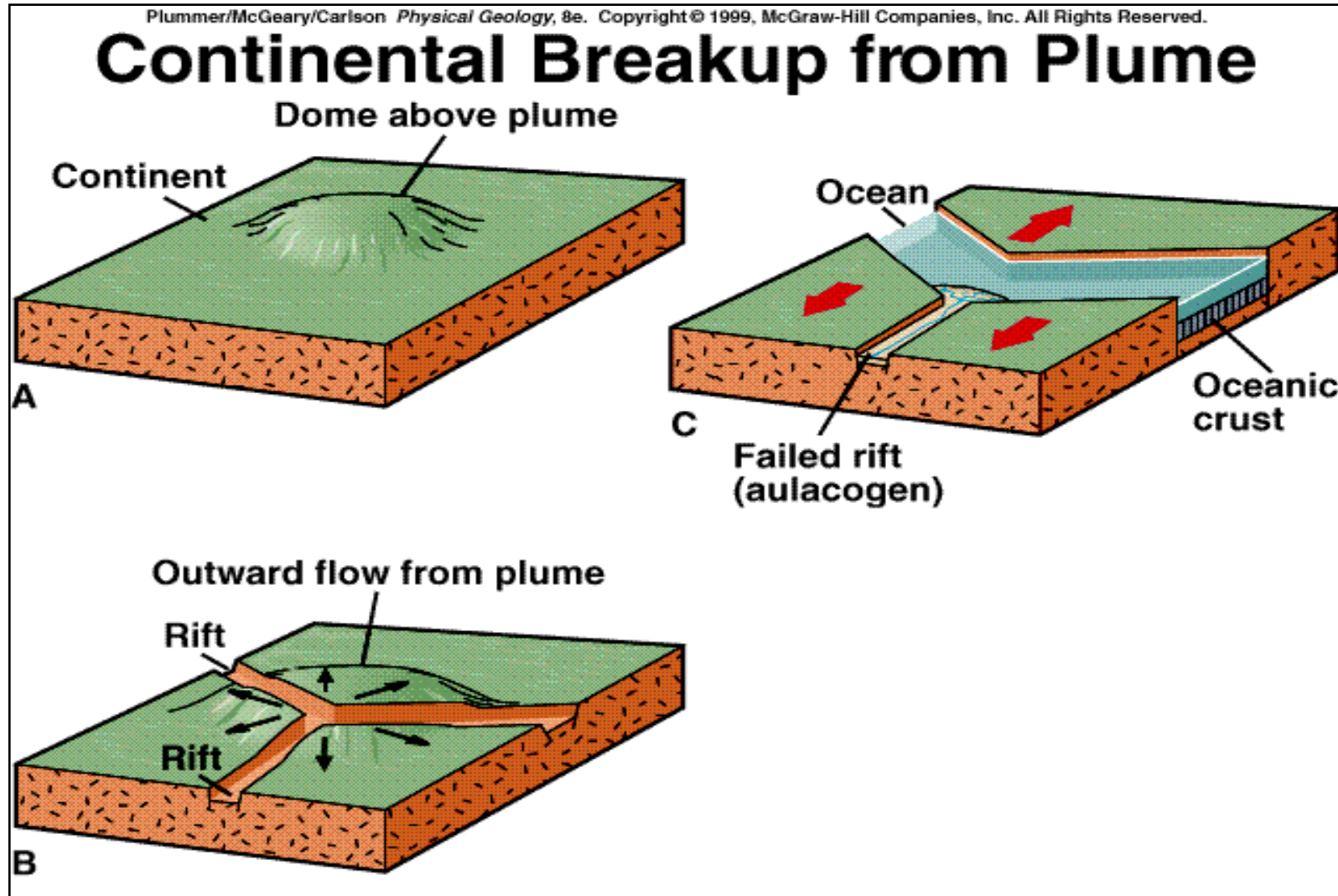
Le placche si allontanano l'una dall'altra

Nuovo materiale proveniente dal mantello si aggiunge alla placca



Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini divergenti/costruttivi

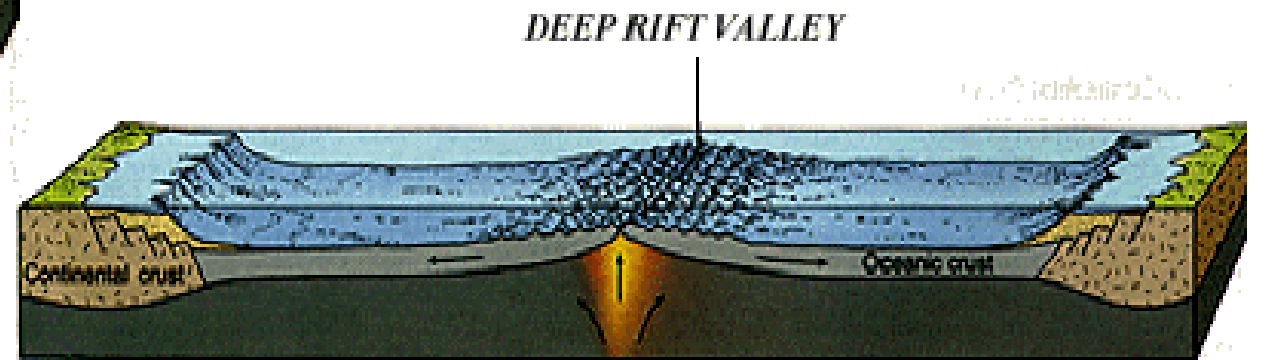
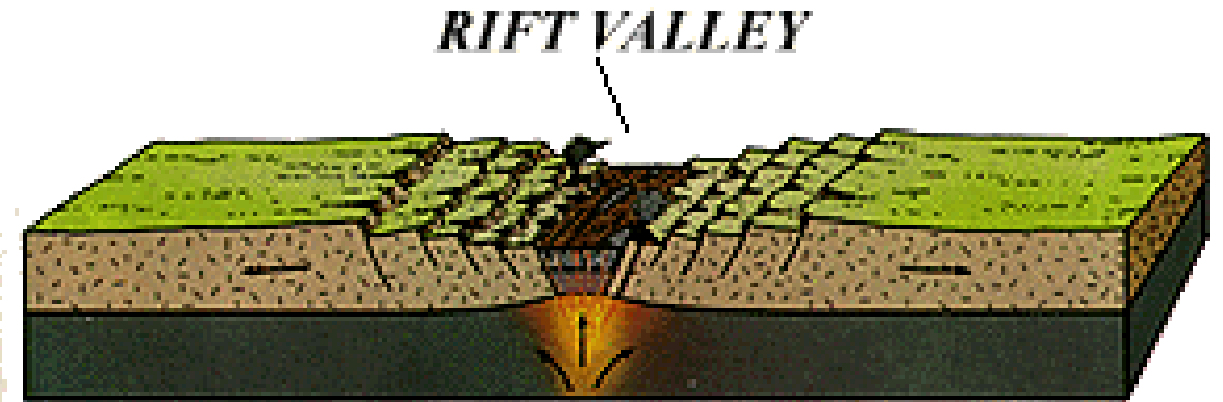
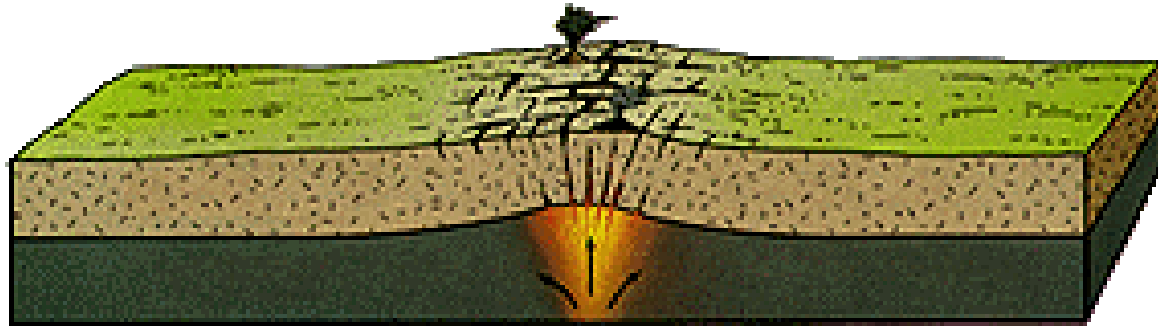


Fenomeni che si verificano:

- 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

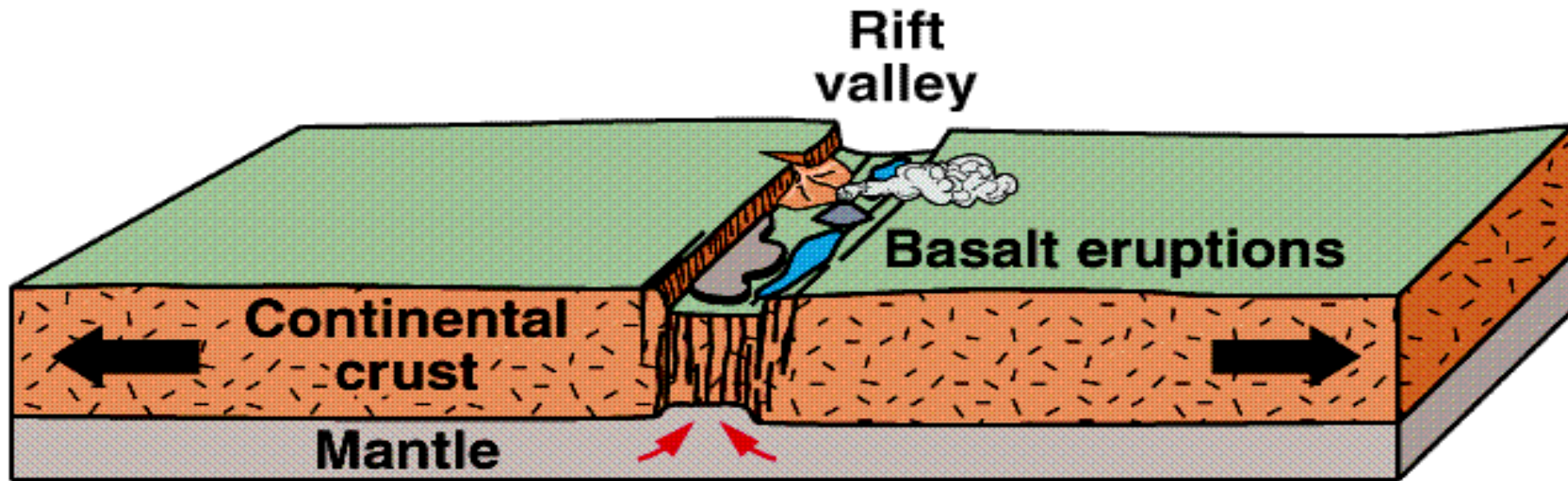


Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini divergenti/costruttivi

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

Continent Undergoes Extension



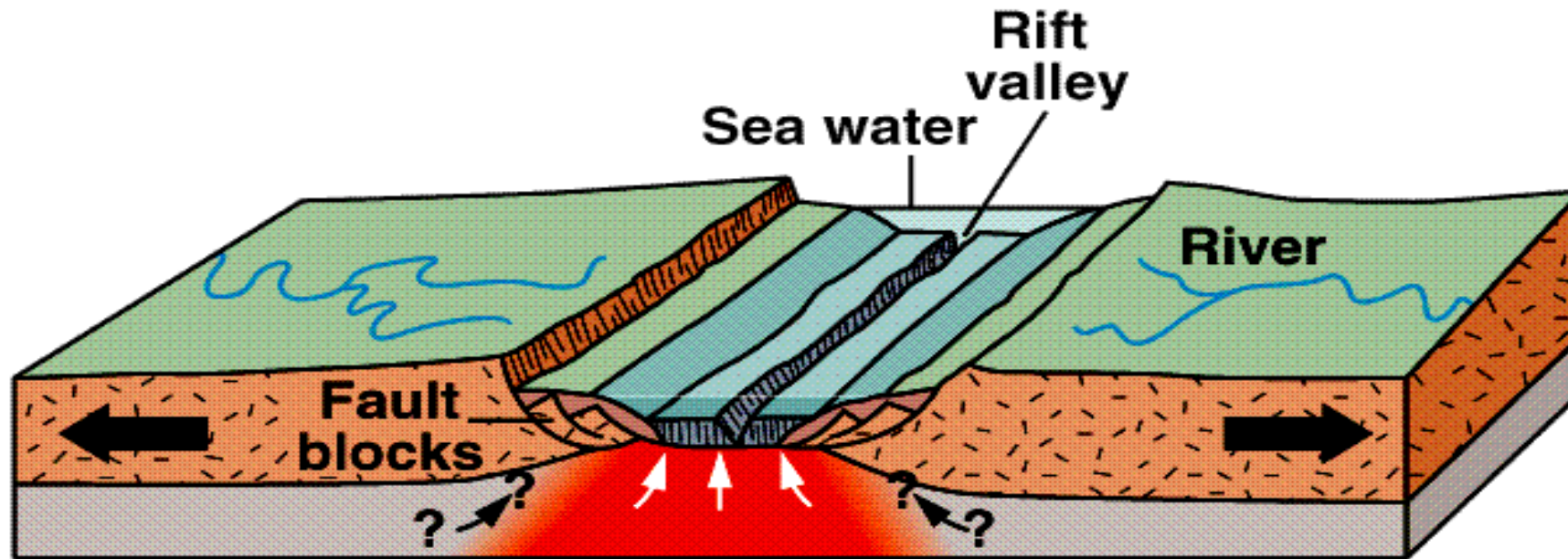
A Continent undergoes extension. The crust is thinned and a rift valley forms (East African Rift Valleys).

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

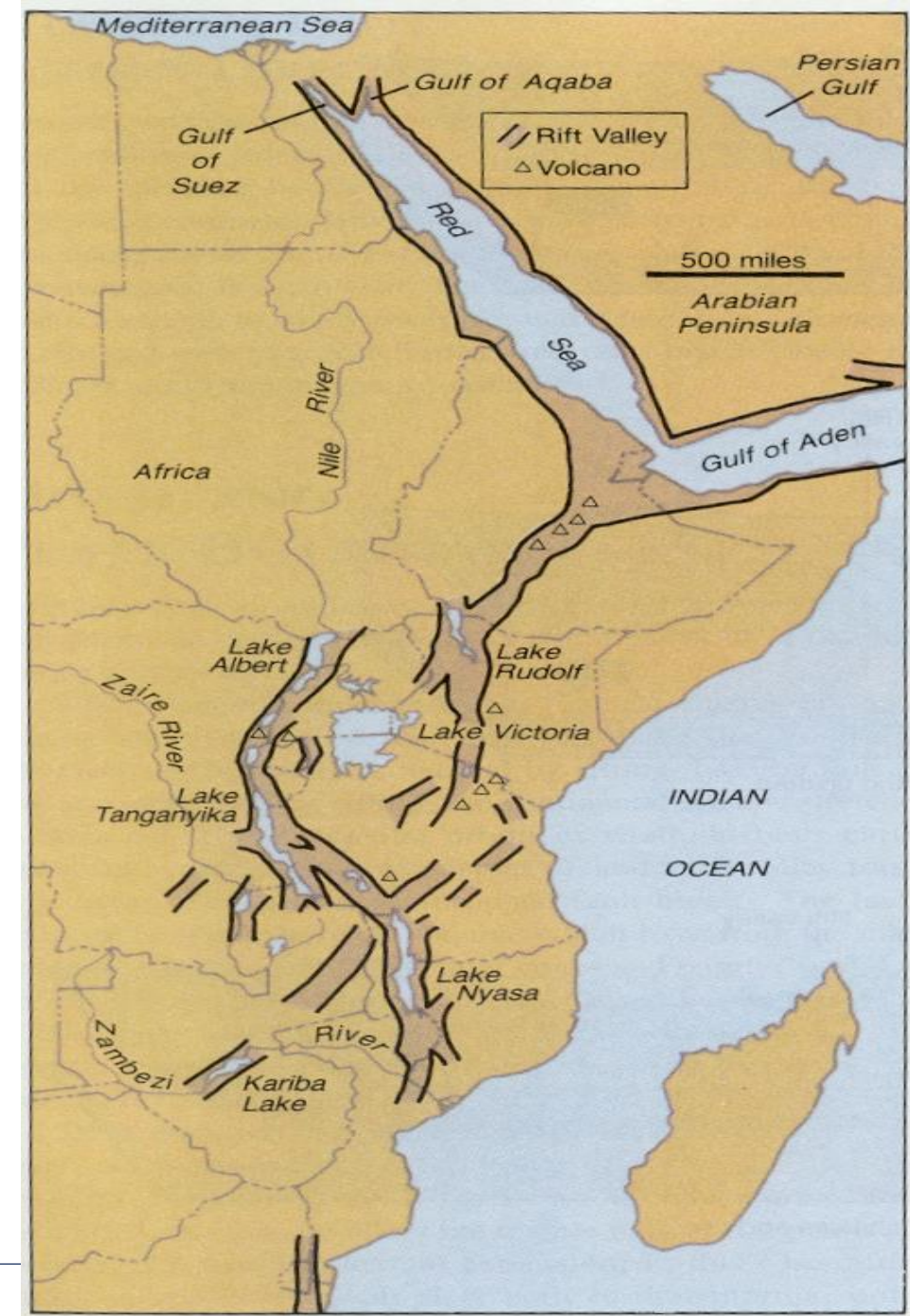
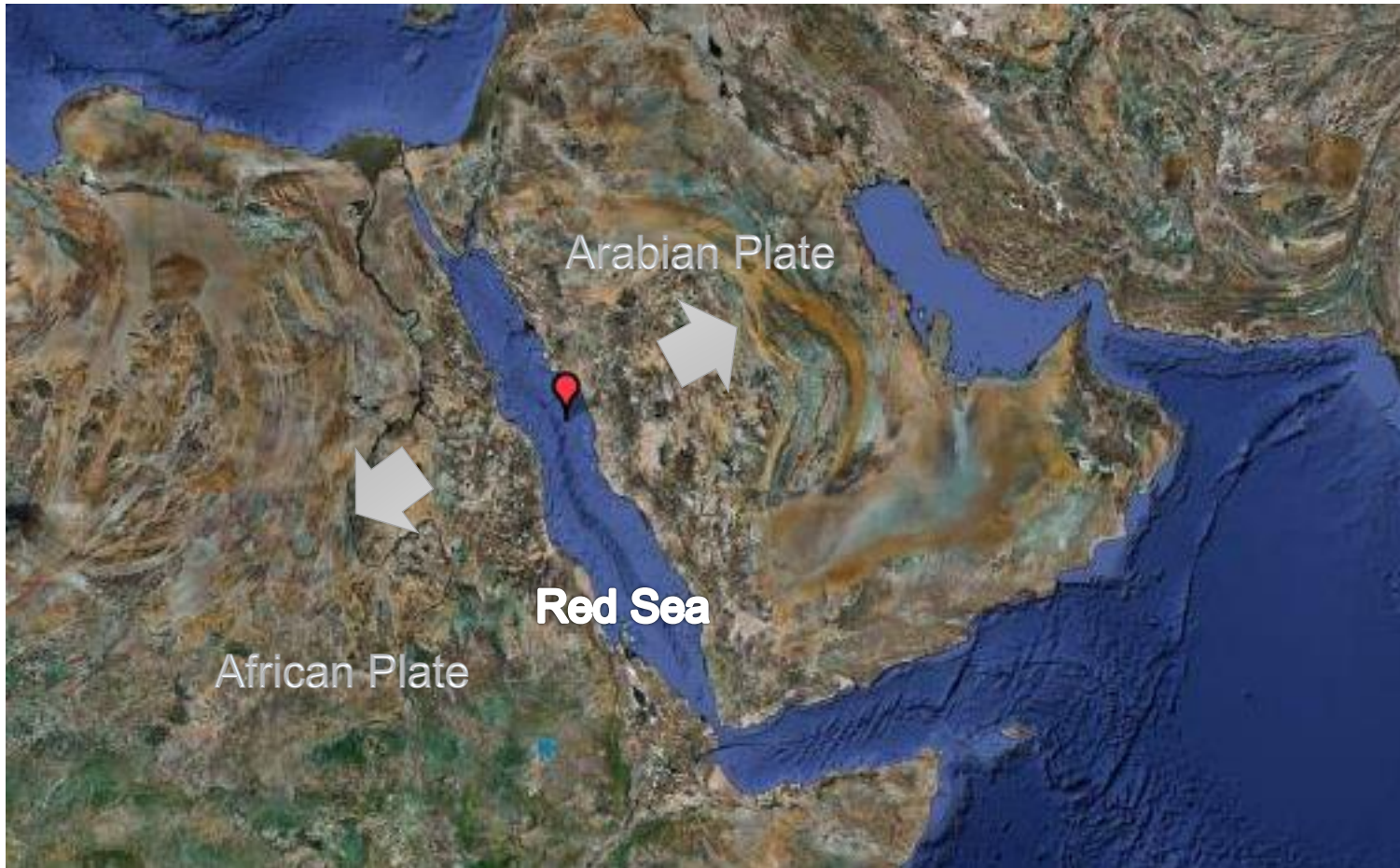


B Continent tears in two. Continent edges are faulted and uplifted. Basalt eruptions form oceanic crust (Red Sea).

Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini divergenti/costruttivi

East African Rift System

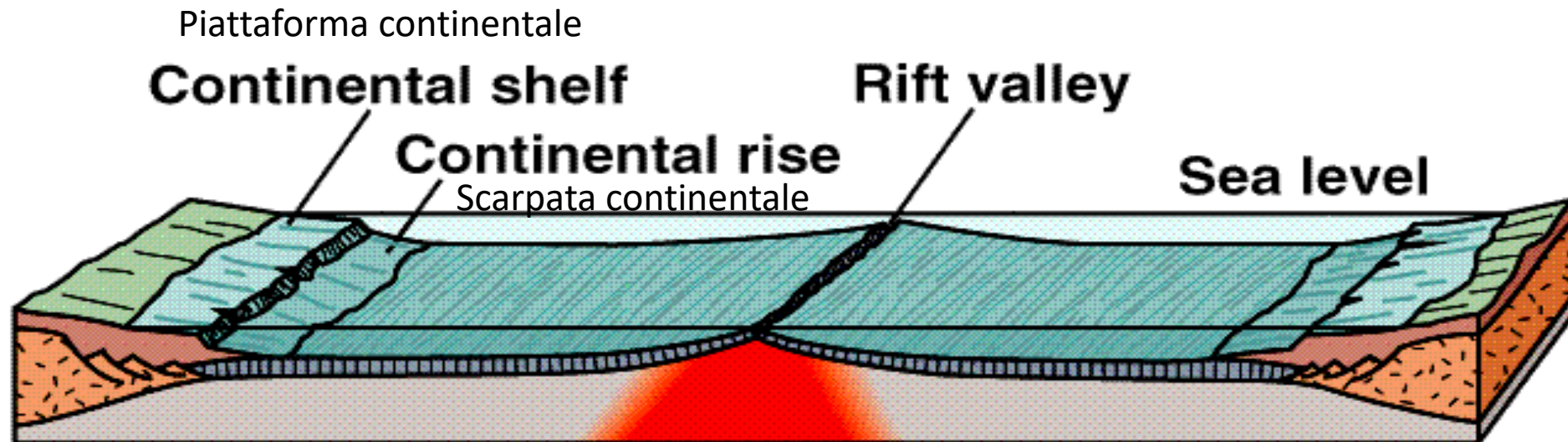


Tettonica delle placche: cosa dice?

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:

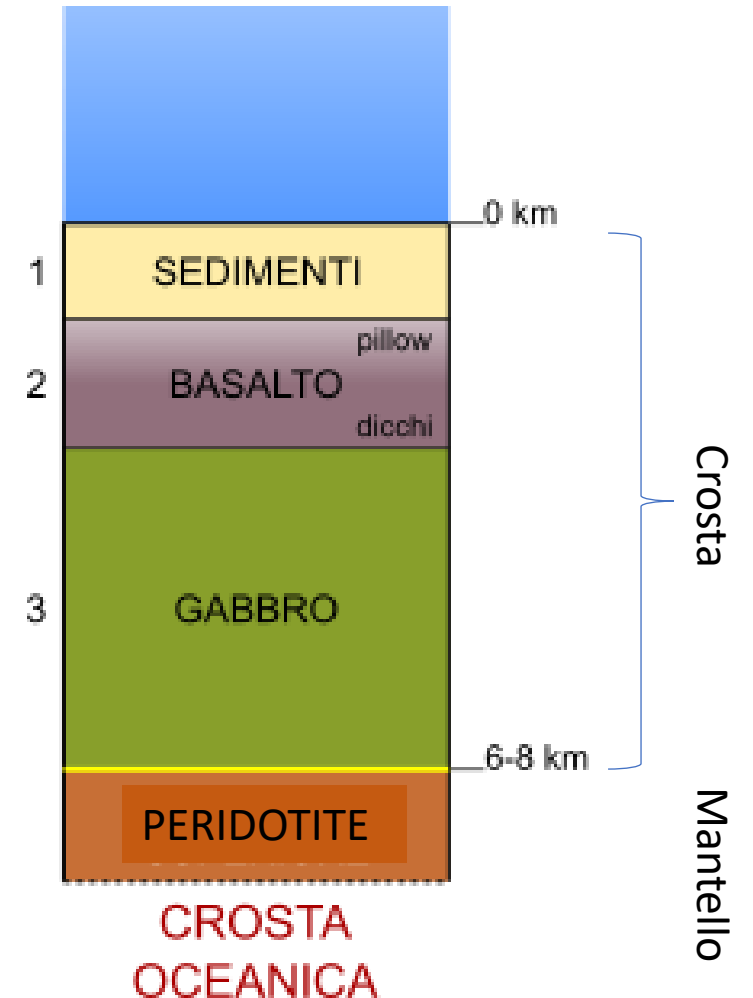
lunghezza: 70,000 km

larghezza: 30-35 km

profondità: 1-2 km

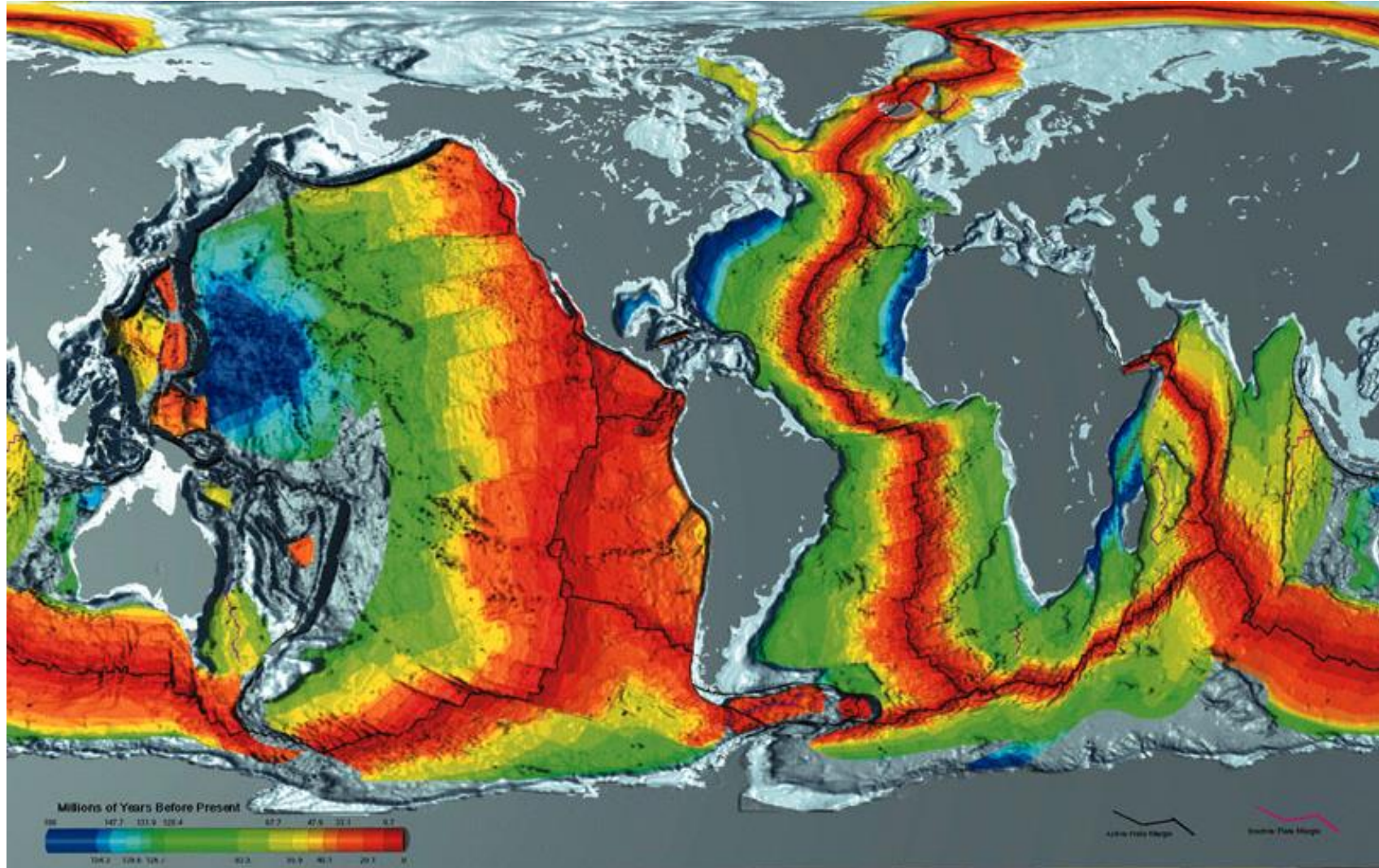
Nuova crosta oceanica: sequenza ofiolitica

I sedimenti ricoprono i margini continentali che sono passivi



Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini divergenti/costruttivi

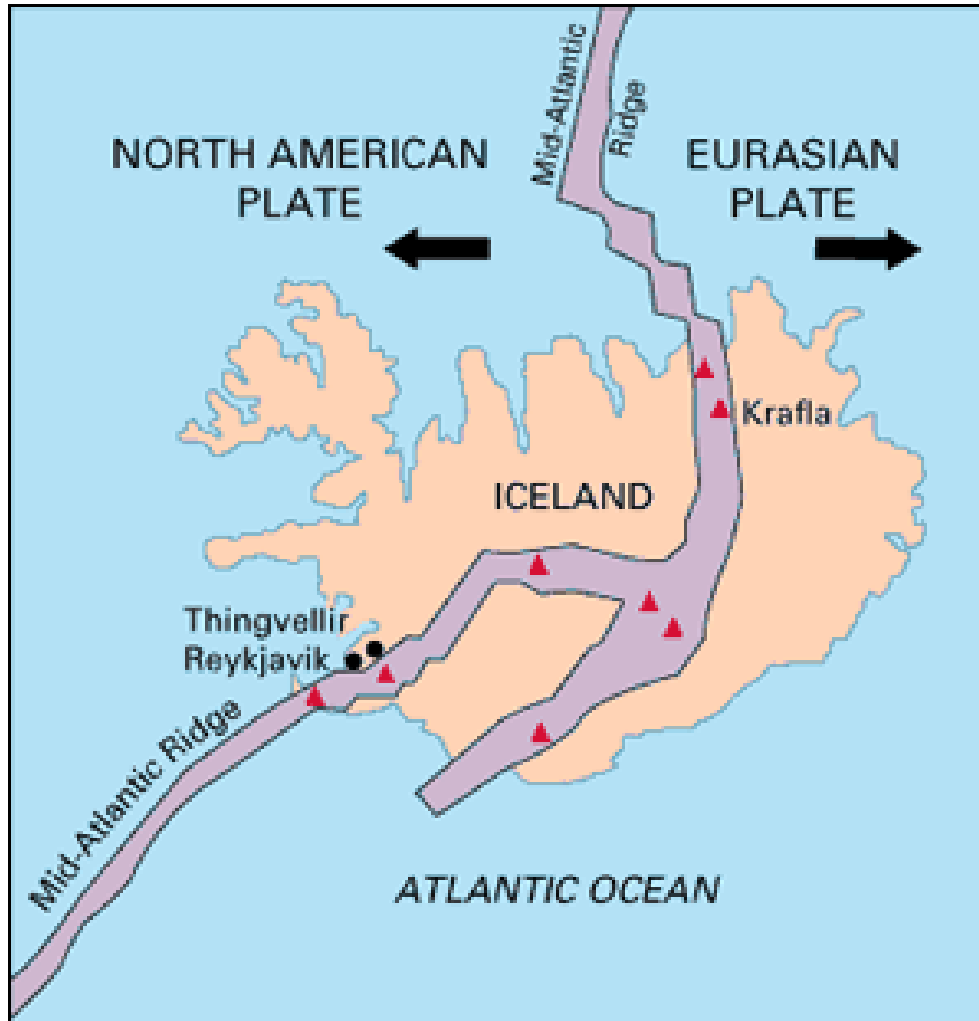


Rosso = più giovane
Blu = più antico

Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini divergenti/costruttivi

Islanda

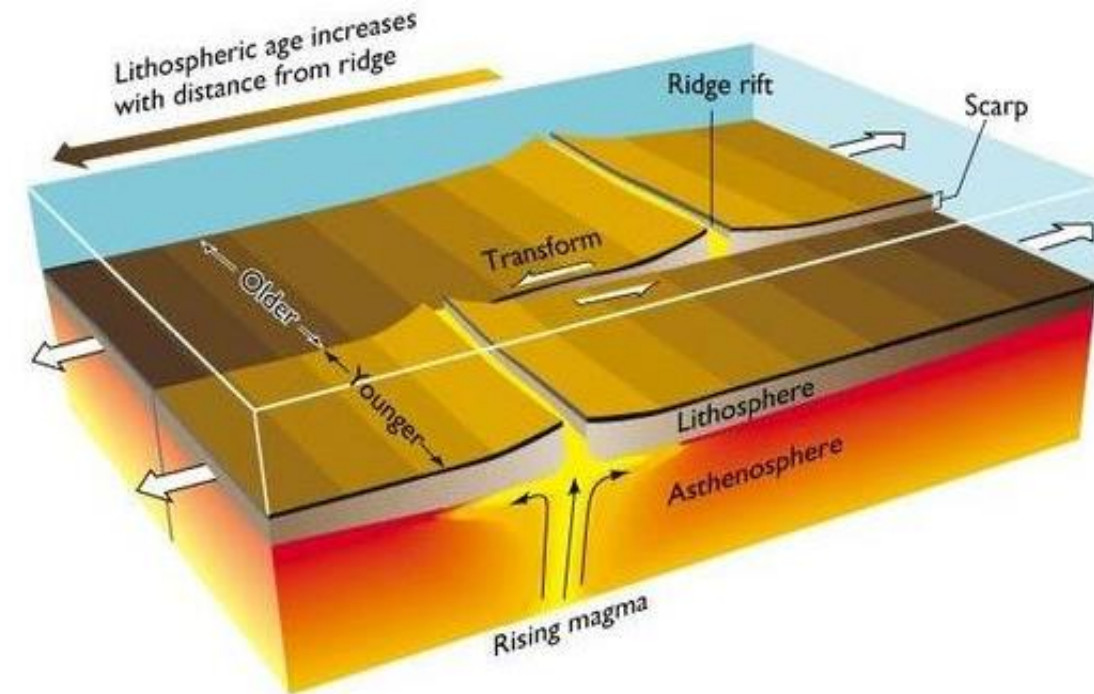
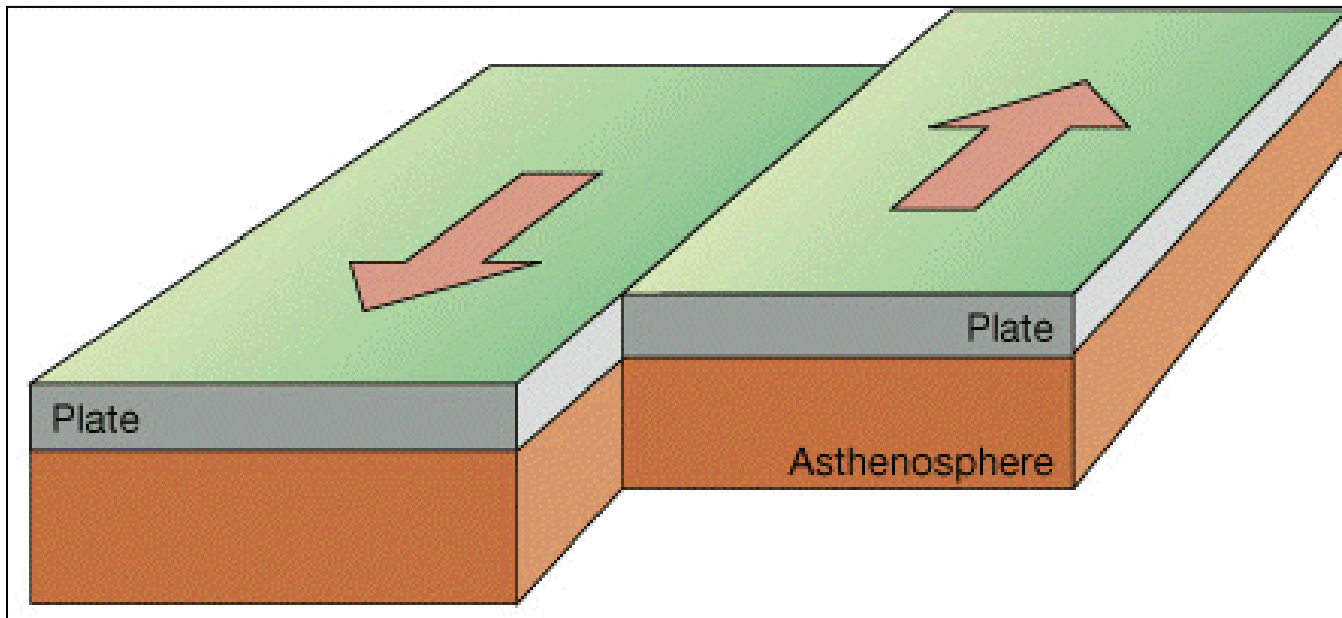


Tettonica delle placche: cosa dice?

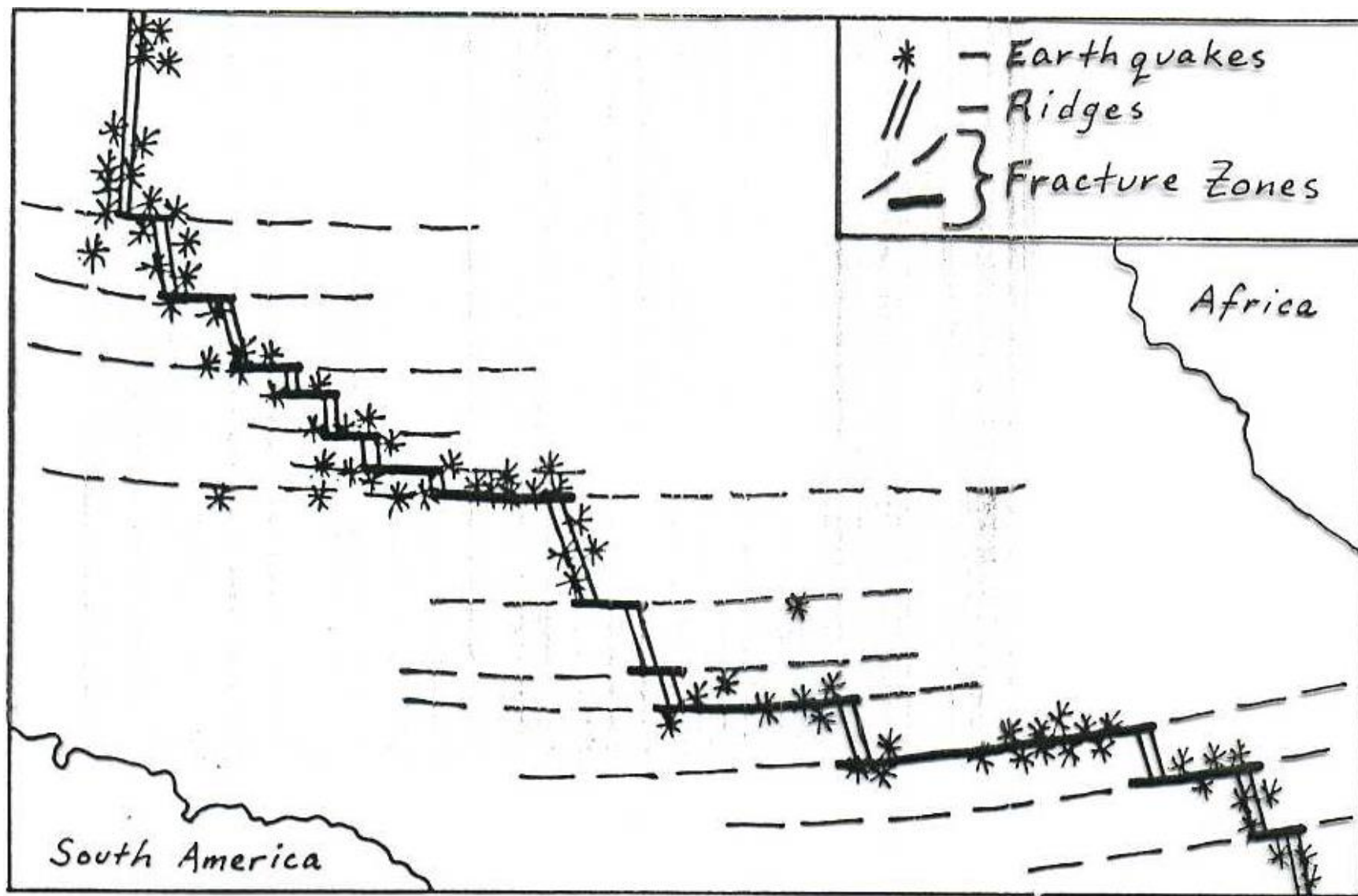
Margini conservativi

Le placche si muovono lateralmente una rispetto all'altra

La litosfera non viene né creata né distrutta

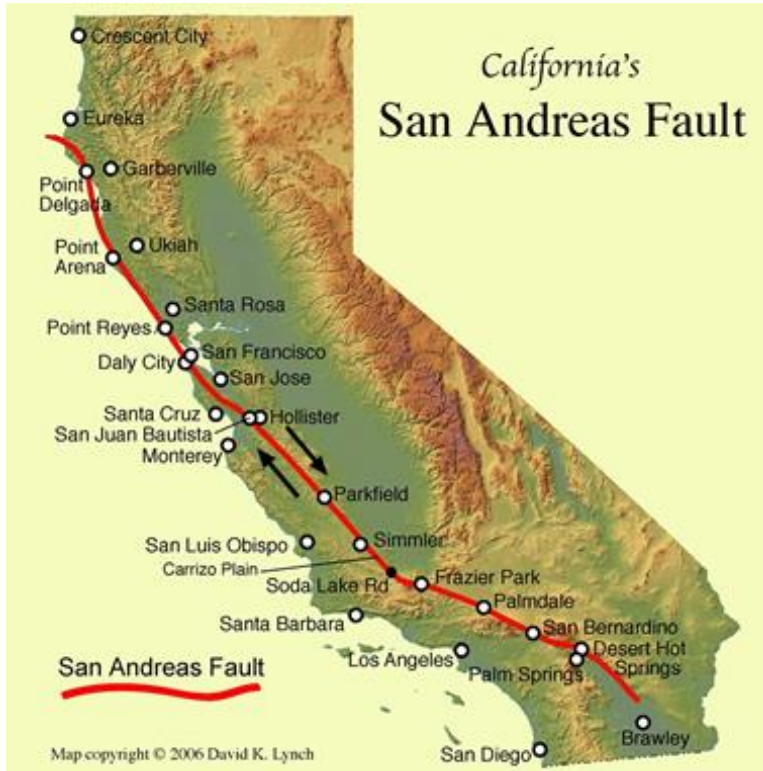


Tettonica delle placche: cosa dice?



Tettonica delle placche: cosa dice?

Margini conservativi



Faglia di San Andrea

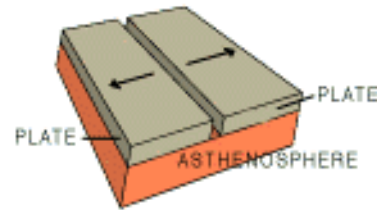
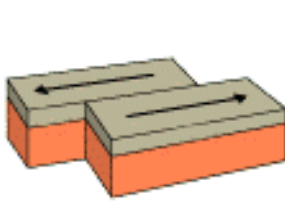


Tettonica delle placche: cosa dice?

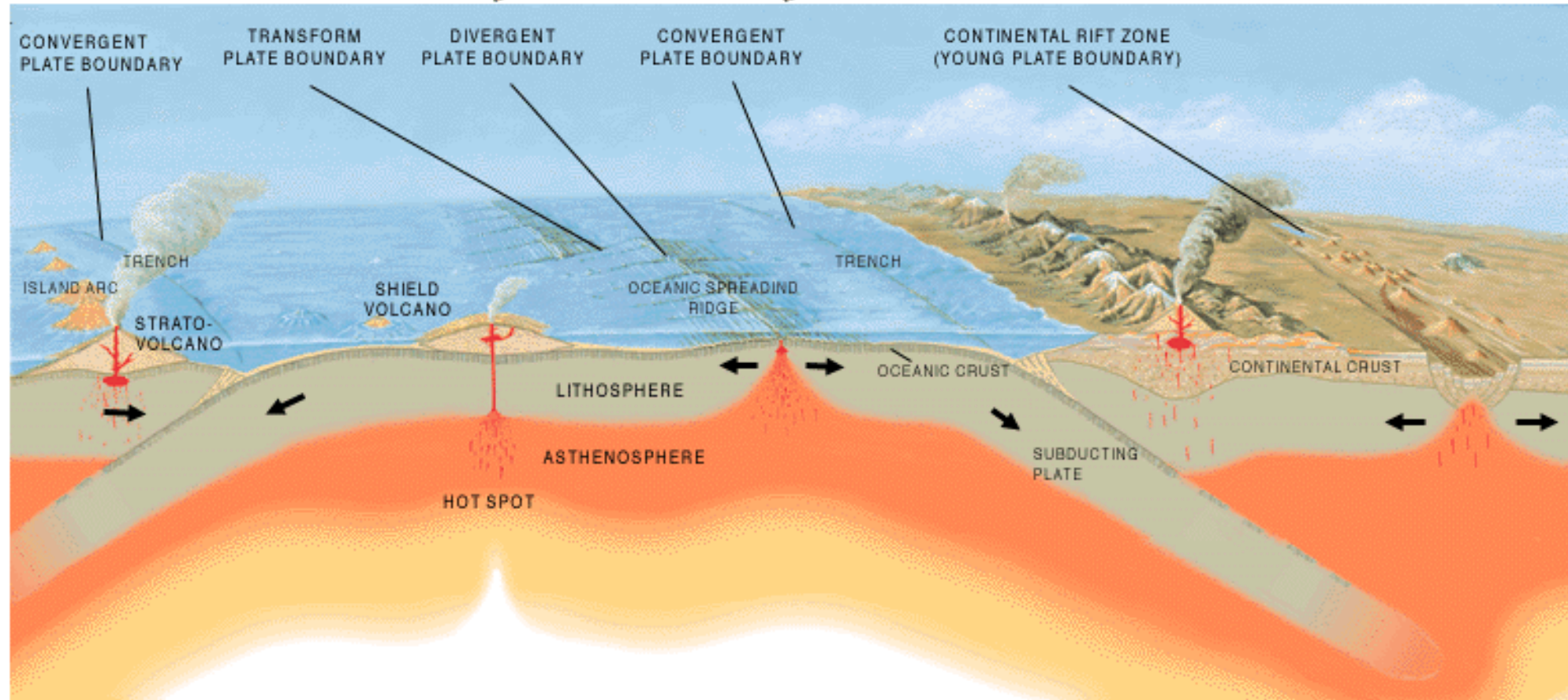
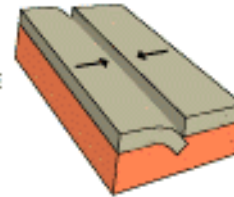
RIFTING (DIVERGENTE)

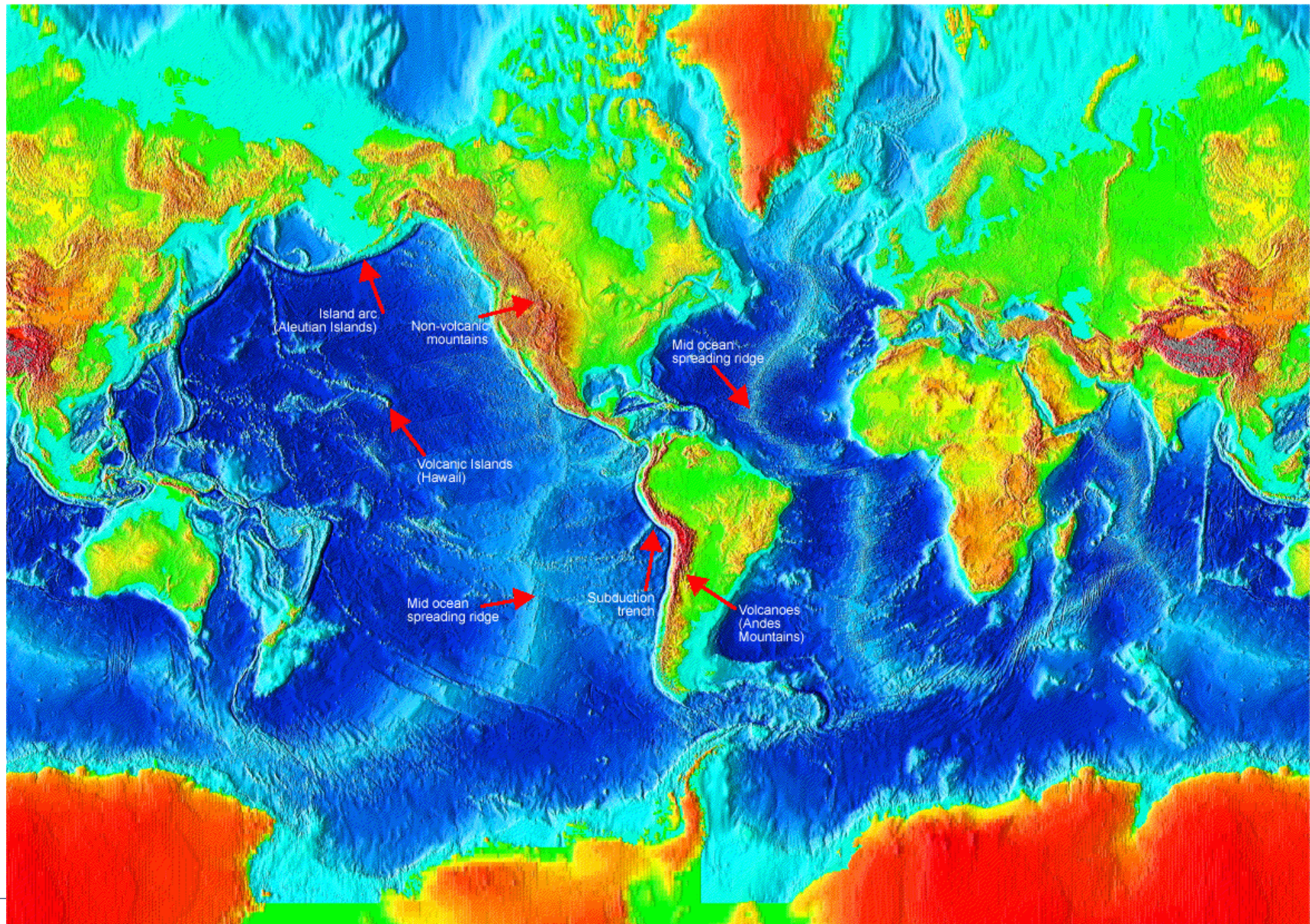
Tipologie di margini tra placche

TRASFORME
(CONSERVATIVO)

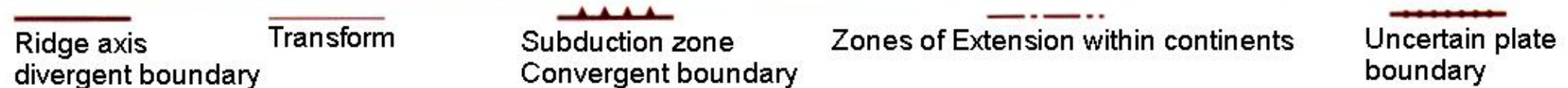
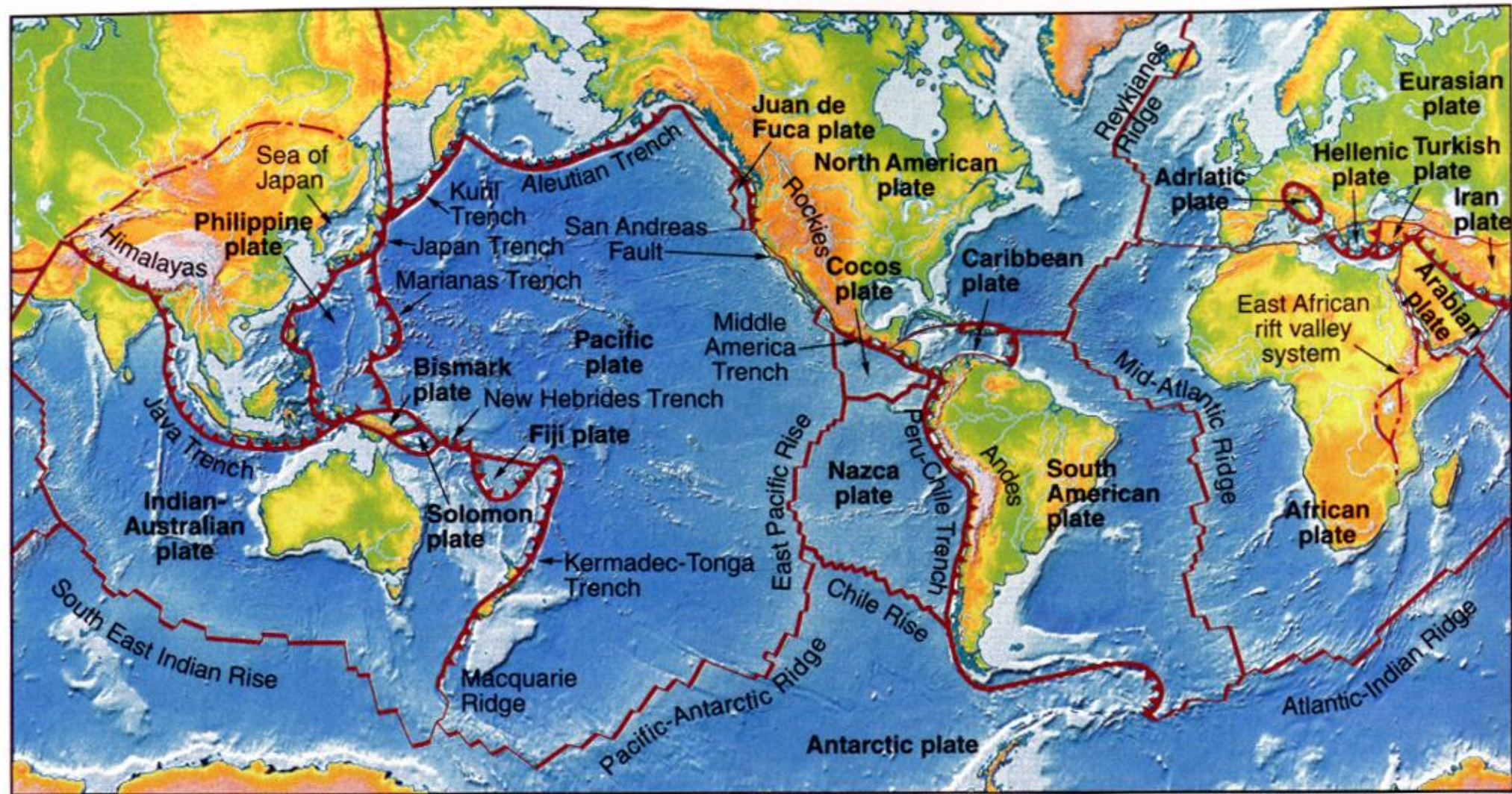


SUBDUZIONE
(CONVERGENTE)



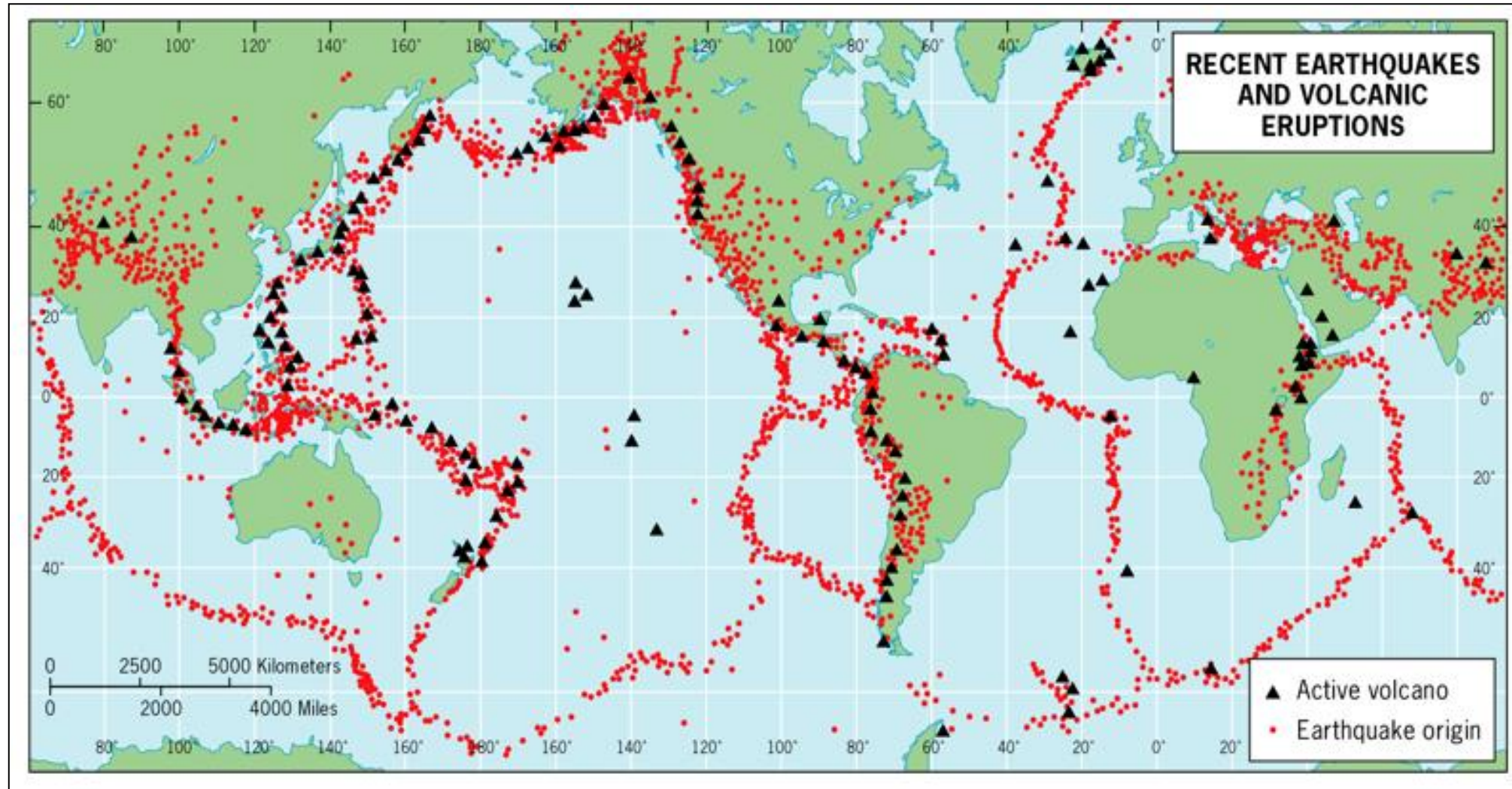


Tettonica delle placche: cosa dice?



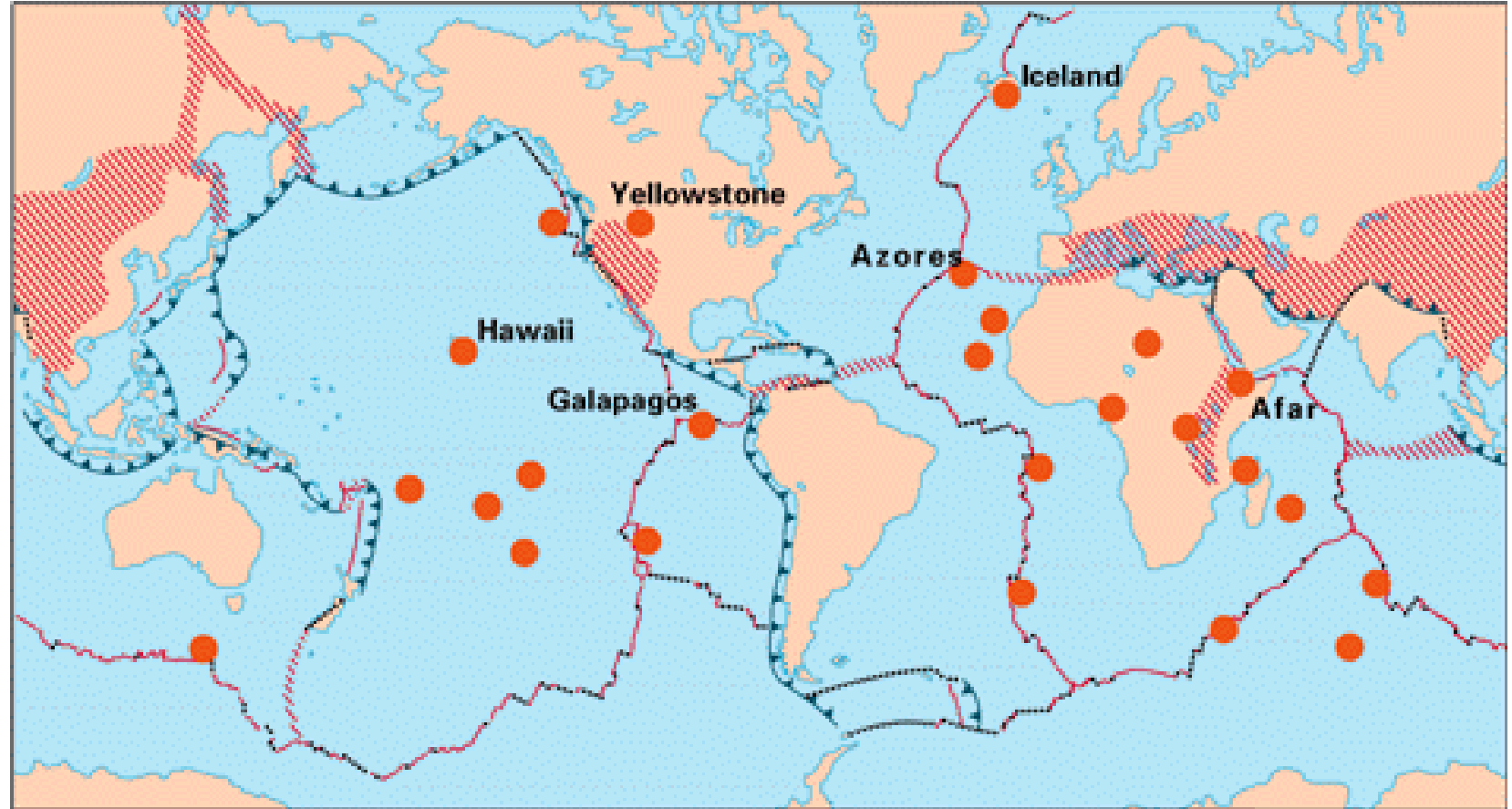
Tettonica delle placche: cosa dice?

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



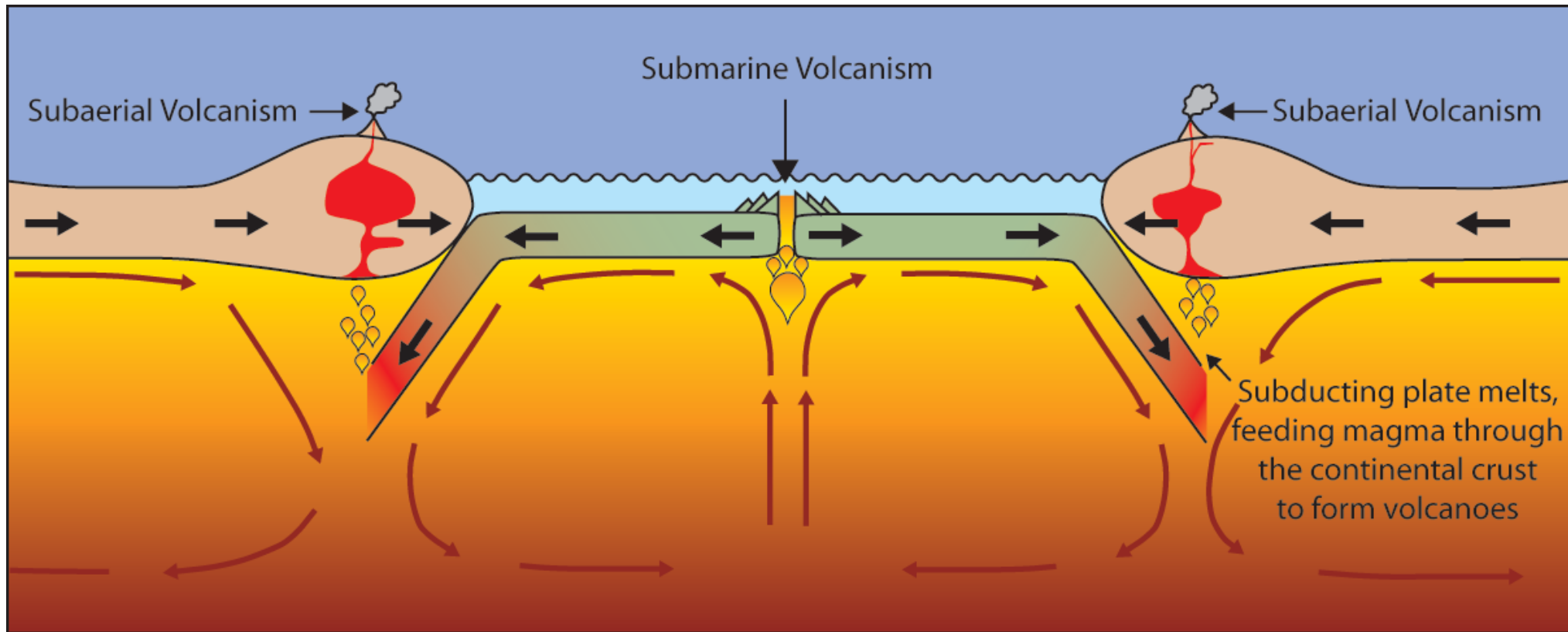
Tettonica delle placche: cosa dice?

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



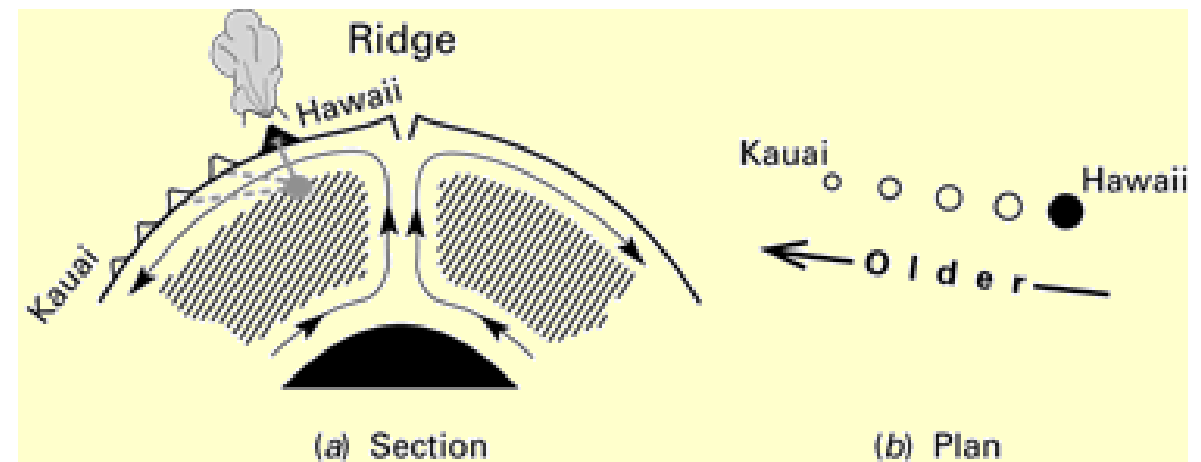
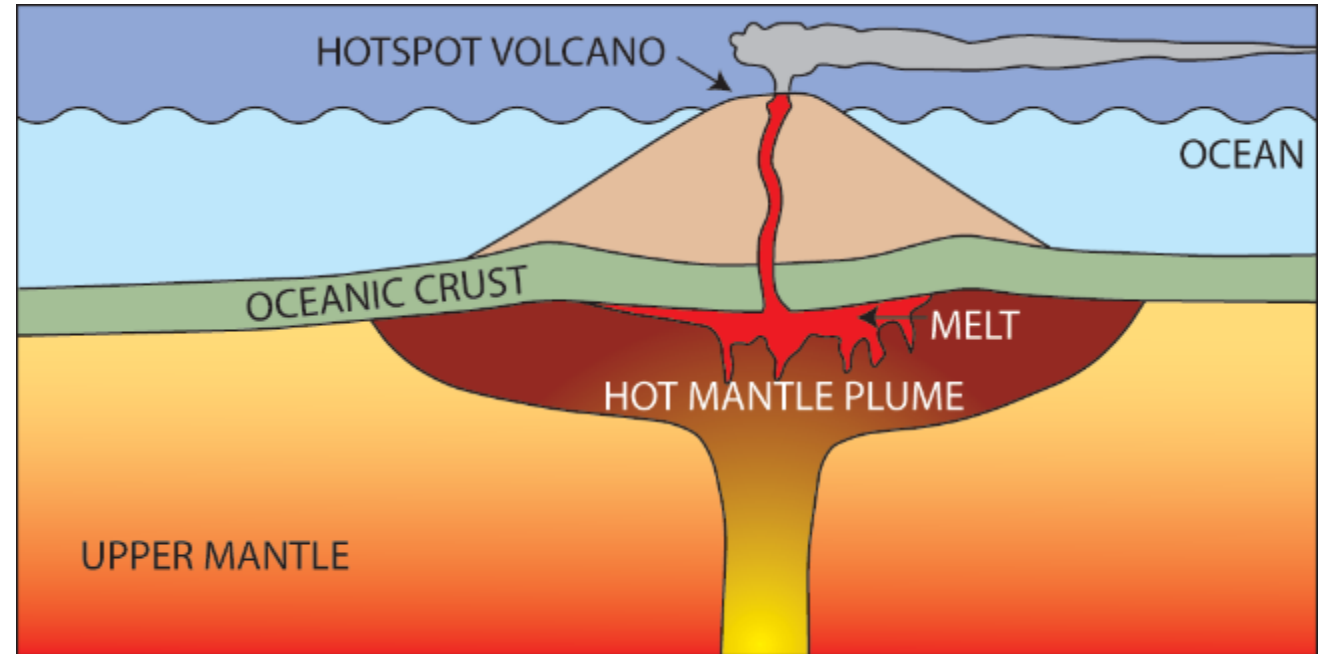
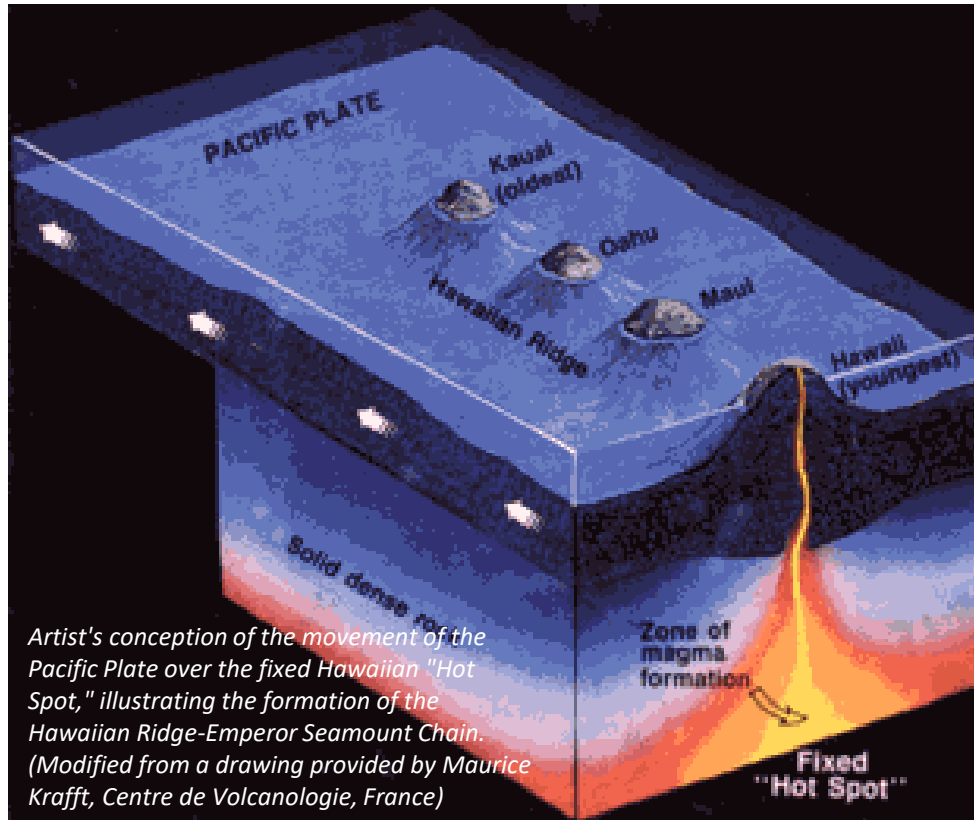
Tettonica delle placche: cosa dice?

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?

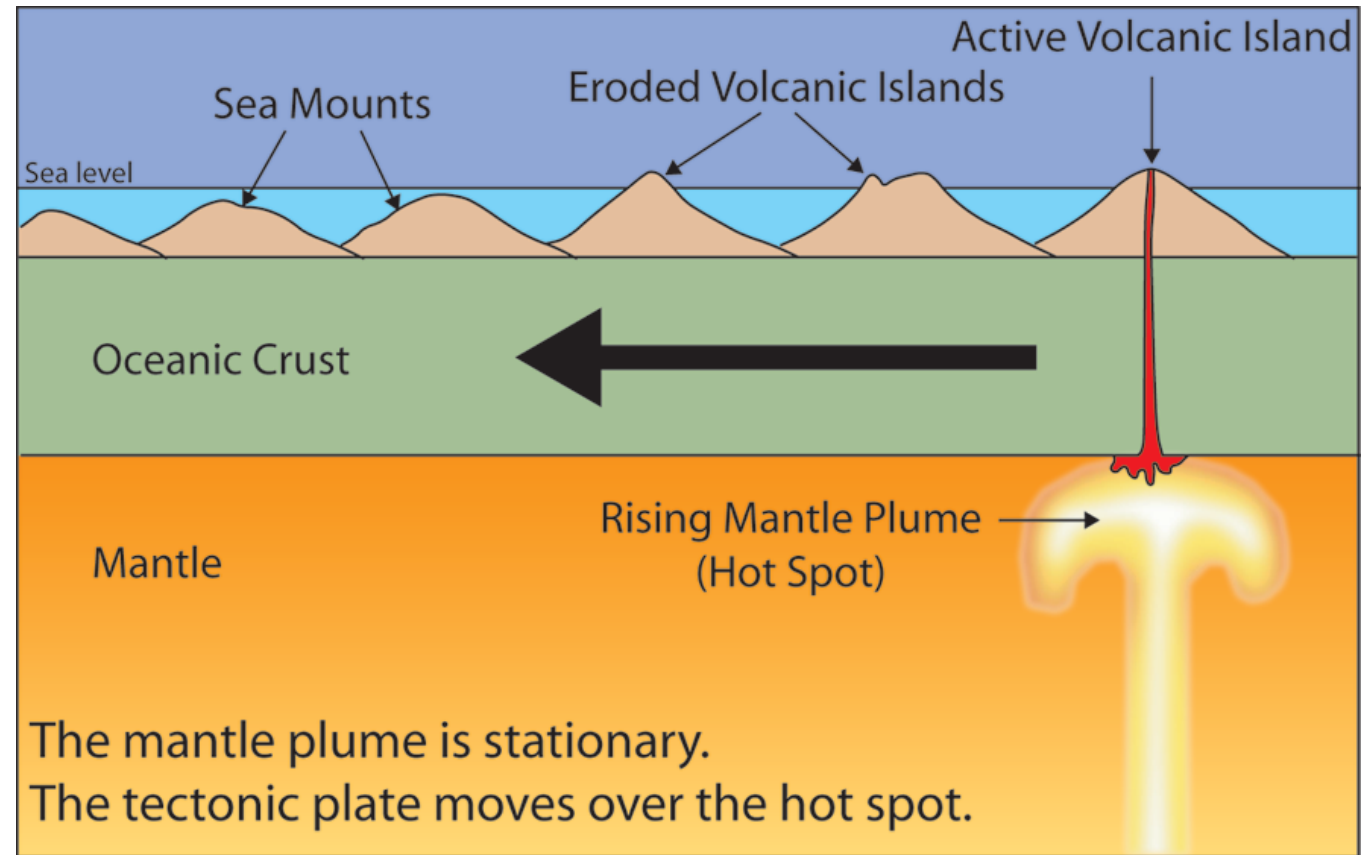
Secondo una teoria degli anni '60, gli **hotspots** sono pennacchi di mantello caldo che rompono la superficie nel mezzo di una placca tettonica



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



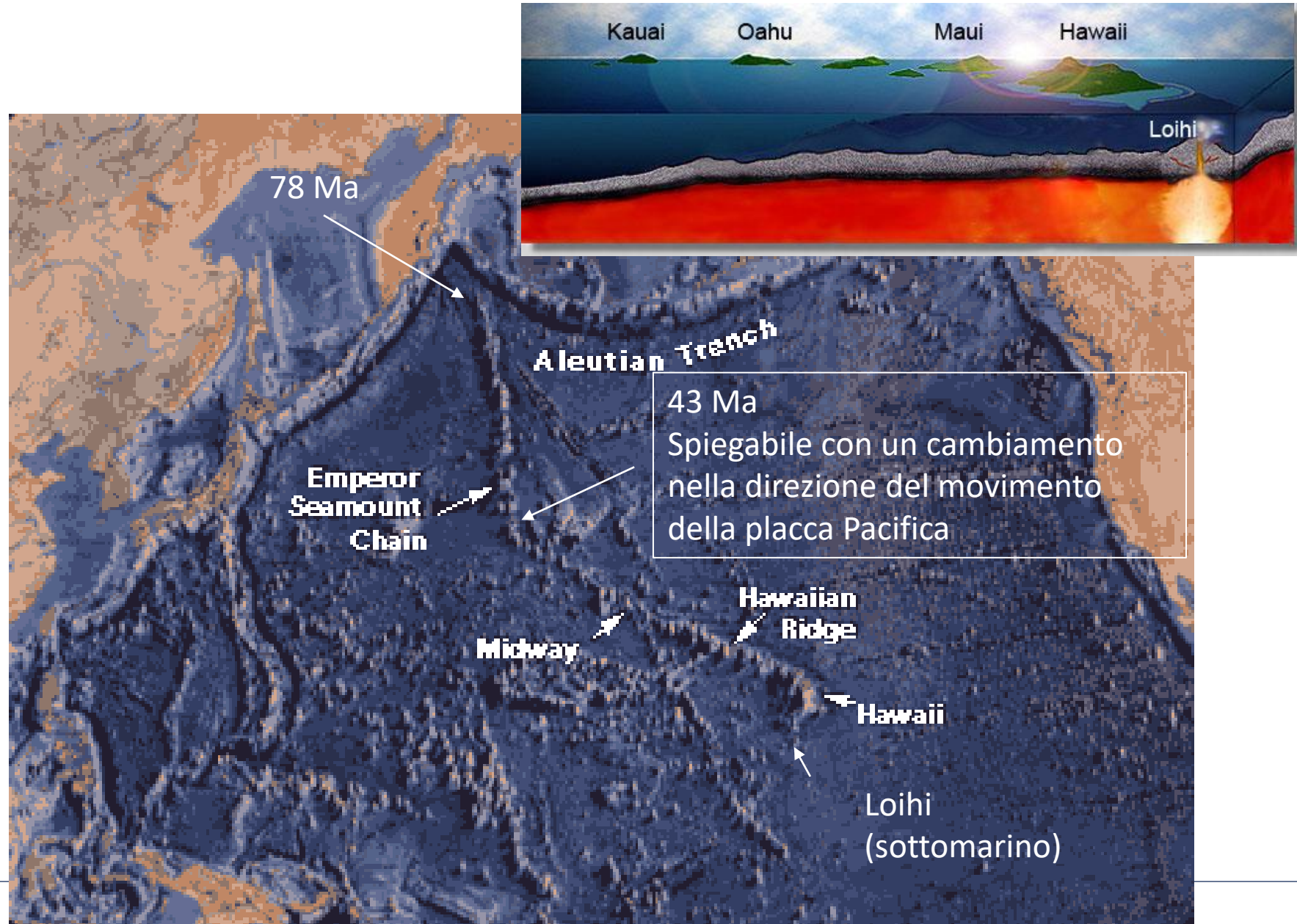
Vulcani più antichi sono più lontani dal plume

Tettonica delle placche: cosa dice?

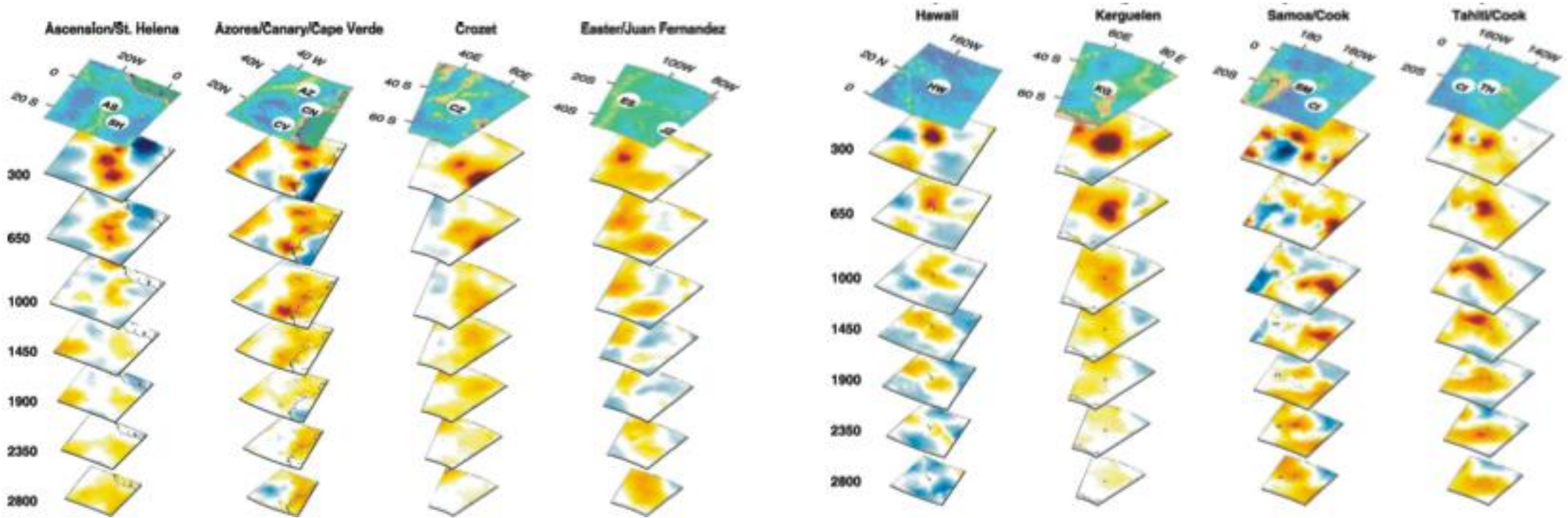
La catena di isole hawaiane (The Emperor–Hawaiian seamount chain) è un esempio di vulcani hotspot: Loihi: il vulcano più giovane e attivo della catena

Altri esempi:

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



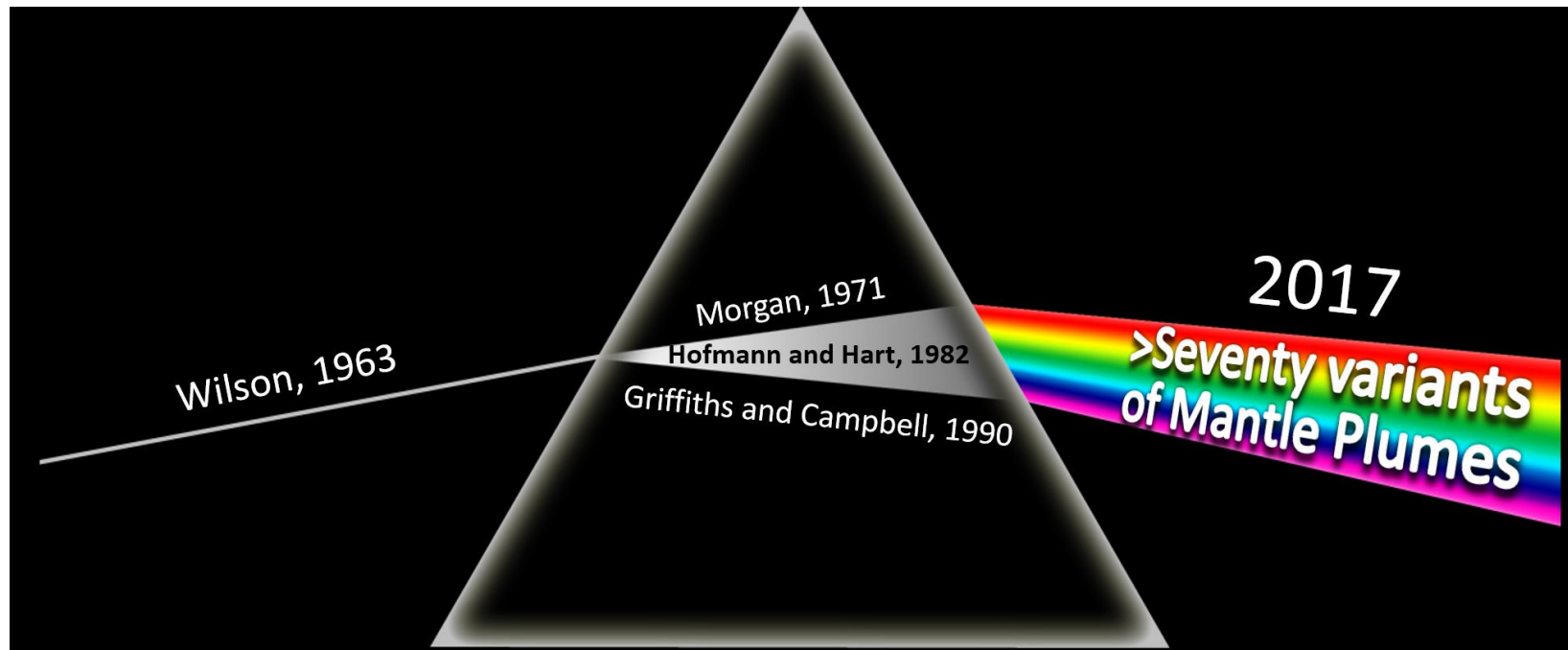
Tettonica delle placche: cosa dice?



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?

A POSSIBLE ^{shallow} ORIGIN OF THE HAWAIIAN ISLANDS

J. TUZO WILSON

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

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

Received March 15, 1963

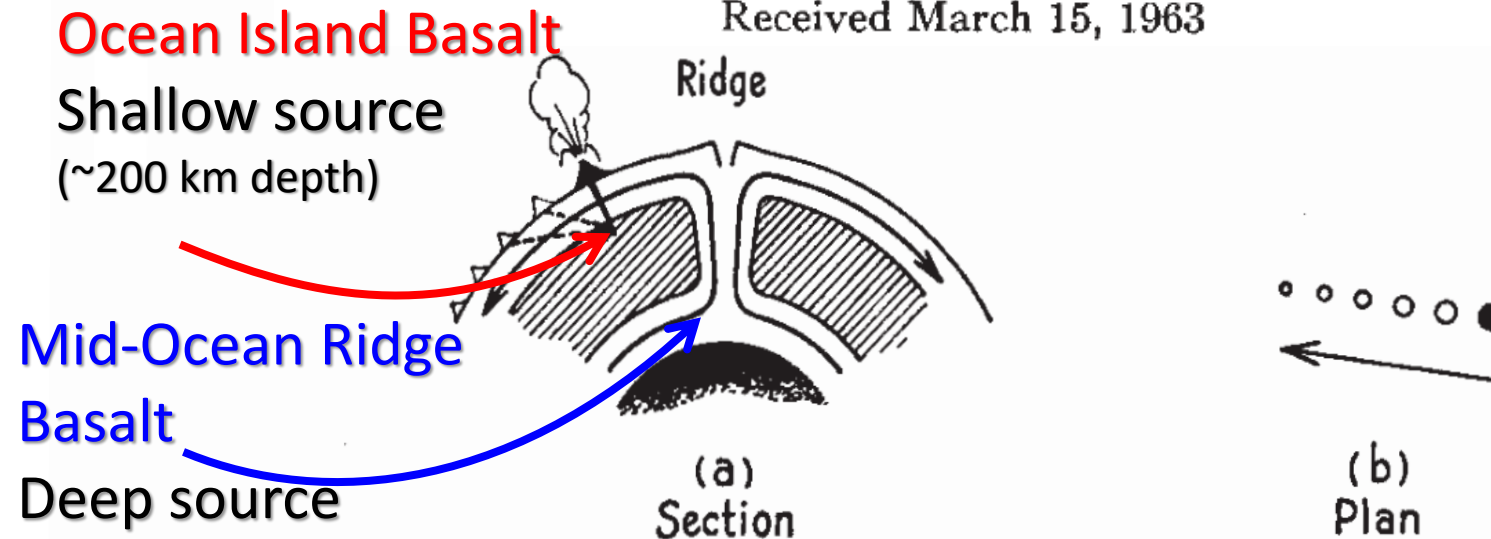


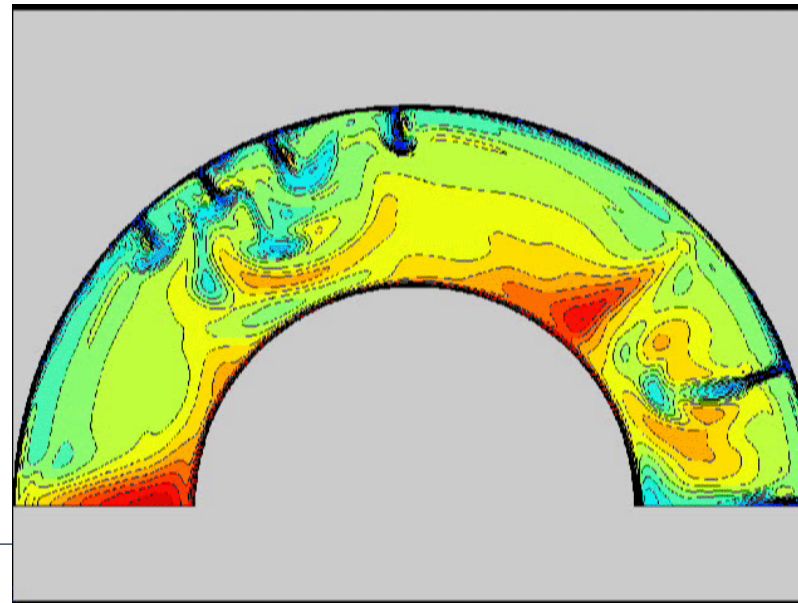
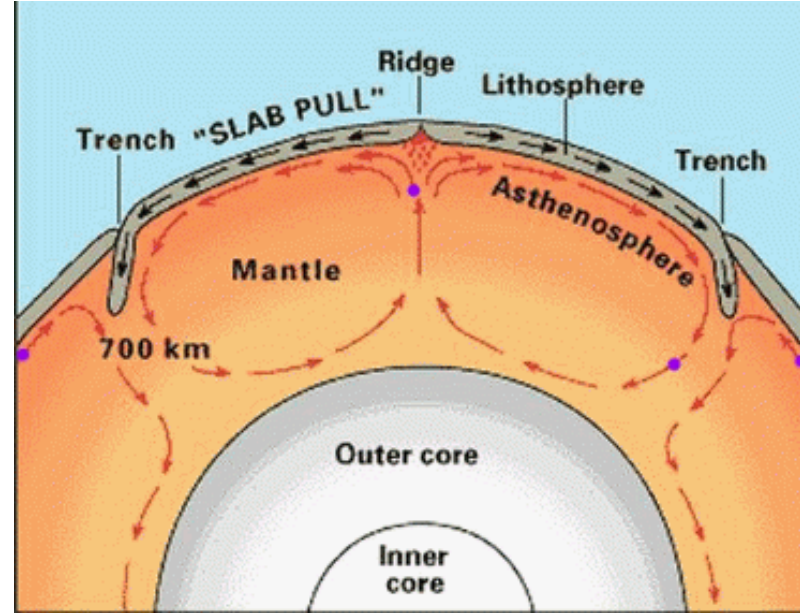
FIG. 5. Diagram to illustrate that if lava is generated in the stable core of a convection cell, and the surface is carried by the jet stream, then one source can give rise to a chain of extinct volcanoes even if the source is not over a rising current. This is proposed as a possible origin of the Hawaiian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

www.mantleplumes.or

Tettonica delle placche: cosa dice?

Tre concetti chiave:

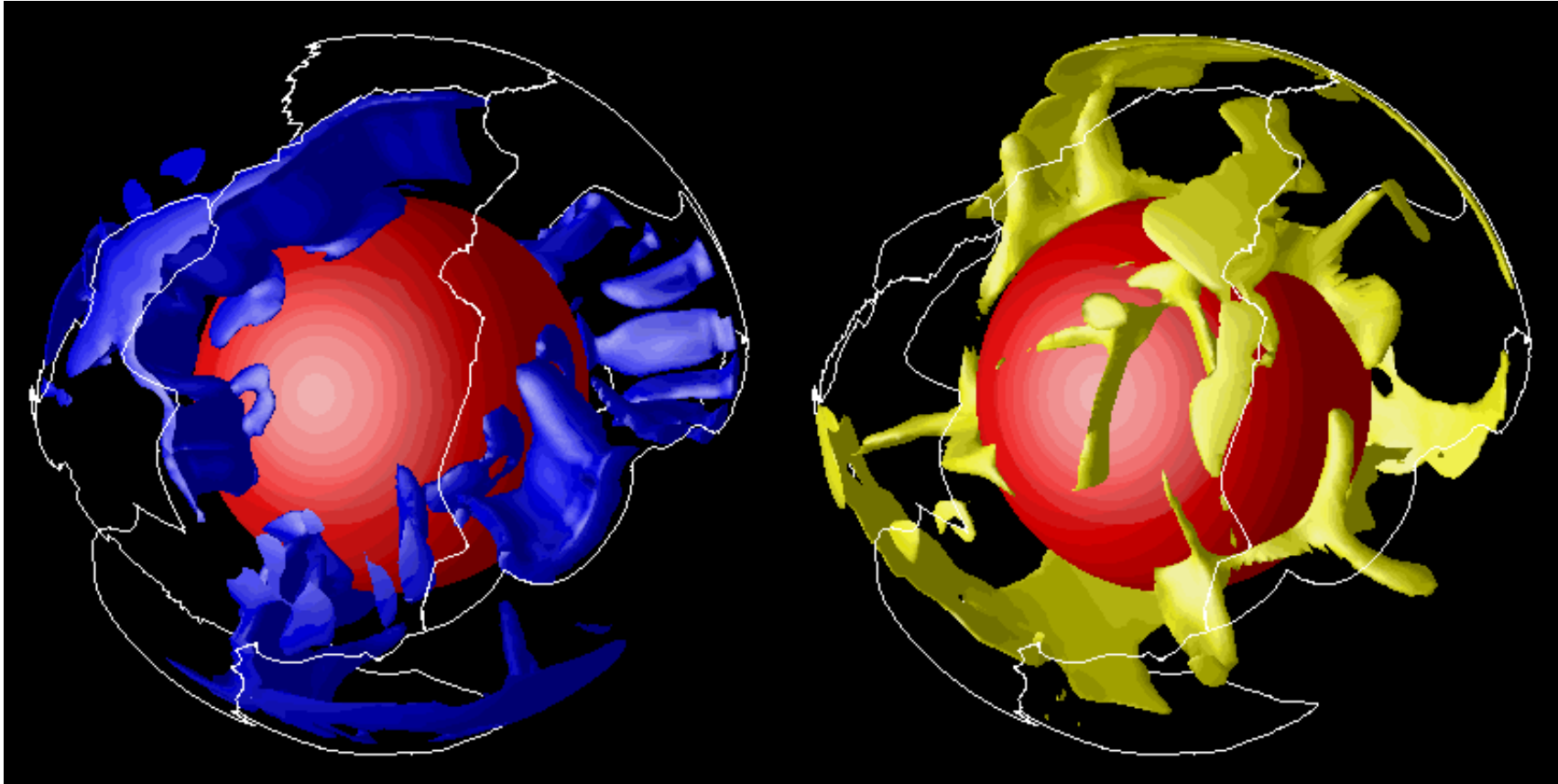
1. Il guscio più esterno della terra (litosfera) è suddiviso in placche dai bordi irregolari che si muovono una rispetto all'altra su uno strato plastico (astenosfera)
2. Il limite litosfera/astenosfera condiziona i movimenti delle placche
3. La convezione nell'astenosfera rappresenta il meccanismo di 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 ~ 200 Ma).

Tettonica delle placche: cosa dice?

