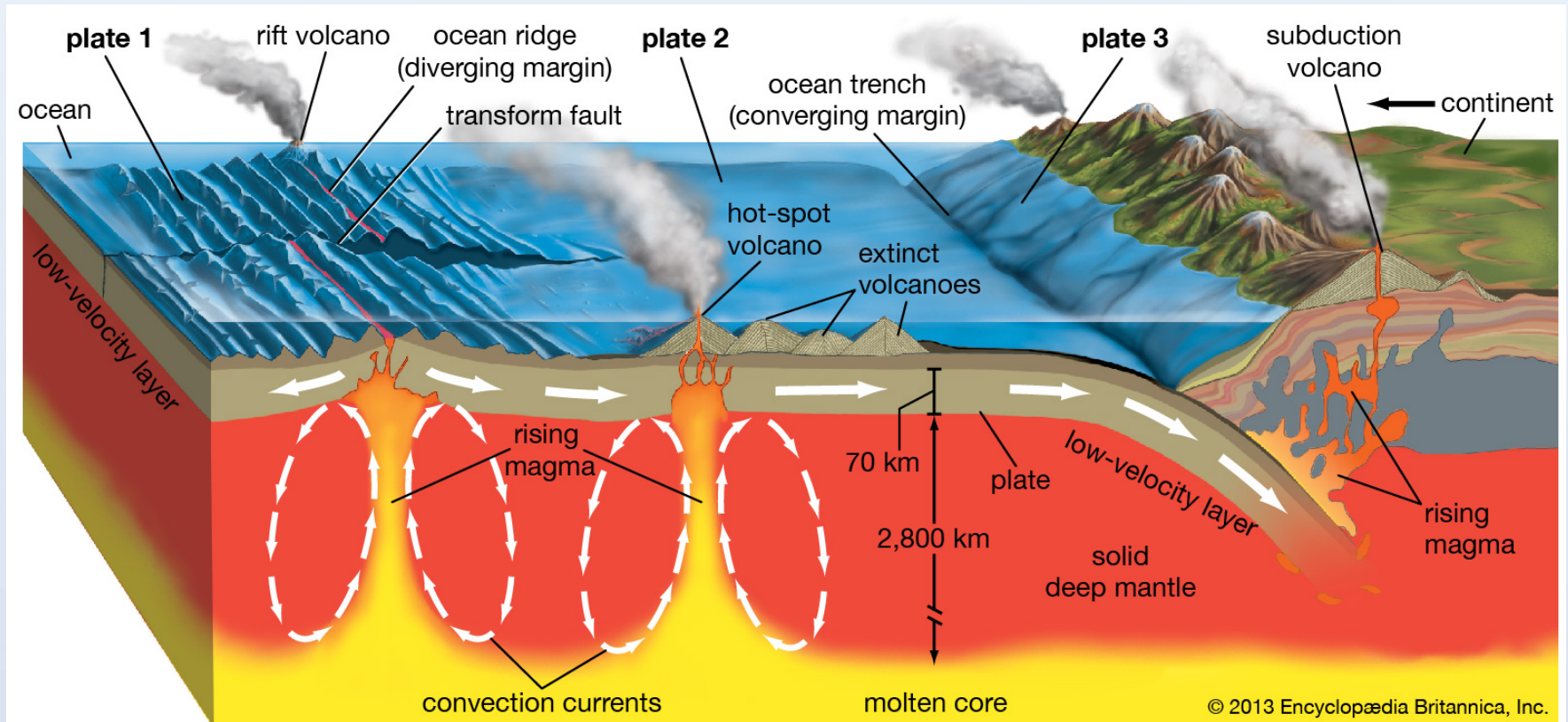


Mineralogia e Petrografia con Laboratorio

Modulo di Petrografia

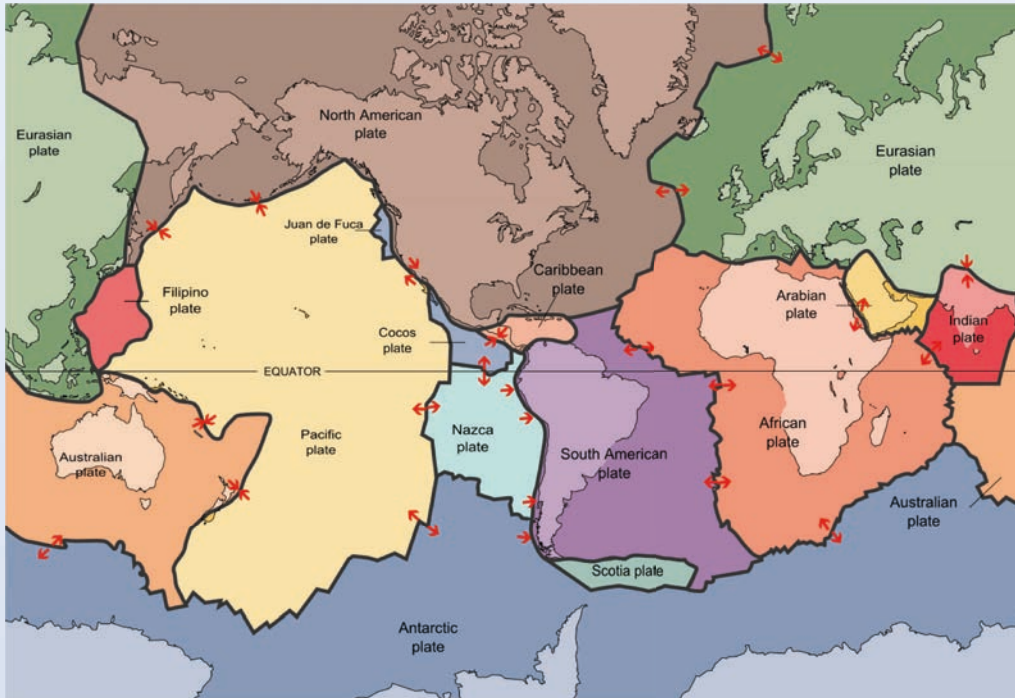
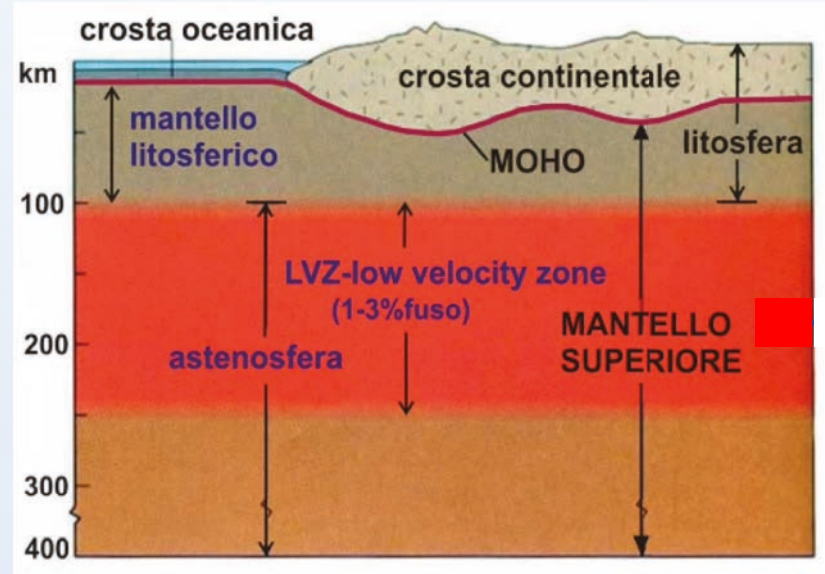
Luca Ziberna

1.2. Tettonica a placche e magmatismo



La tettonica a placche

La litosfera terrestre, costituita da crosta + mantello litosferico, è divisa in frammenti di varie dimensioni detti placche (o zolle) litosferiche.

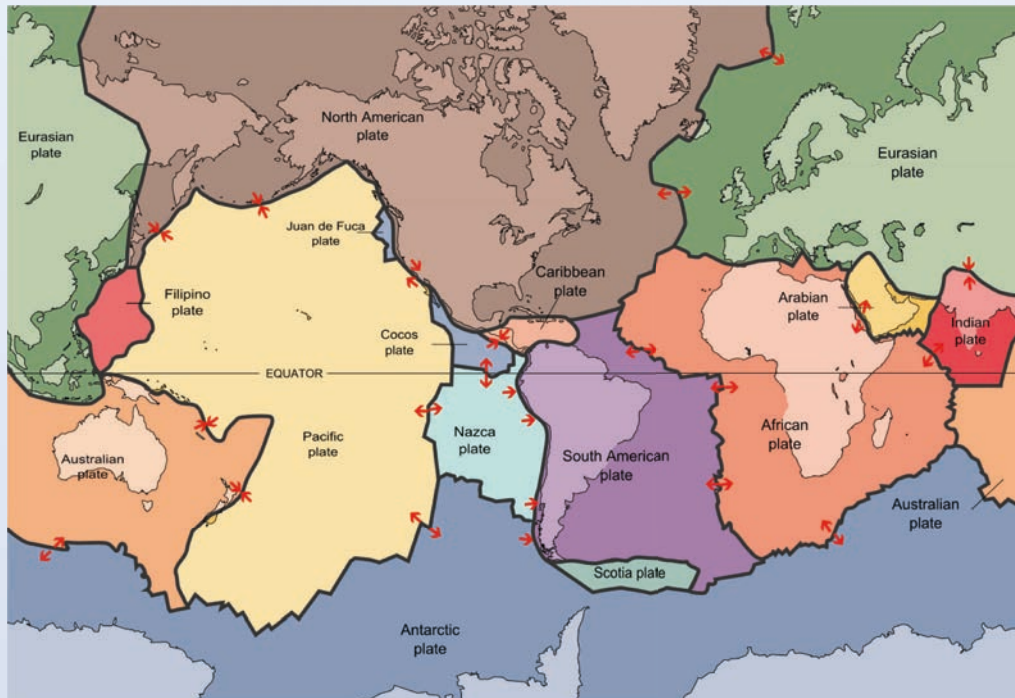


La tettonica a placche

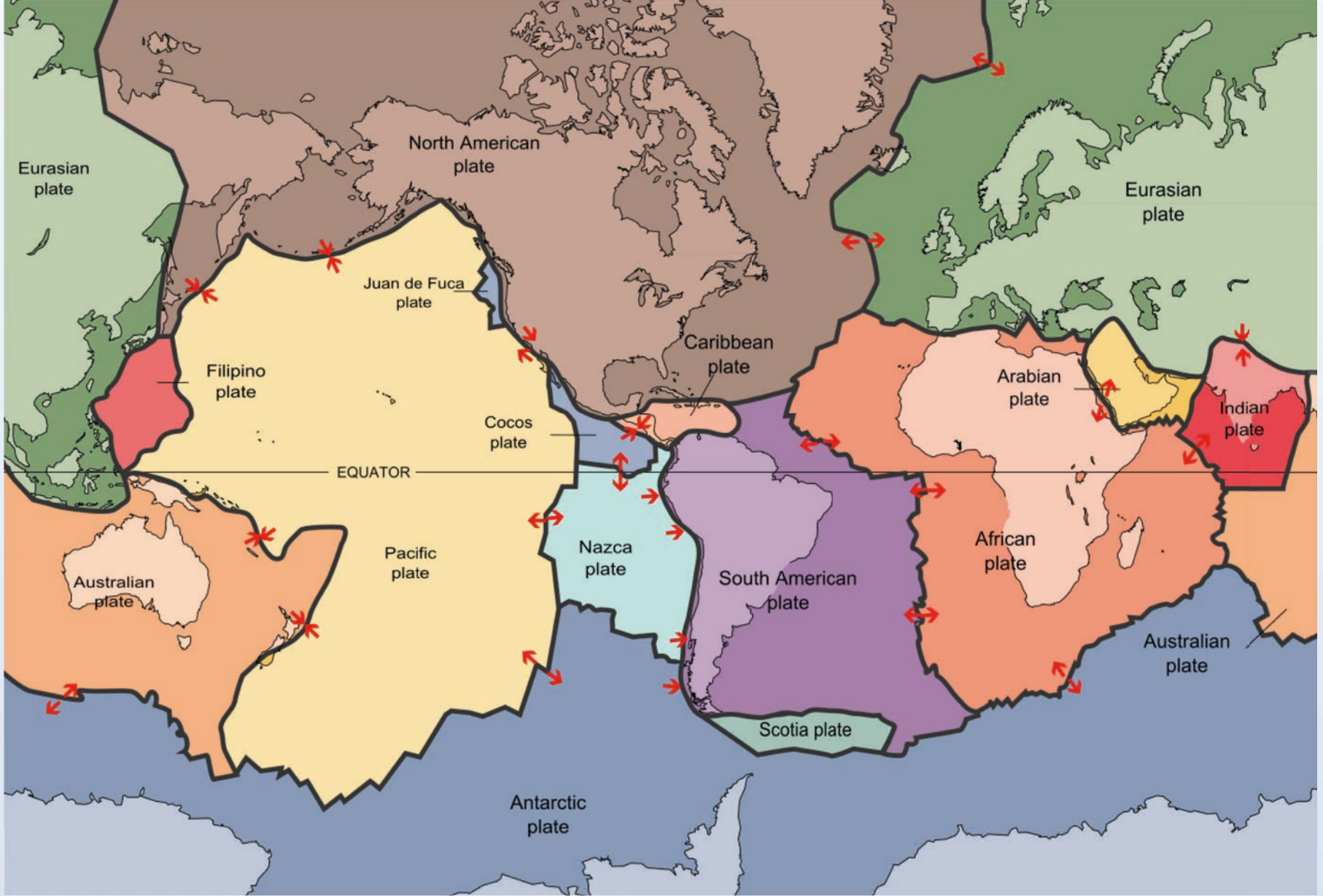
Le placche possono contenere crosta oceanica, continentale o entrambe.

Le placche possono scontrarsi tra di loro o allontanarsi, si comportano come masse rigide “galleggianti” su un materiale plastico poco viscoso, che è il mantello astenosferico.

Il movimento delle placche è dovuto alla convezione del mantello.



La forma e le dimensioni delle placche terrestri sono molto cambiate nella storia geologica della Terra.



←→ divergenza

→← convergenza

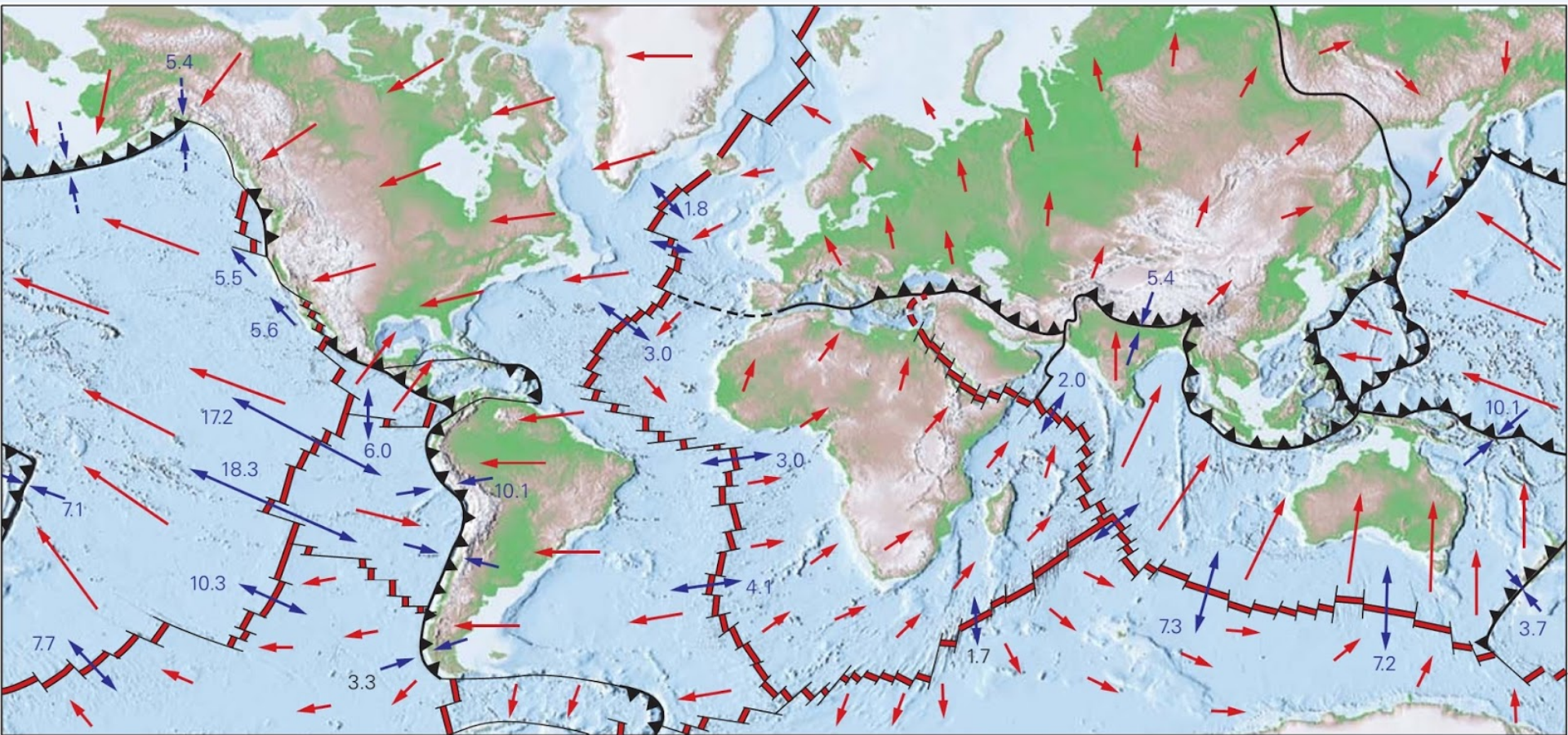
↑↓ trasforme



--> Google Earth tectonic plates

Il movimento delle placche

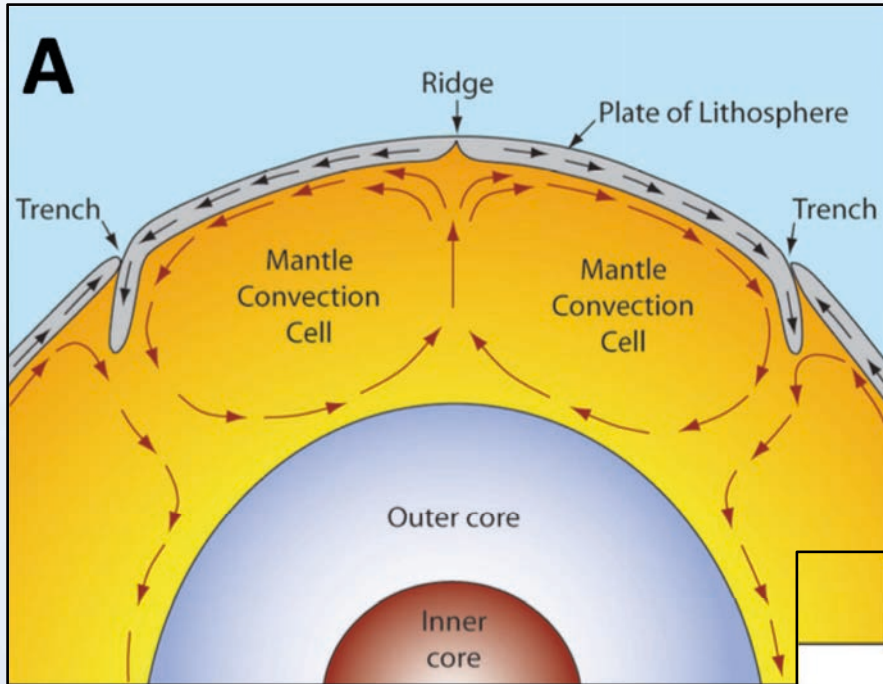
Le misure fornite dai moderni satelliti indicano che le placche si muovono a velocità di ~1–15 cm/anno



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

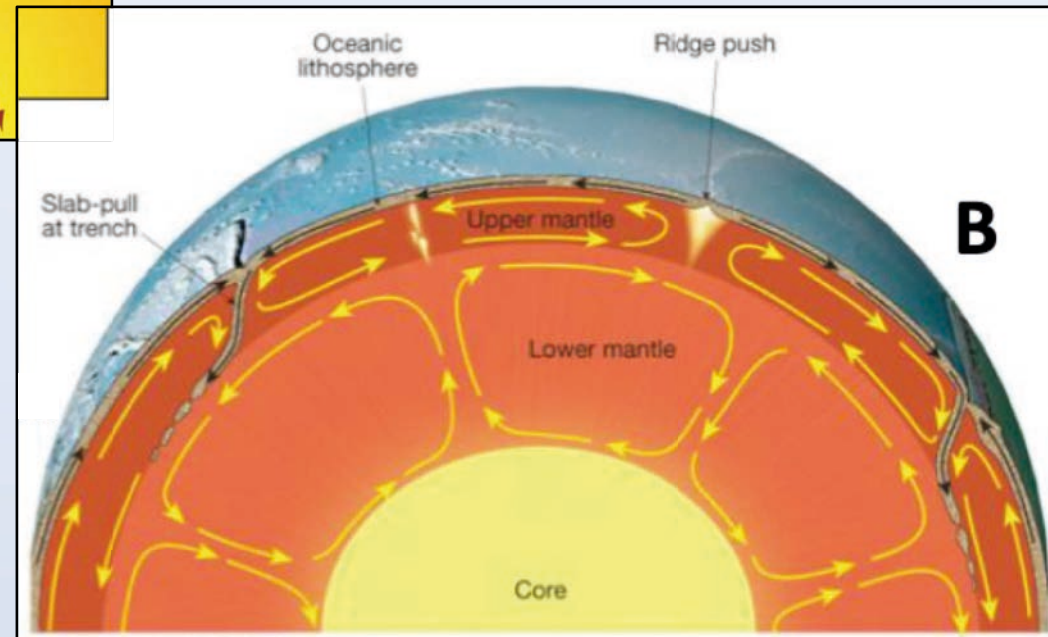
<http://geologylearn.blogspot.com/2016/02/what-drives-plate-motion-and-how-fast.html>

Il movimento delle placche



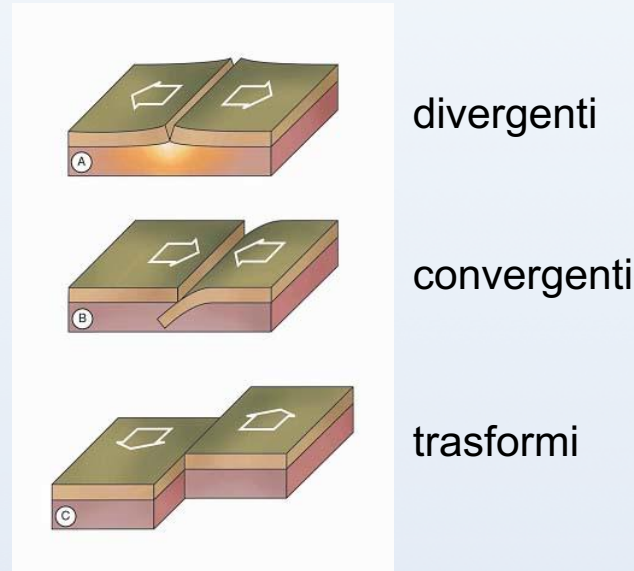
A) Modello di celle convettive che coinvolgono tutto il mantello (*whole mantle convection*). Il contrasto di densità che si verifica nella zona di transizione a 660 km tra mantello inferiore e superiore non sarebbe sufficiente ad impedirne lo sviluppo

B) Modello di doppia convezione mantellica, o a due strati (*two-layer convection*). La zona di transizione costituirebbe una sufficiente barriera di densità per separare i movimenti convettivi nel mantello. Il modello sarebbe anche favorito dal contrasto di viscosità tra mantello inferiore e superiore.



Tettonica a placche e magmatismo

Ci sono tre tipi di margini di placche:



divergenti

convergenti

trasformi

Magmatismo e terremoti sono strettamente associati ai margini delle placche.

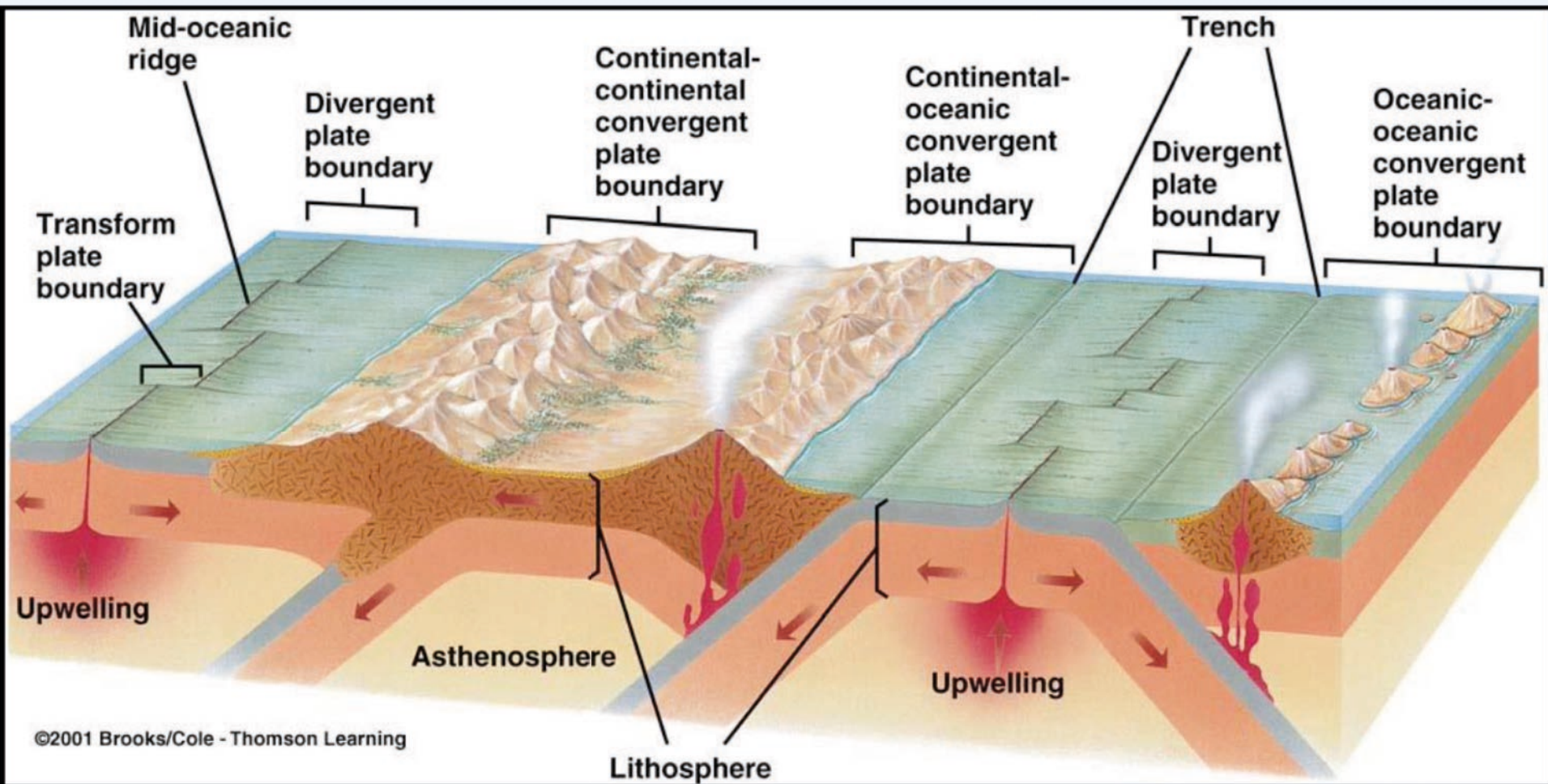
L'attività magmatica si verifica nelle zone di allontanamento e scontro di placche, ma anche in zone di intraplacca:

- 90% dell'attività magmatica attuale si manifesta in zone di allontanamento di placche;
- 8-10% si verifica in zone di scontro di placche;
- meno del 2% è presente nelle zone di intraplacca (oceanica o continentale).

Tettonica delle Placche e Riciclaggio Globale:

- Formazione di nuova crosta oceanica dove le placche divergono (dorsali oceaniche)
- Distruzione di crosta oceanica e formazione di nuova crosta continentale dove le placche si scontrano.

Tettonica a placche e magmatismo

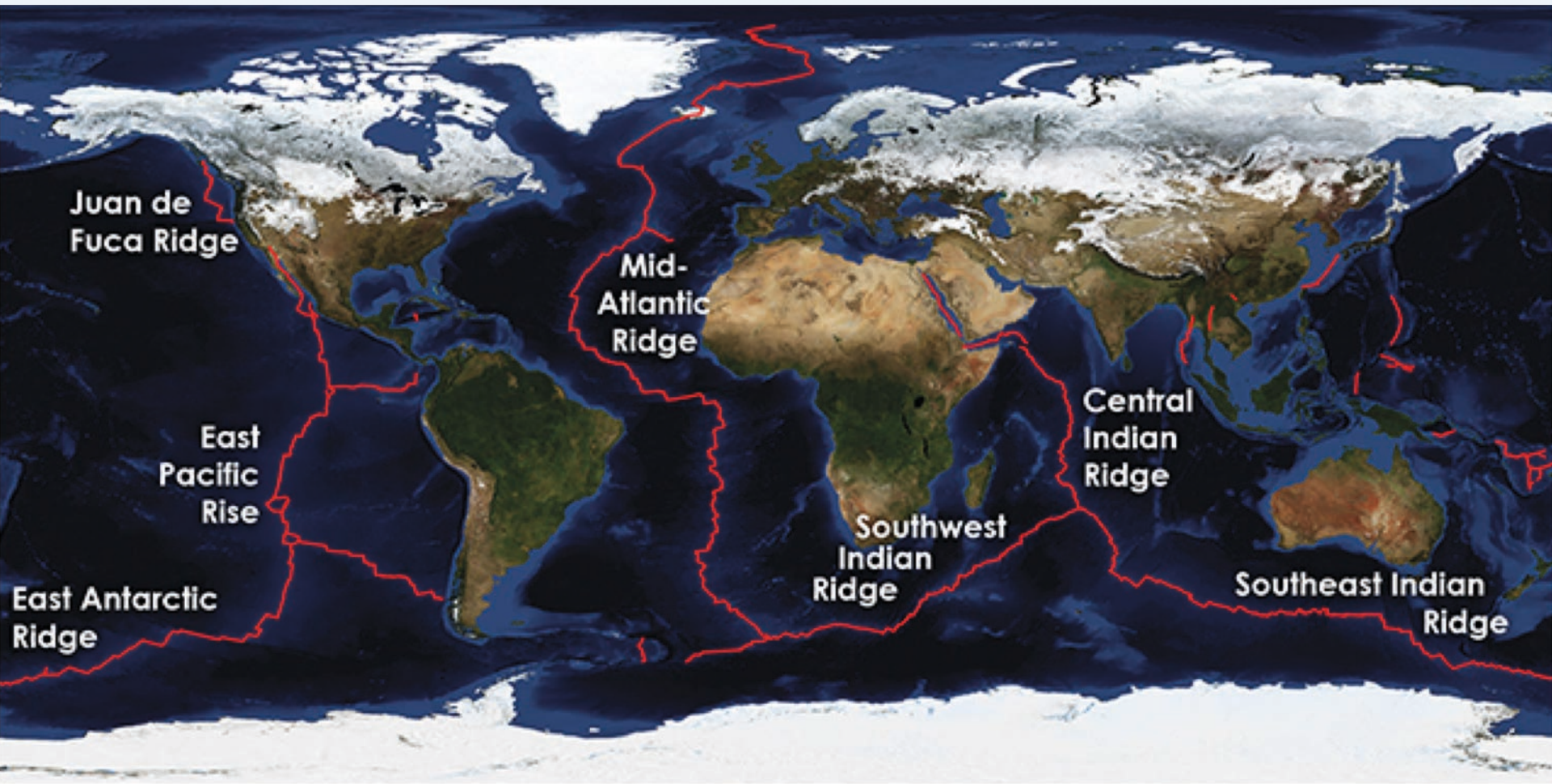


→ Google Earth tectonic plates:

https://serc.carleton.edu/sp/library/google_earth/examples/49004.html

Margini divergenti

Dorsali oceaniche – magmatismo basaltico



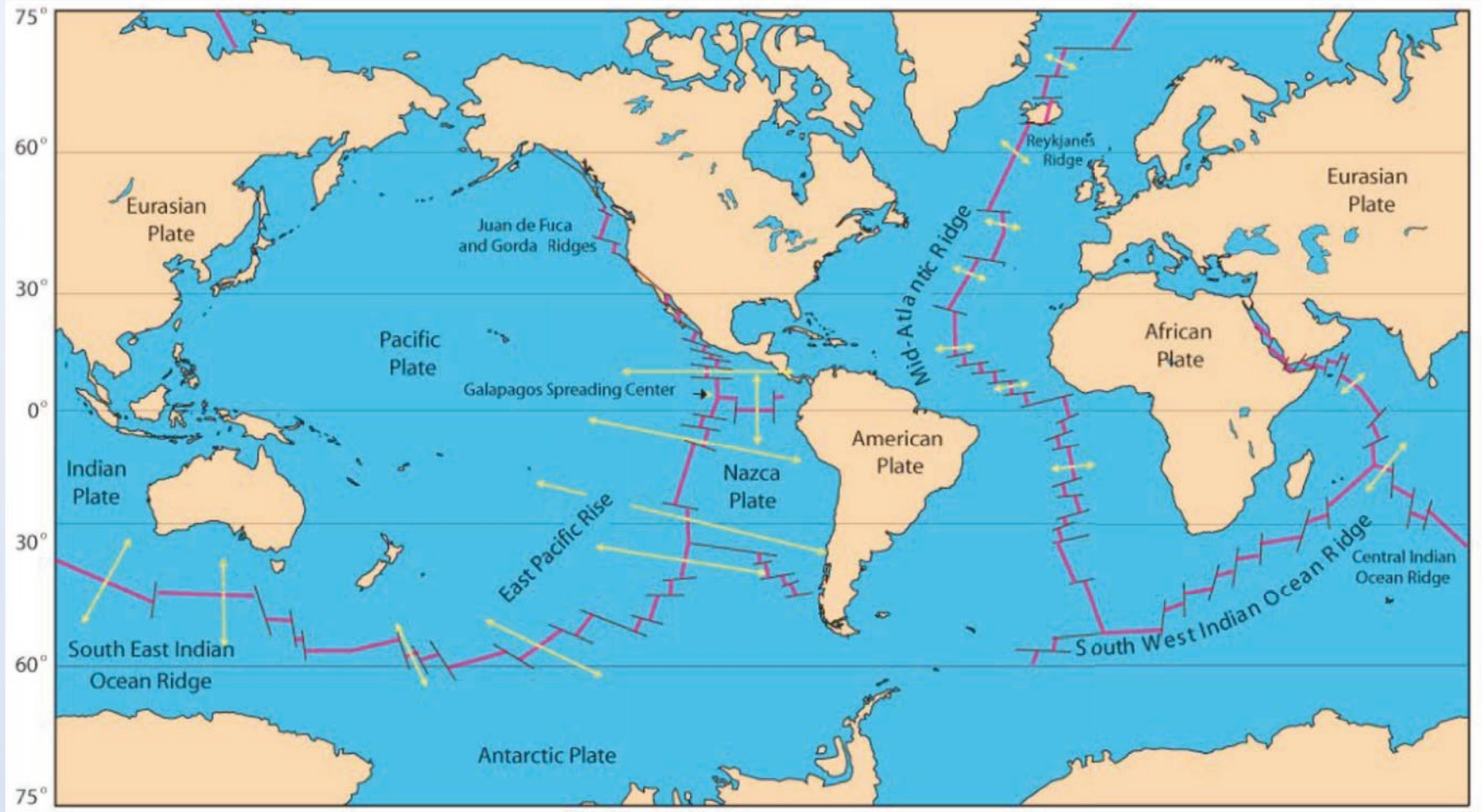
Margini divergenti

Dorsali oceaniche – magmatismo basaltico

Velocità di allontanamento delle placche da ~2 a ~10 cm/anno, variabile anche nel tempo

Oceano Pacifico: 5–10 cm/anno

Oceano Atlantico: 2–3 cm/anno

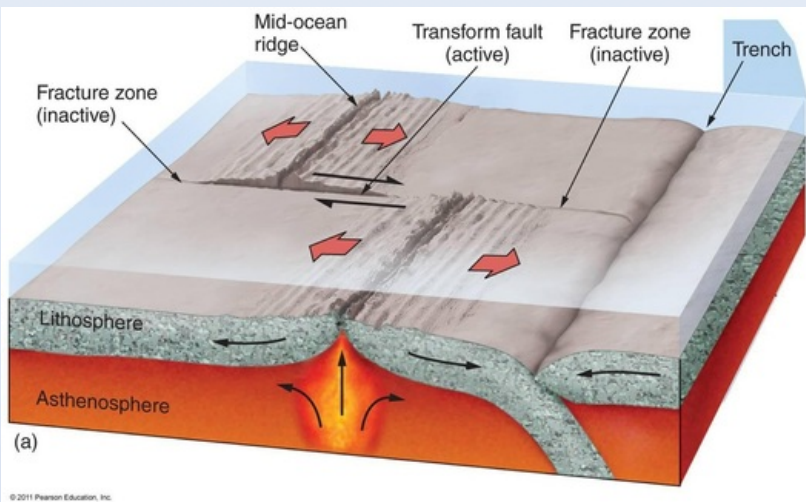


Margini divergenti

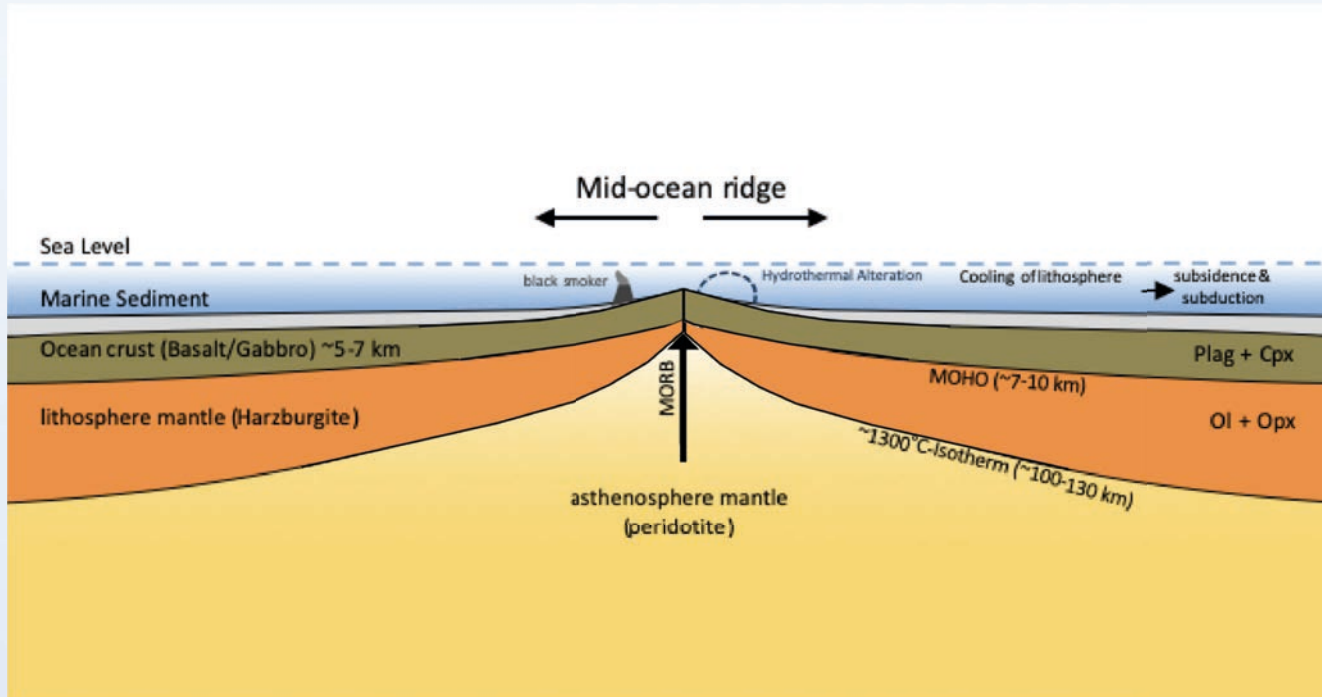
Dorsali oceaniche – magmatismo basaltico



Le dorsali oceaniche costituiscono il più grande e continuo sistema vulcanico della Terra (vulcanismo effusivo)



Margini divergenti

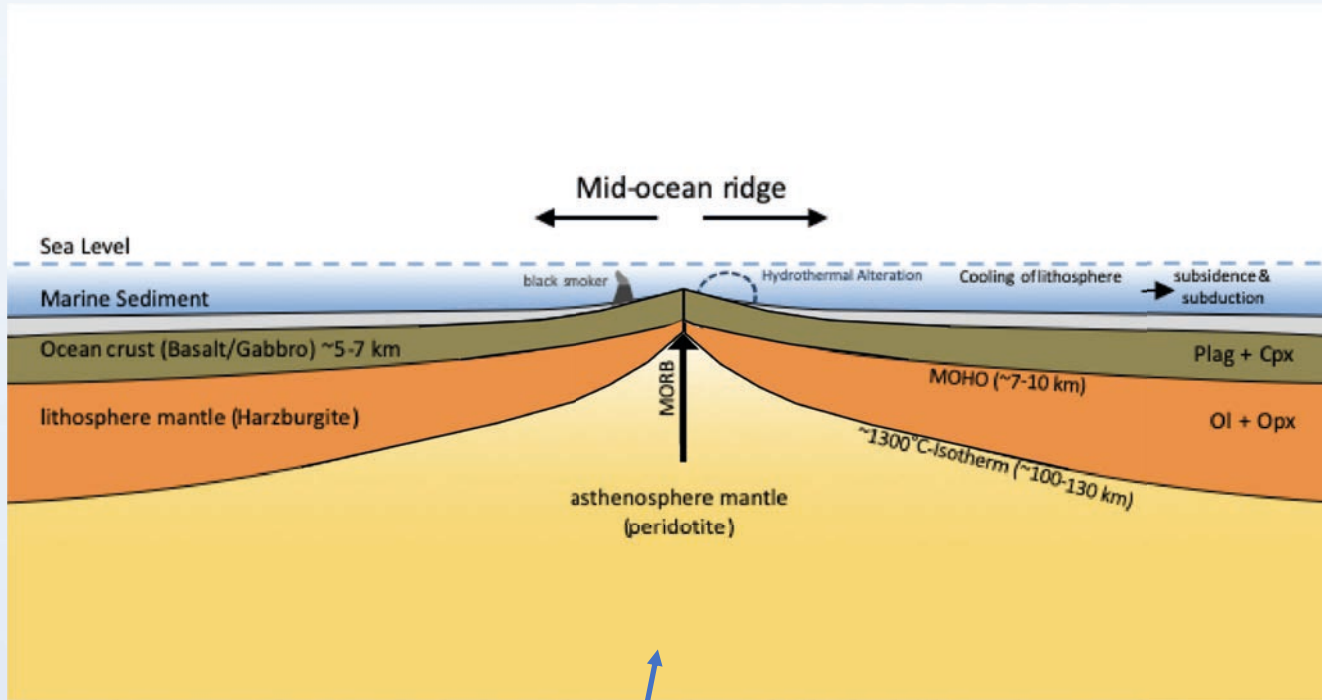


Più del 60% del magma basaltico ($\text{SiO}_2 \sim 52\%$) emesso sulla superficie terrestre si forma in corrispondenza delle dorsali medio- oceaniche (circa 4 km^3 /anno).

Questi magmi vengono chiamati MORB – *Mid Ocean Ridge Basalts*.

Il magma basaltico raffreddandosi forma **nuova crosta oceanica**.

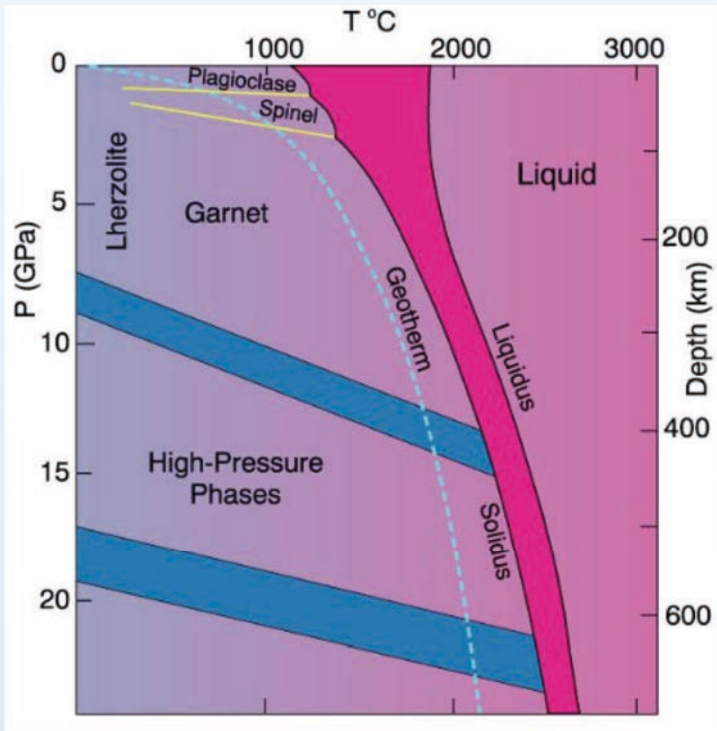
Margini divergenti



La sorgente dei magmi è il mantello (costituito in buona parte da peridotiti)

Il mantello risale e fonde per decompressione adiabatica producendo magmi che risalgono verso l'asse della dorsale

Perchè il mantello fonde?

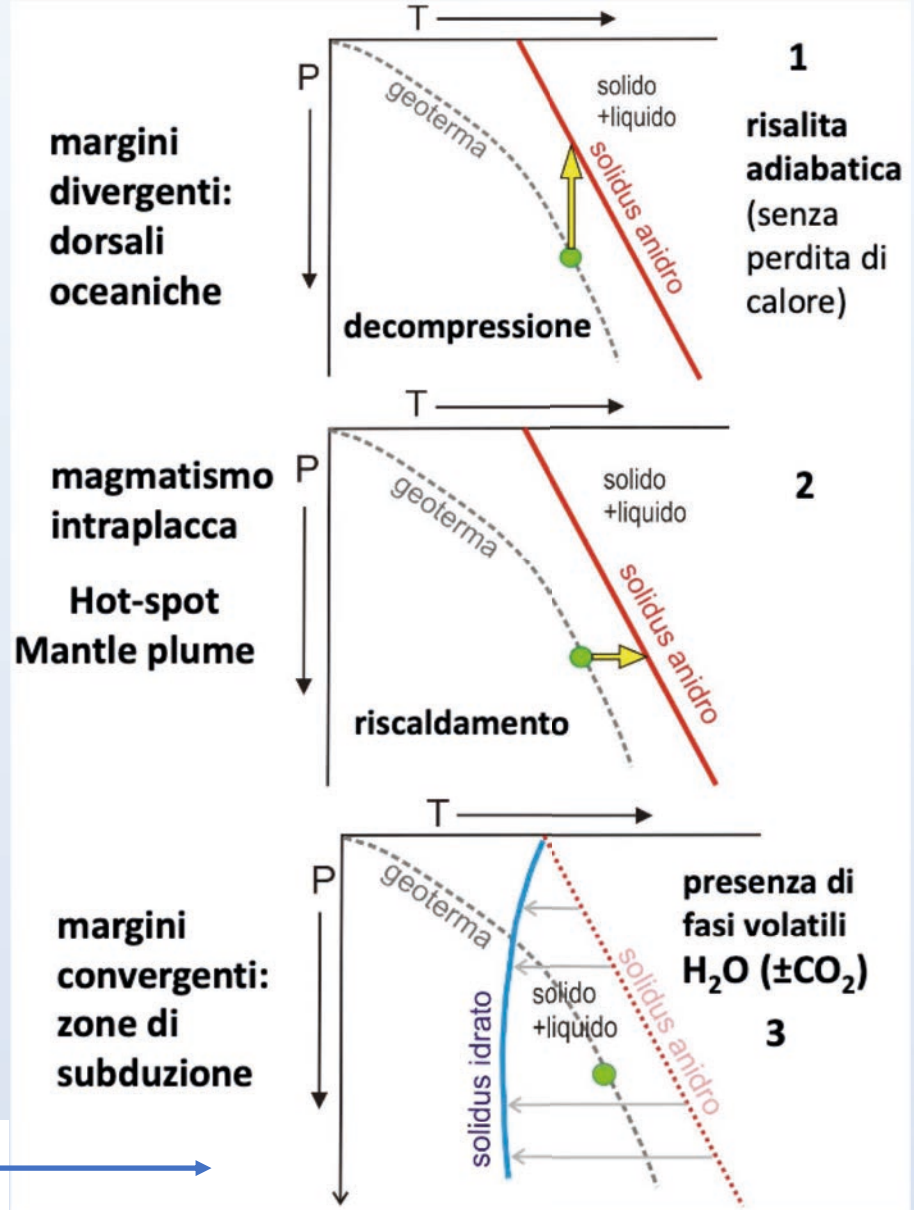


Geoterma: incremento della T con la P

Solidus: curva di inizio fusione

Liquidus: curva di fusione completa

Effetto fasi volatili : abbassamento delle temperature di inizio fusione, il solidus si sposta verso temperature più basse



margini divergenti: dorsali oceaniche

1
risalita adiabatica
(senza perdita di calore)

decompressione

magmatismo intraplacca
Hot-spot Mantle plume

2

riscaldamento

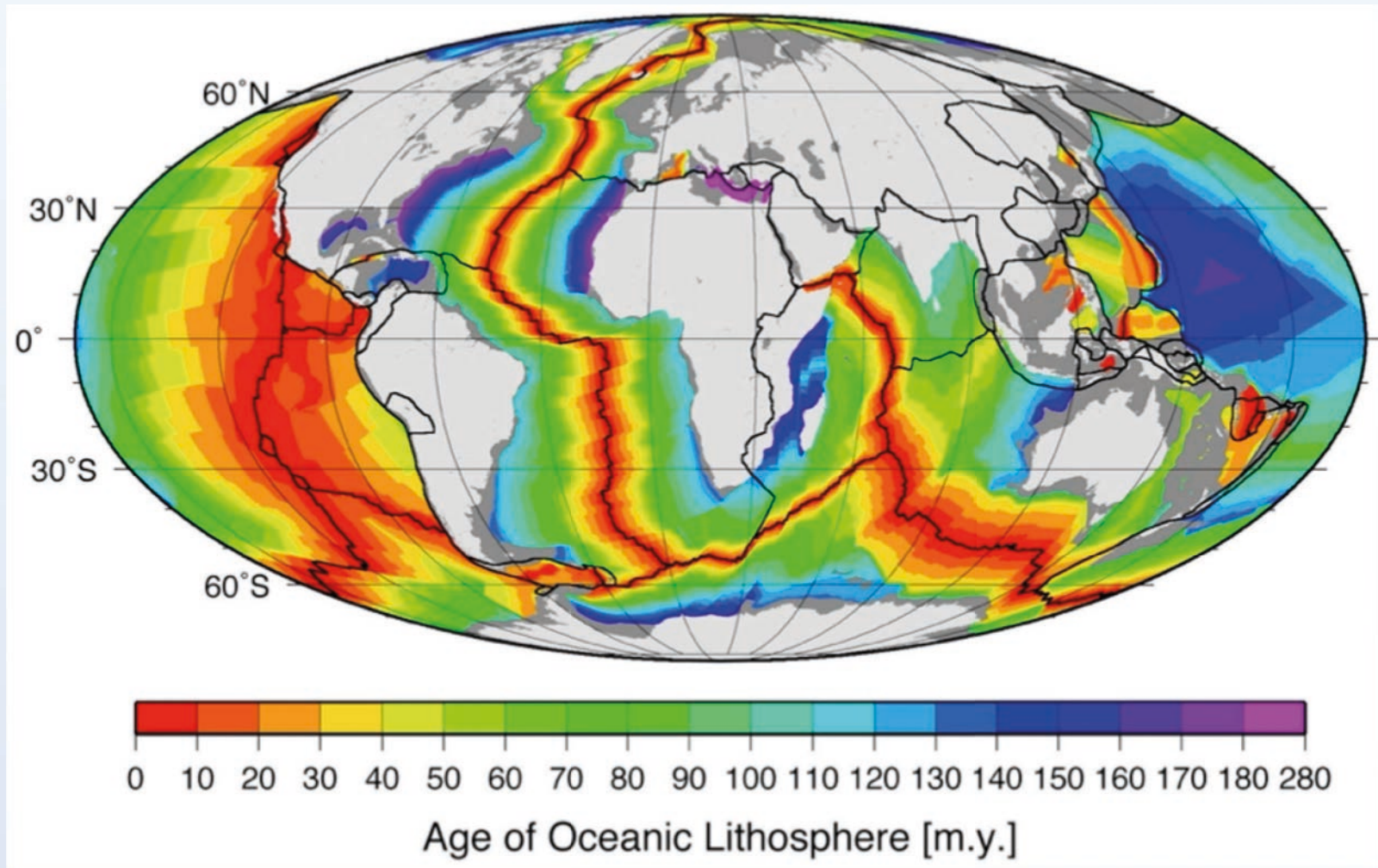
margini convergenti: zone di subduzione

presenza di fasi volatili H₂O (±CO₂)
3

solidus idrato



Margini divergenti



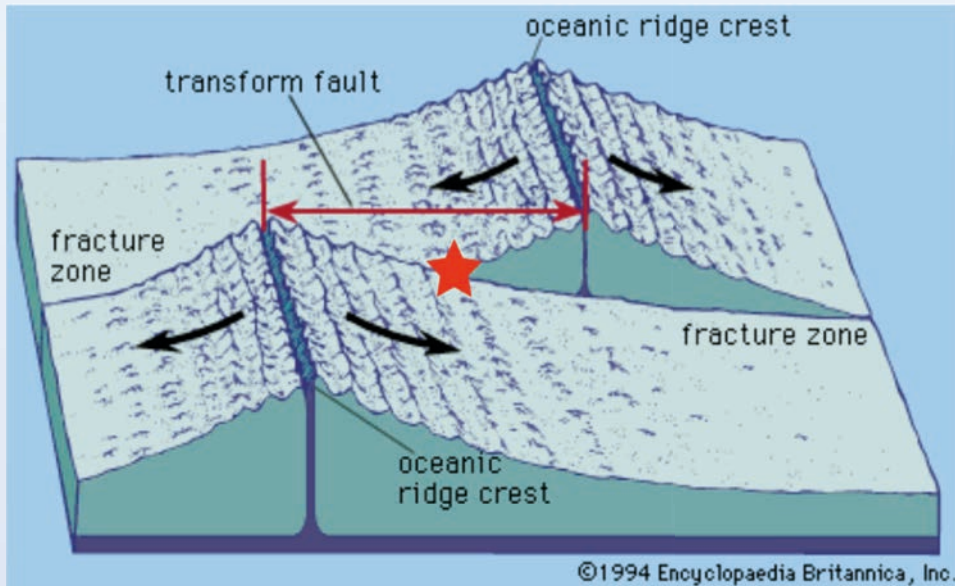
L'età dei fondali oceanici varia sistematicamente con la distanza dalla dorsale medio-oceanica.

- Le rocce della crosta oceanica sono “giovani”, < 200 Ma
- Le rocce della crosta continentale hanno età variabili, fino a 4000 Ma

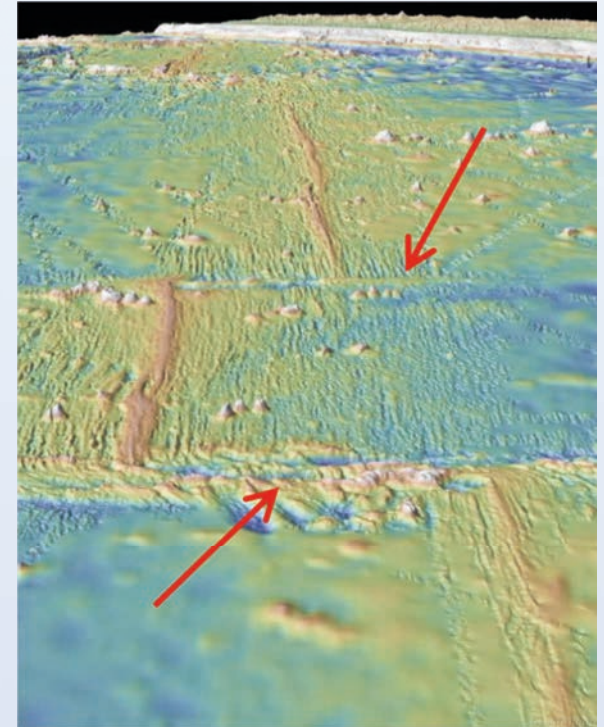
Margini trasformati

I margini di placca che hanno direzione parallela al movimento relativo tra due placche sono considerati margini trasformati.

Le faglie trasformati possono svilupparsi sia in litosfera continentale che oceanica; le trasformi oceaniche sono tra le strutture tettoniche più lunghe sulla terra, possono superare le migliaia di km, e dislocano le dorsali oceaniche.



Le faglie trasformati producono scarpate sottomarine dove possono venire esposte sezioni complete di crosta oceanica fino al mantello sottostante



*Esempio1: East Pacific Rise, Pacific ocean Latitude: 7° N - Longitude: 103° to 104° W Image Width: 160 km
Data: Shipboard multibeam bathymetry data*



DWAYNE JOHNSON
SAN ANDREAS
DAL 28 MAGGIO AL CINEMA

SAN ANDREAS

Margini trasformati

Faglia di S. Andrea (California)



Sebbene la maggior parte dei margini trasformati sia nella placca oceanica, alcuni sono nella placca continentale. Esempio: la faglia di S. Andrea (California) è il margine trasformato tra la placca nord Americana e la placca Pacifica.

Margini convergenti

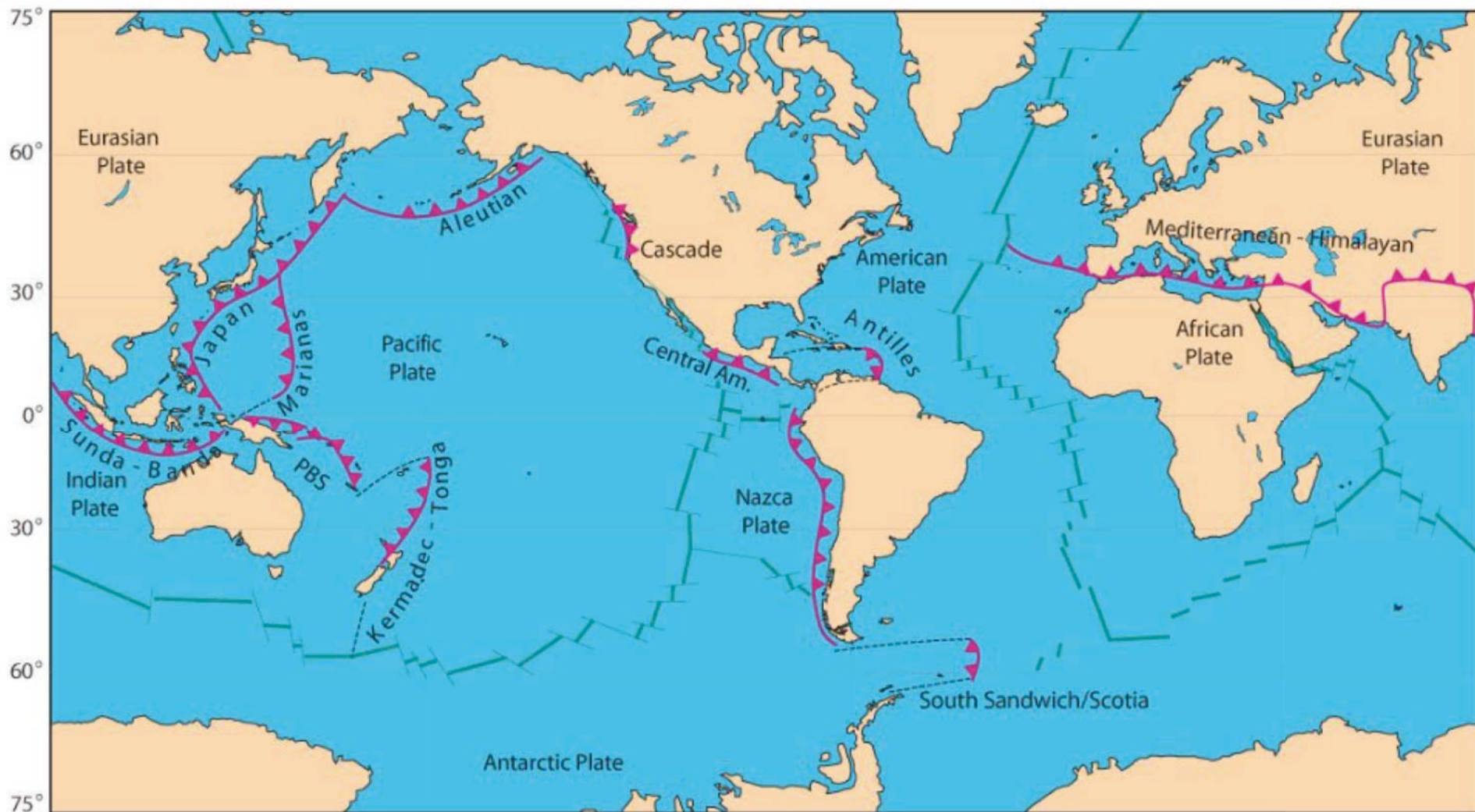


Figure 16.1. Principal subduction zones associated with orogenic volcanism and plutonism. Triangles are on the overriding plate. PBS = Papuan-Bismarck-Solomon-New Hebrides arc. After Wilson (1989) *Igneous Petrogenesis*, Allen Unwin/Kluwer.

Margini convergenti

Placca oceanica – placca continentale:

Archi continentali

Subduzione – piano di Benioff

Terremoti profondi

Sistema arco-fossa

Magmi da intermedi (andesitici) ad acidi (riolitici)

Placca oceanica – placca oceanica:

Archi insulari

Subduzione – piano di Benioff

Terremoti profondi

Sistema arco-fossa

Magmi basaltici-andesitici

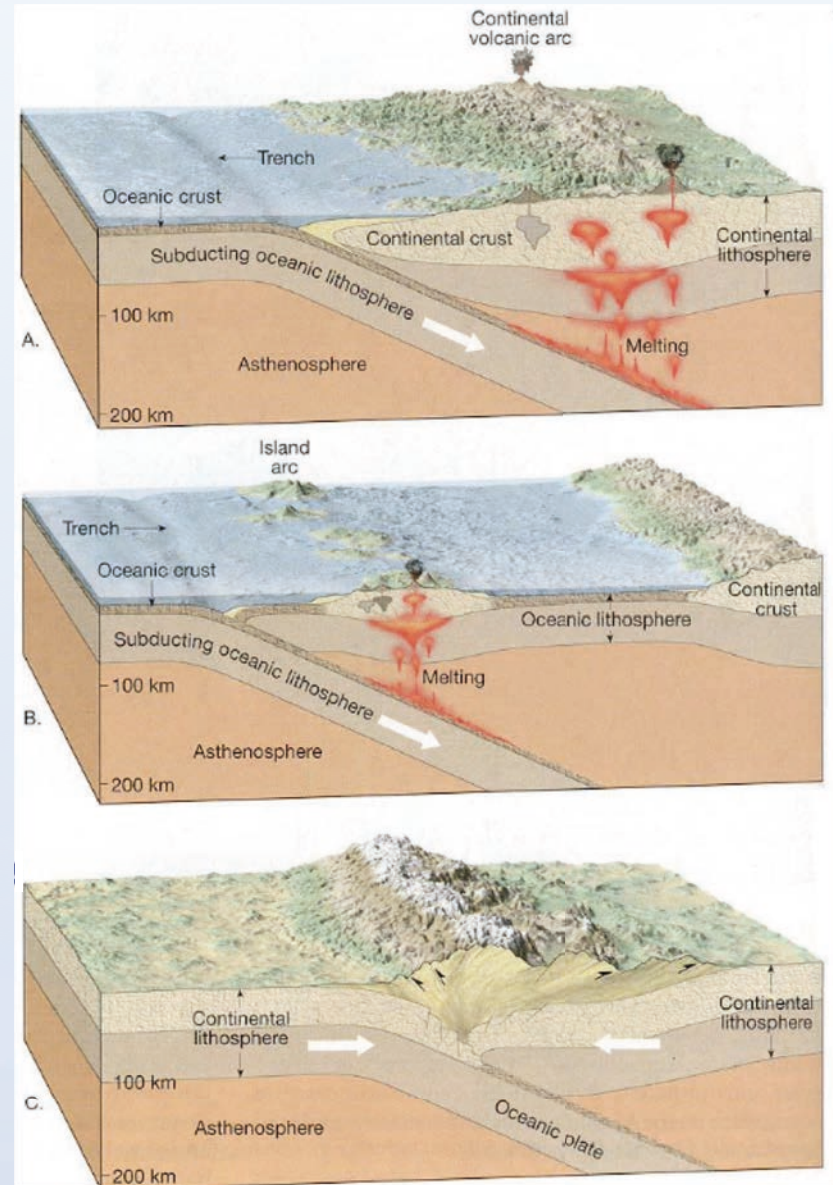
Placca continentale – placca continentale:

Catene collisionali - orogenesi

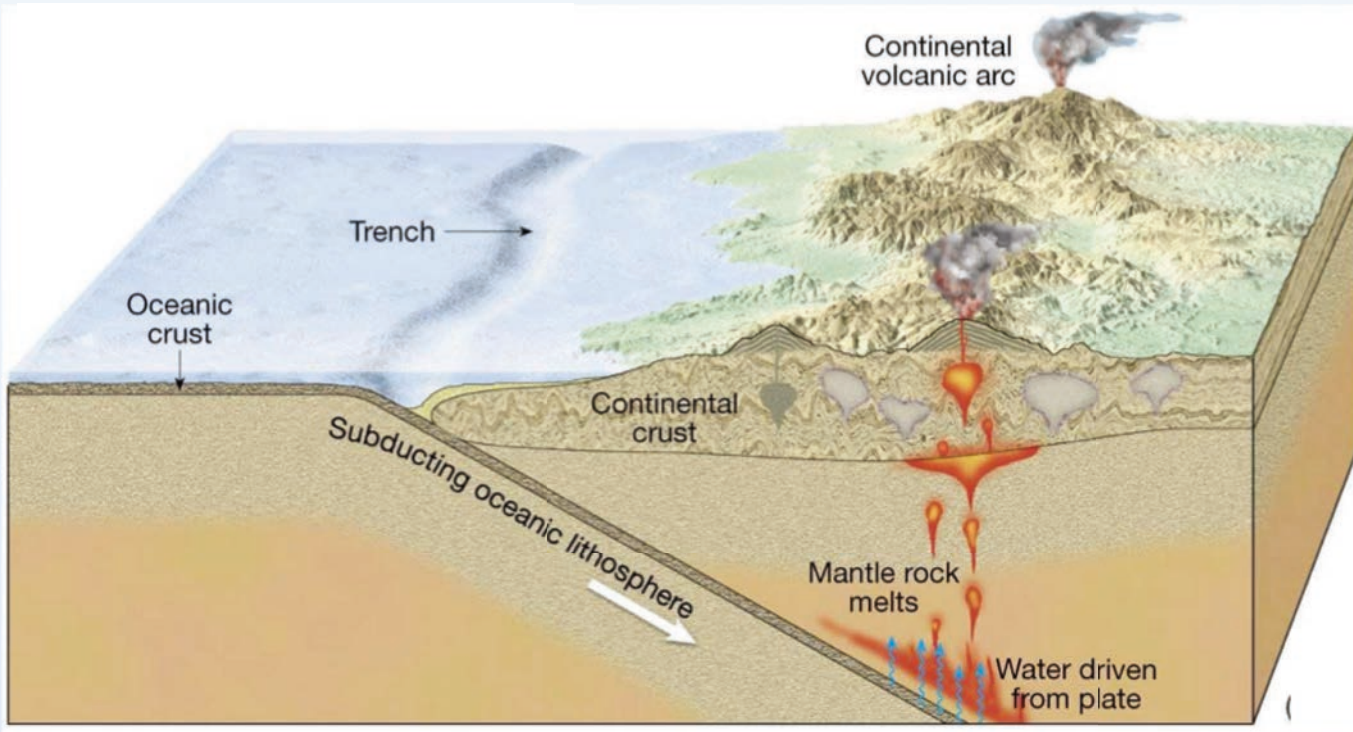
Inspessimento crostale

Fusione in buona parte della crosta

Solo magmi acidi e senza vulcanismo



Archi continentali

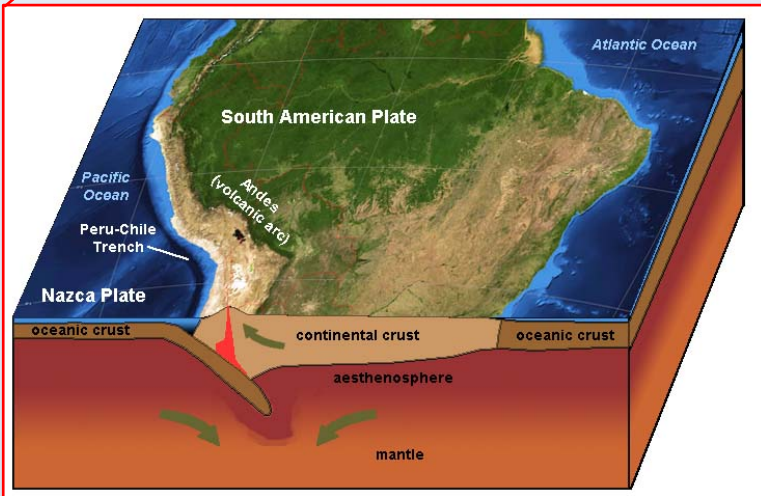
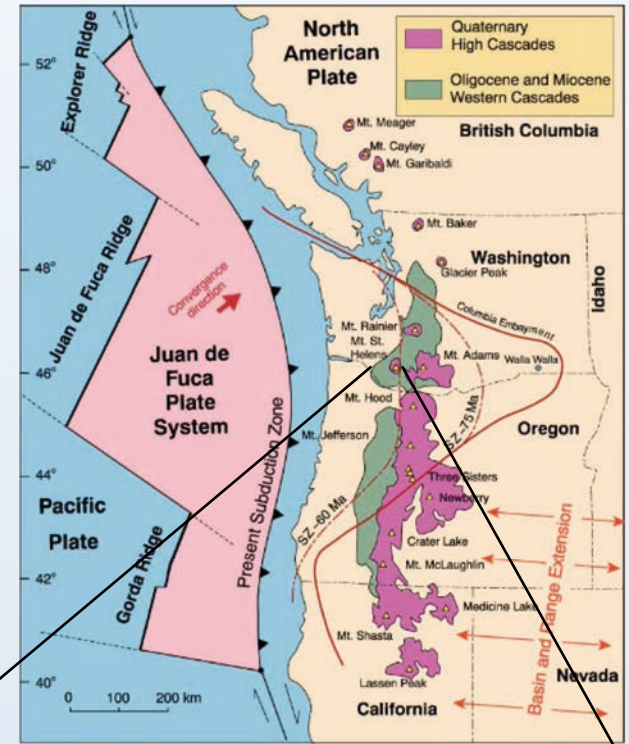
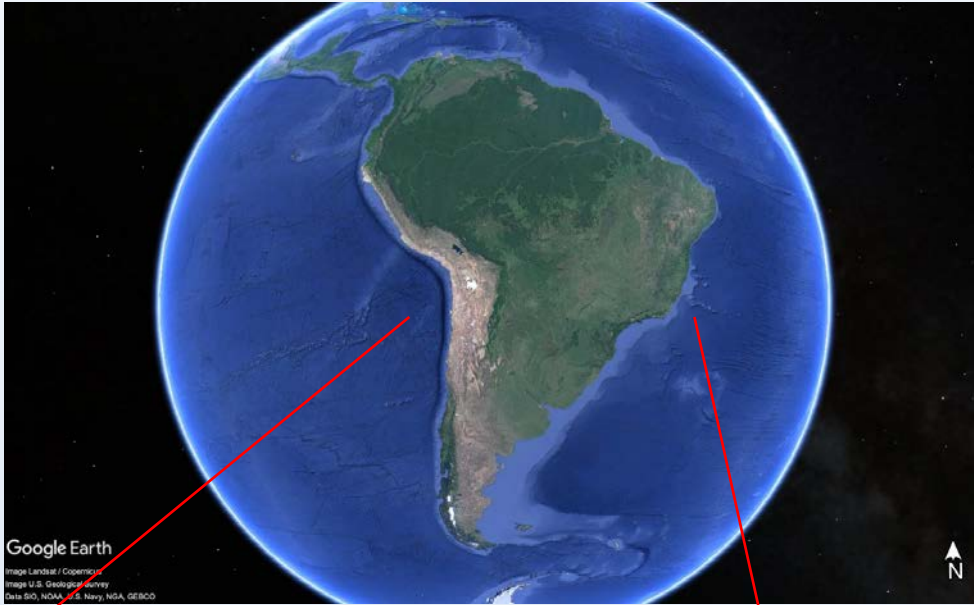


La litosfera oceanica (più densa) si incunea sotto quella continentale. La crosta oceanica, idratata durante la permanenza sui fondali oceanici, in profondità si disidrata, rilascia fluidi (e.g., H_2O) che abbassano la T di fusione del mantello sovrastante e innescano la fusione. L'attività magmatica produce una cintura vulcanica nella placca continentale parallela alla zona di subduzione detto arco vulcanico continentale.

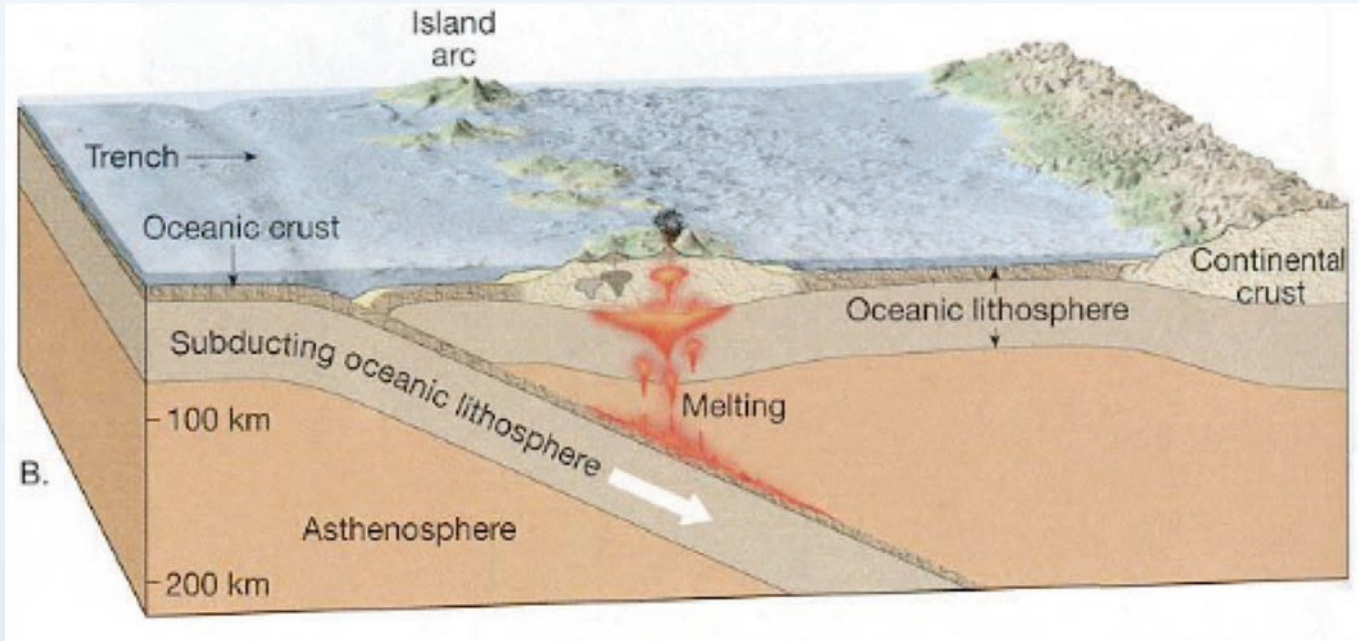
La fusione idrata del mantello produce magmi andesitici. L'ambiente compressivo favorisce il ristagno dei magmi basici in crosta, con parziale cristallizzazione e conseguente modificazione verso composizioni più acide.

Vulcanesimo : da intermedio (andesitico $SiO_2 \sim 60$ wt%) a acido (dacitico $SiO_2 \sim 65$ wt%), scarso quello basaltico ($SiO_2 \sim 50$ wt%)

Archi continentali



Archi insulari



L'attività magmatica produce catene di isole vulcaniche disposte ad arco, detti archi insulari.

Analogie con i margini continentale-oceanico : fusione idrata del mantello (fluidi!!), parziale ristagno in profondità dei magmi basaltici e parziale cristallizzazione.

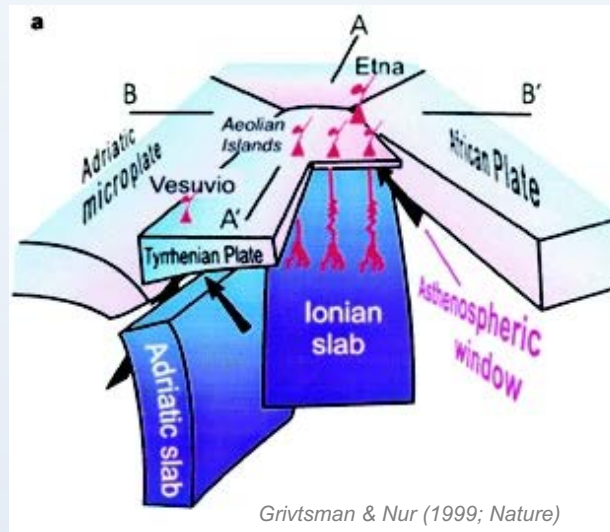
Differenze: molto scarsi /nulli i processi di interazione tra crosta e magmi (crosta meno spessa, di composizione basica), molto minore attività intrusiva, no fusione crostale.

Conseguenze: predominanti magmi basici-intermedi, cioè basaltici e andesitici (SiO_2 50–60 wt%) , molto più scarsi quelli acidi. Non ci sono associati plutoni granitici.

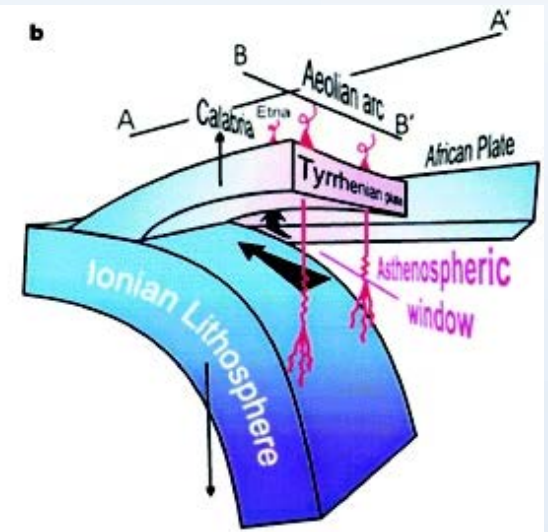
E le Isole Eolie?



Lucchi et al. (2017)



Gritvsman & Nur (1999; Nature)



<https://earth.esa.int/web/earth-watching/historical-views/content/-/article/stromboli-volcano>



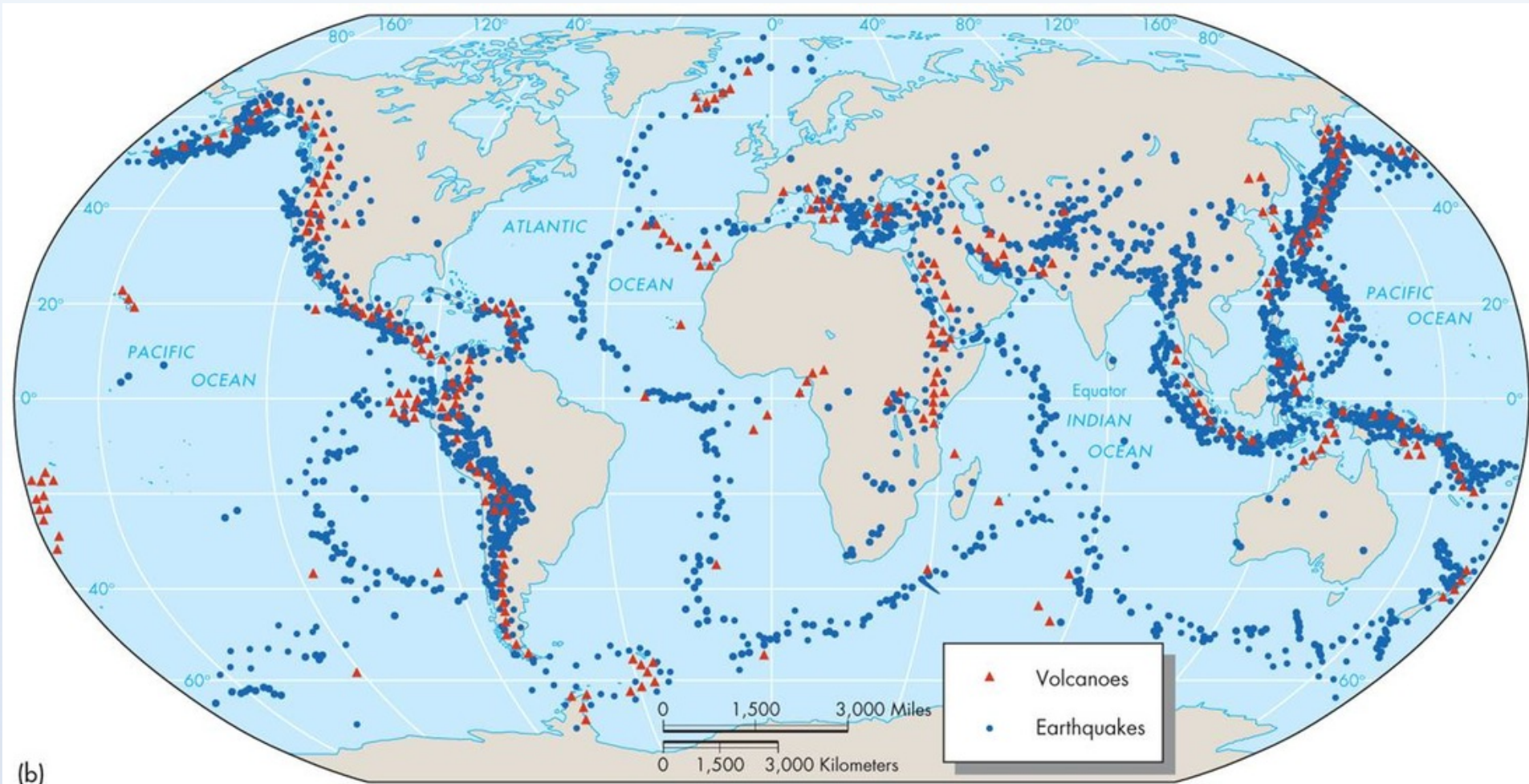
alamy stock photo

Distribuzione dei vulcani e tettonica a placche

La maggior parte degli apparati vulcanici attivi (insulari e continentali) borda il margine Pacifico delle Americhe e dell'Asia costituendo la cosiddetta CINTURA DI FUOCO circumpacifica - *Ring of Fire* - 40.000 km di estensione , sede del 90% dei terremoti

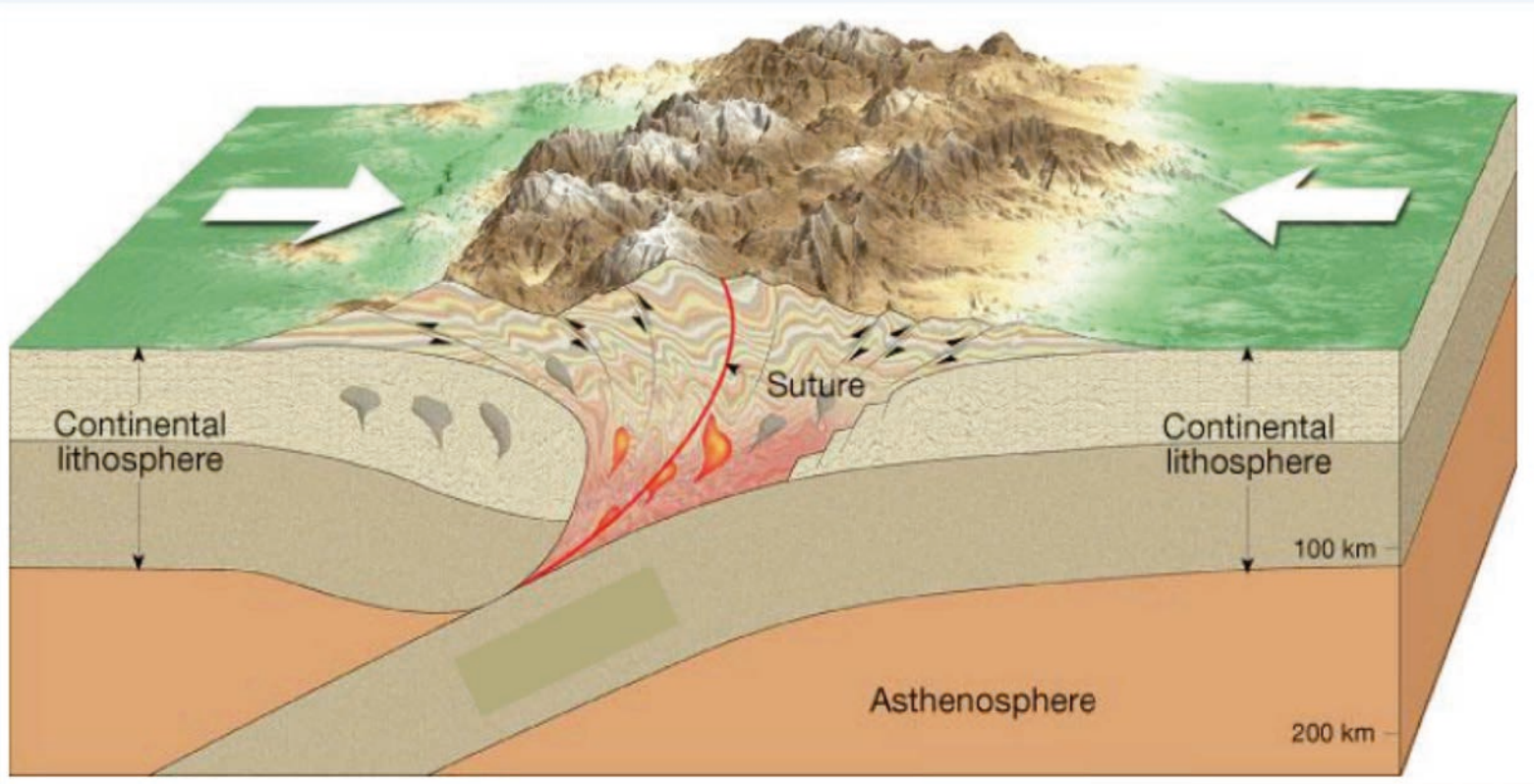


Distribuzione dei vulcani e tettonica a placche



Copyright © 2008 Pearson Prentice Hall, Inc.

Catene collisionali



Non c'è più subduzione. Non ci sono differenze importanti di densità tra le placche.

La convergenza usualmente inizia come una convergenza oceanica-continentale. Le spinte compressive provocano intense deformazioni e ispessimento crostale, con produzione di catene montuose.

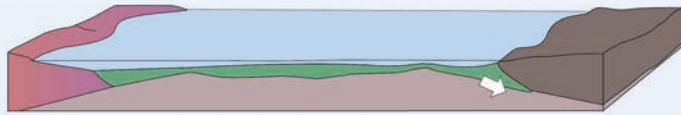
Il mantello non fonde, non c'è vulcanismo - non c'è produzione di magma basico

Catene collisionali

Himalayana dalla convergenza India-Eurasia

Millionen Jahre vor heute

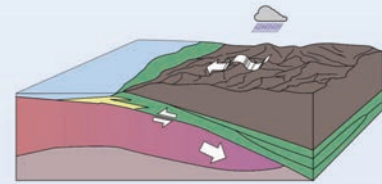
100



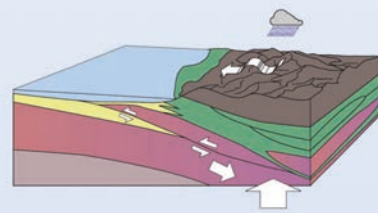
60



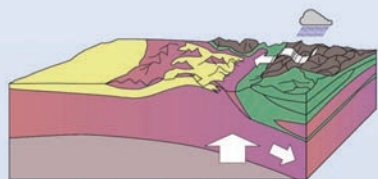
40



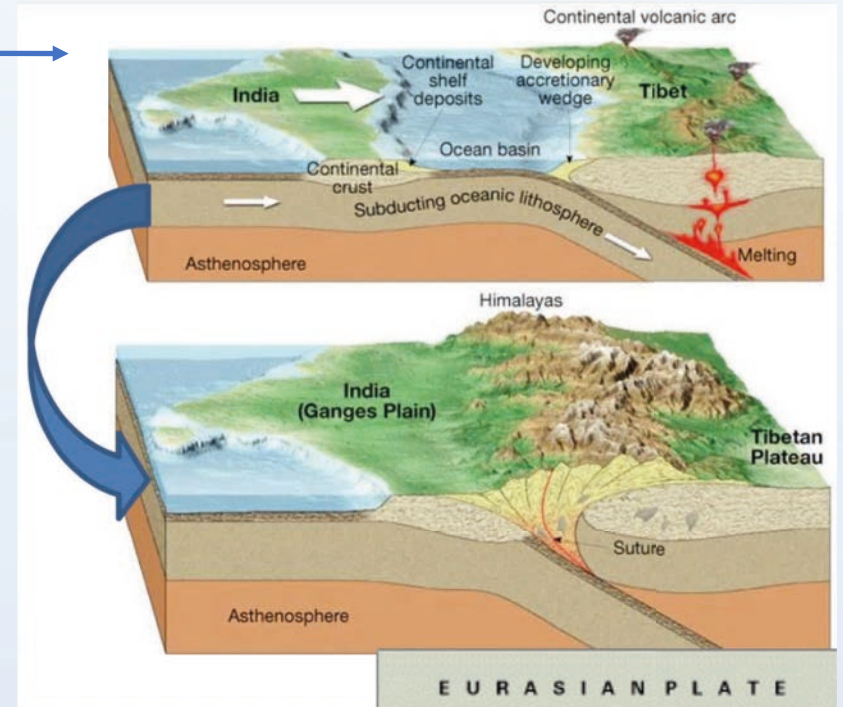
20



heute

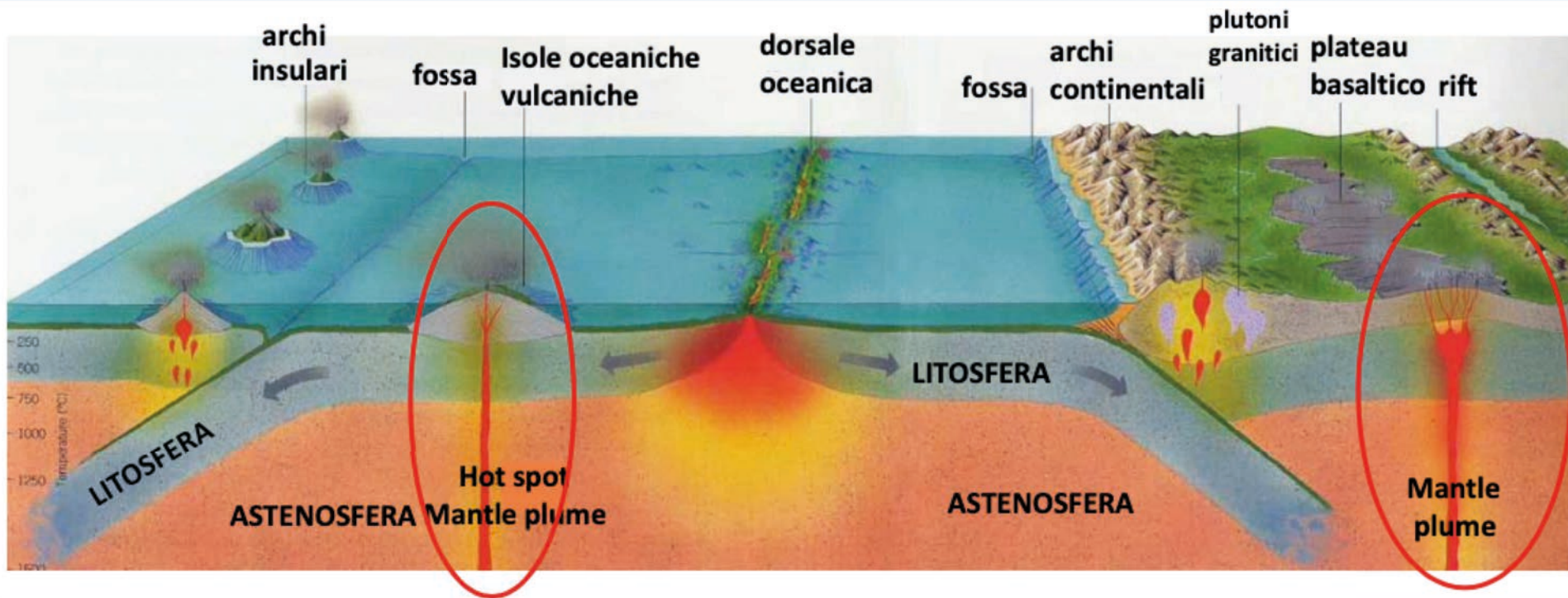


- Europäischer Kontinent
- Meeresboden
- Afrikanischer Kontinent
- jüngere Meeres- und Landablagerungen
- Unterkruste
- Meerwasser
- Relative Bewegung der Platten
- Relative Bewegung der Decken
- Hebung des ganzen Gebirges
- Gesteinsabtrag und -transport



Alpi dalla convergenza Africa-Euroasiatica

Magmatismo intraplacca

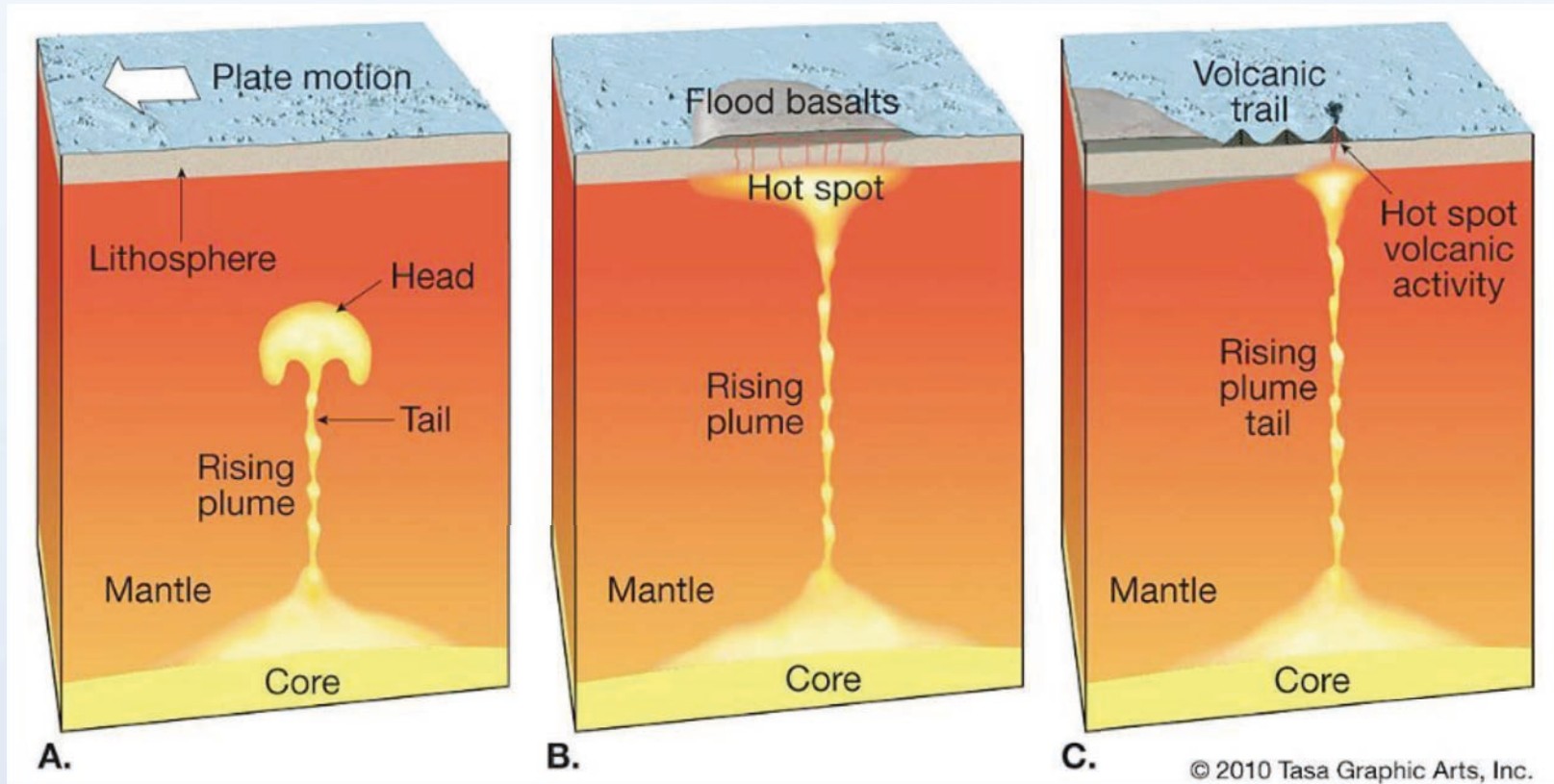


Attività magmatica non relazionata ai margini di placca.

Dovuta alla presenza di *hot spot*, che sono la manifestazione più superficiale dei *mantle plume* (pennacchi di mantello).

Le *mantle plumes* rappresentano materiale mantellico di alta T proveniente da zone del mantello inferiore, forse anche dall'interfaccia mantello-nucleo.

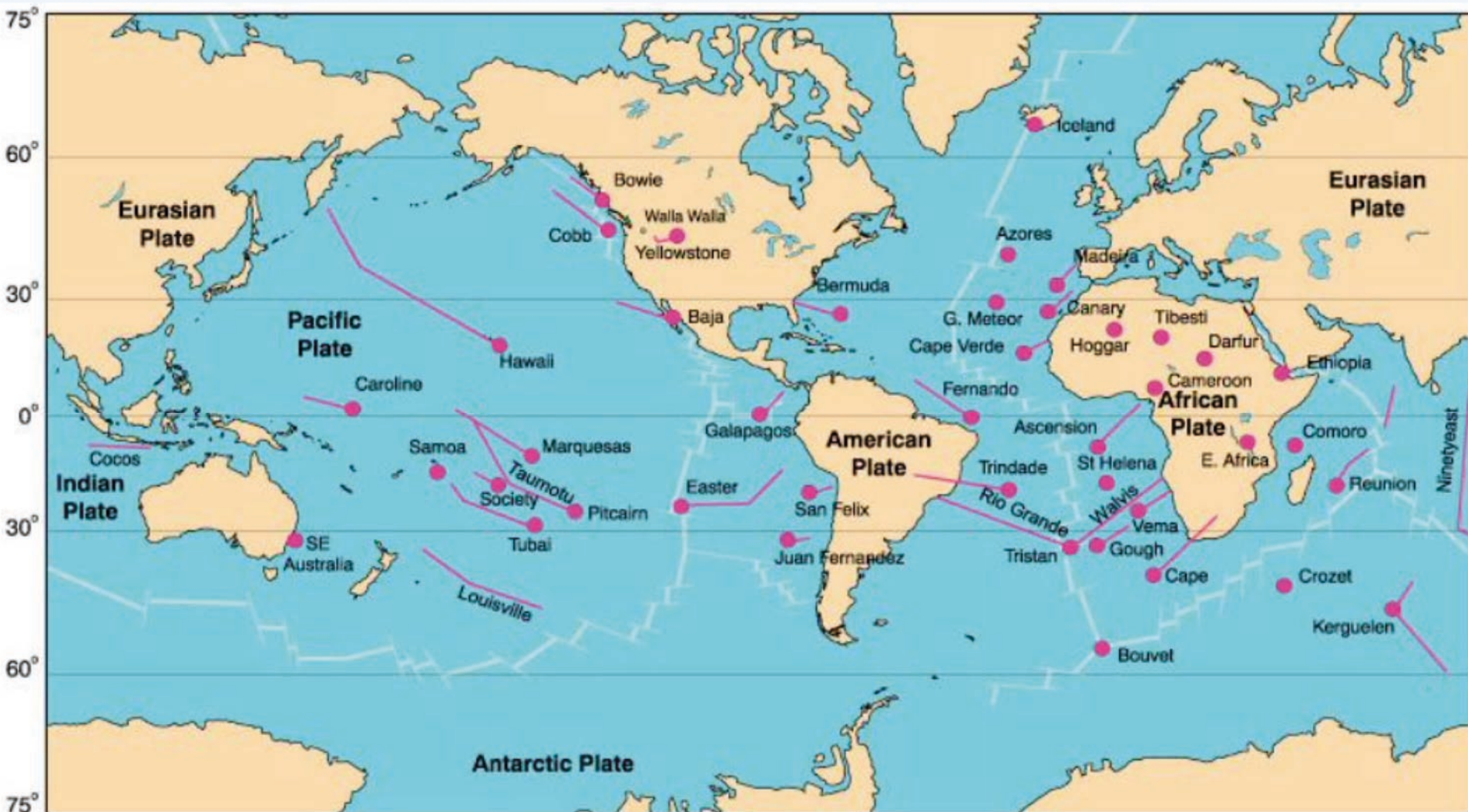
Magmatismo intraplacca



I *mantle plume* sono costituiti da materiale mantellico che risale, nell'ipotesi più semplice e schematica, in forma di colonne, schiacciandosi alla base della litosfera.

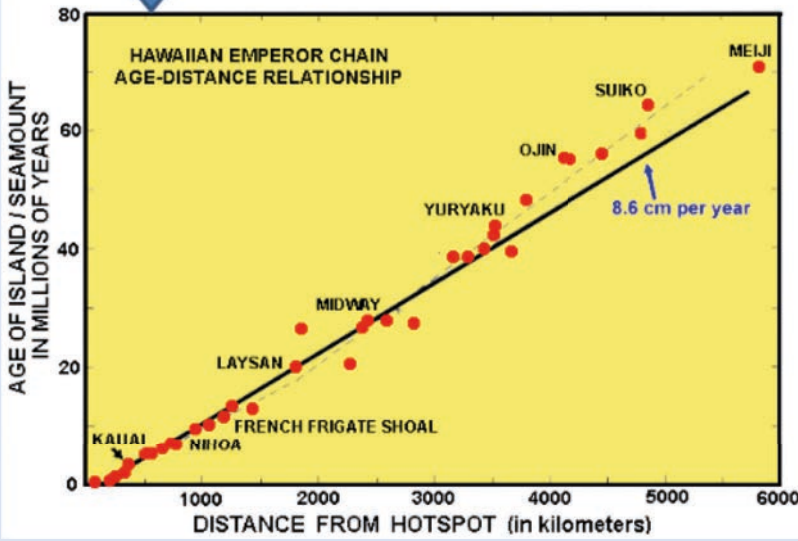
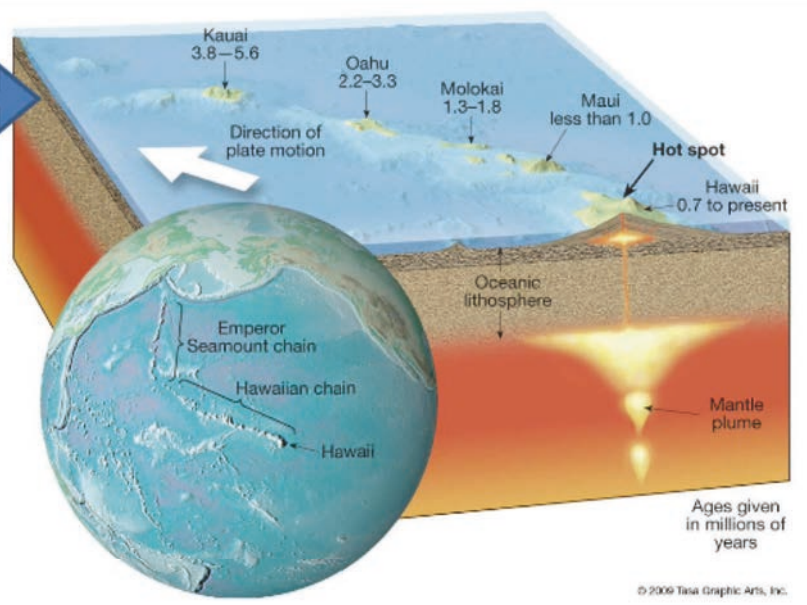
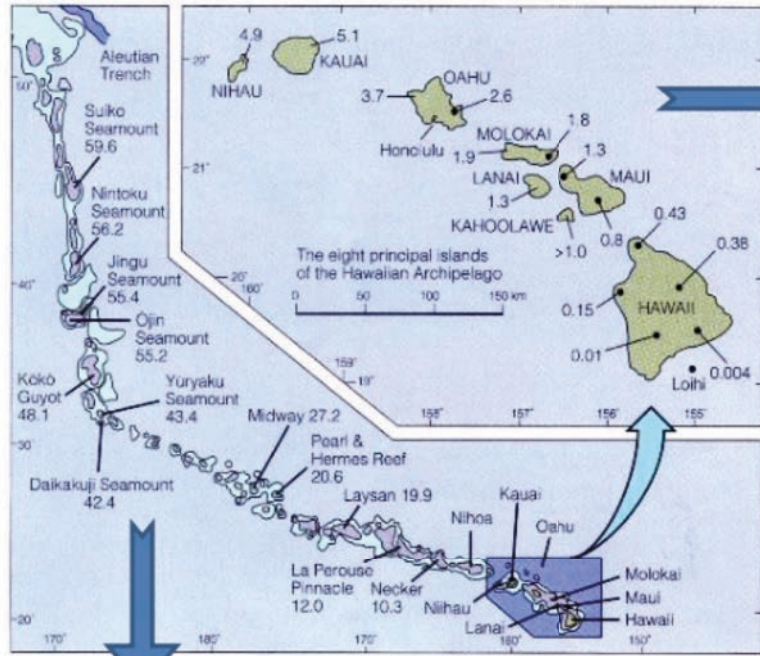
I *mantle plume* o *hot spot* spiegano sia l'origine del vulcanismo di intraplacca oceanica (catene di isole vulcaniche oceaniche, tipo Hawaii) che quello di intraplacca continentale (*continental flood basalt* = espandimenti o plateaux basaltici continentali)

Magmatismo intraplacca



Localizzazione degli *hot spots*, le linee indicano il movimento delle placche.
Da notare la presenza di hot spot sia sotto le placche oceaniche che continentali. (Winter 2010).

Magmatismo intraplacca



Esempio : la catena delle isole Hawaii-Emperor

Le figure illustrano che i vulcani più lontani dalle Hawaii sono i più vecchi (fino a 63Ma) e diventano più giovani avvicinandosi a queste, che sono attive proprio perché poste sulla verticale del punto caldo

Magmatismo intraplacca continentale

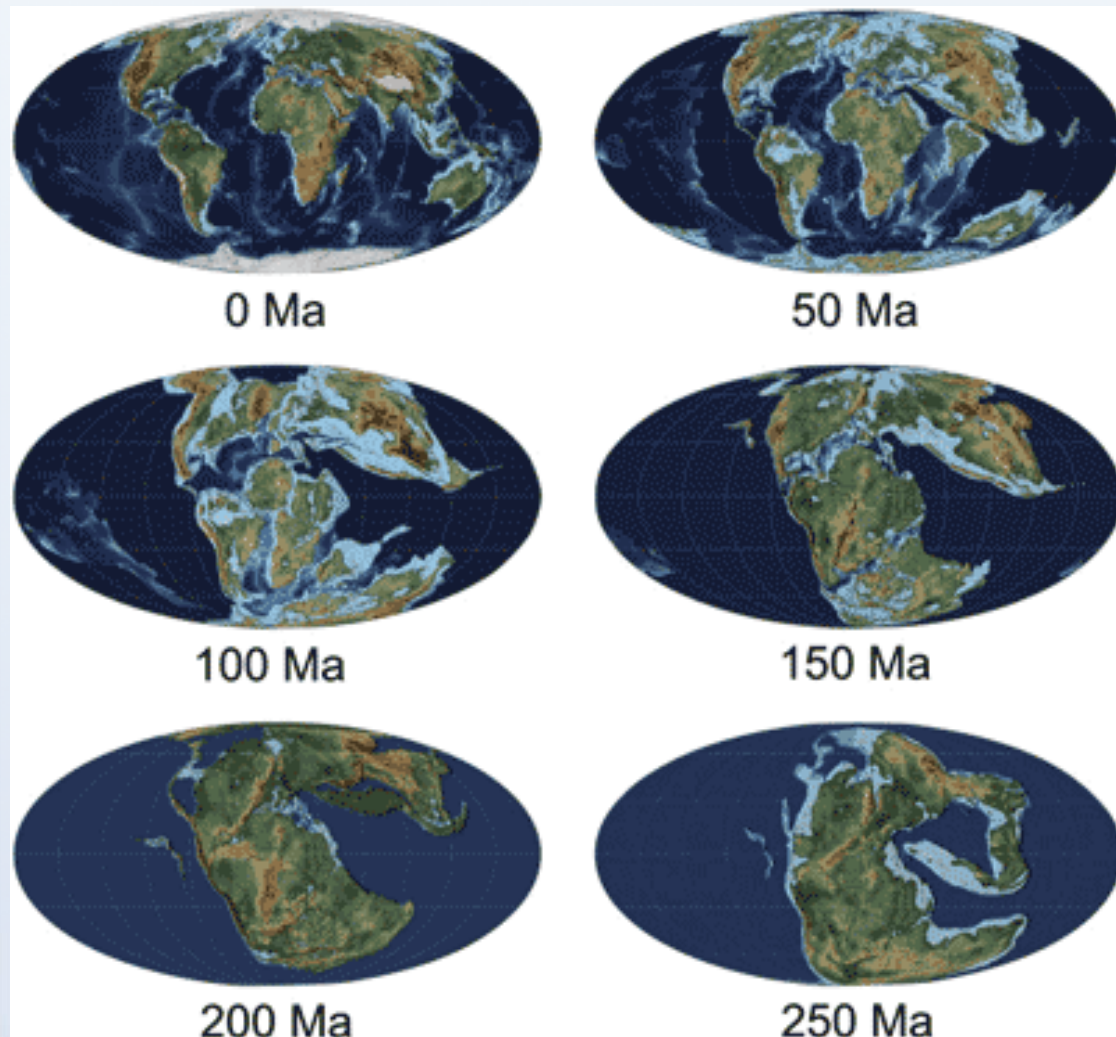


Distribuzione dei maggiori espandimenti basaltici (Flood Basalt)

È il vulcanismo più imponente nelle placche continentali, rappresentato da espandimenti basaltici detti anche *plateaux* basaltici o *continental flood basalt* (CFB); estensioni areali anche > 1 milione di km² (Paraná-Brasile) e spessori di 2–4 Km.

Attribuito ai mantle plume, che causano la fusione del mantello superiore con produzione di magmi basaltici

Magmatismo intraplacca continentale

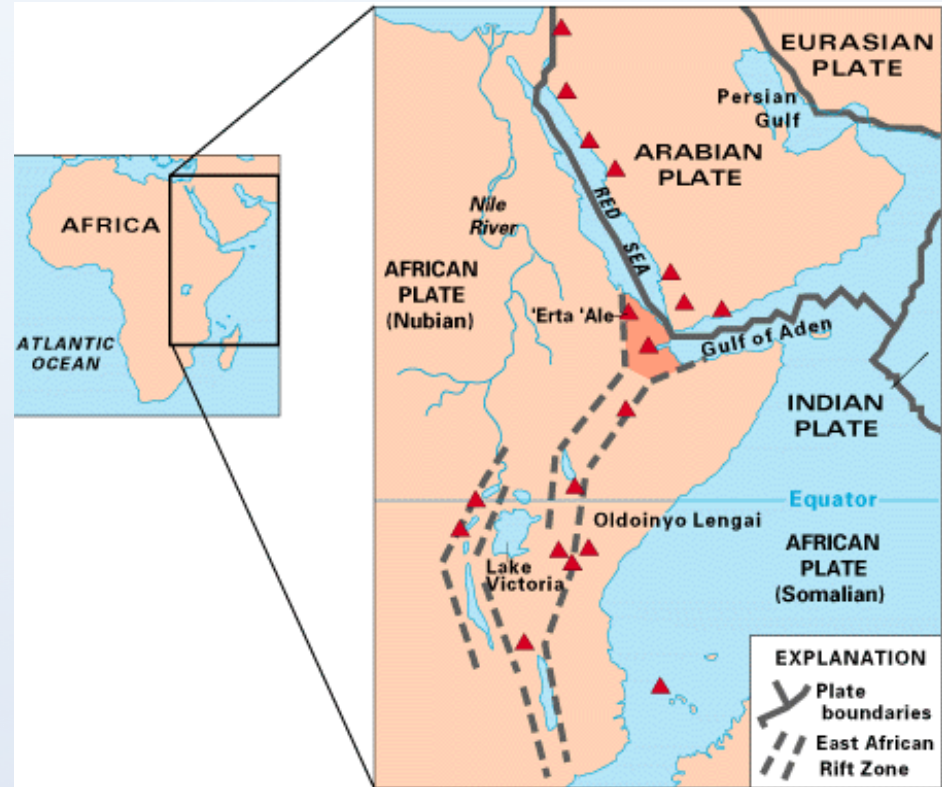
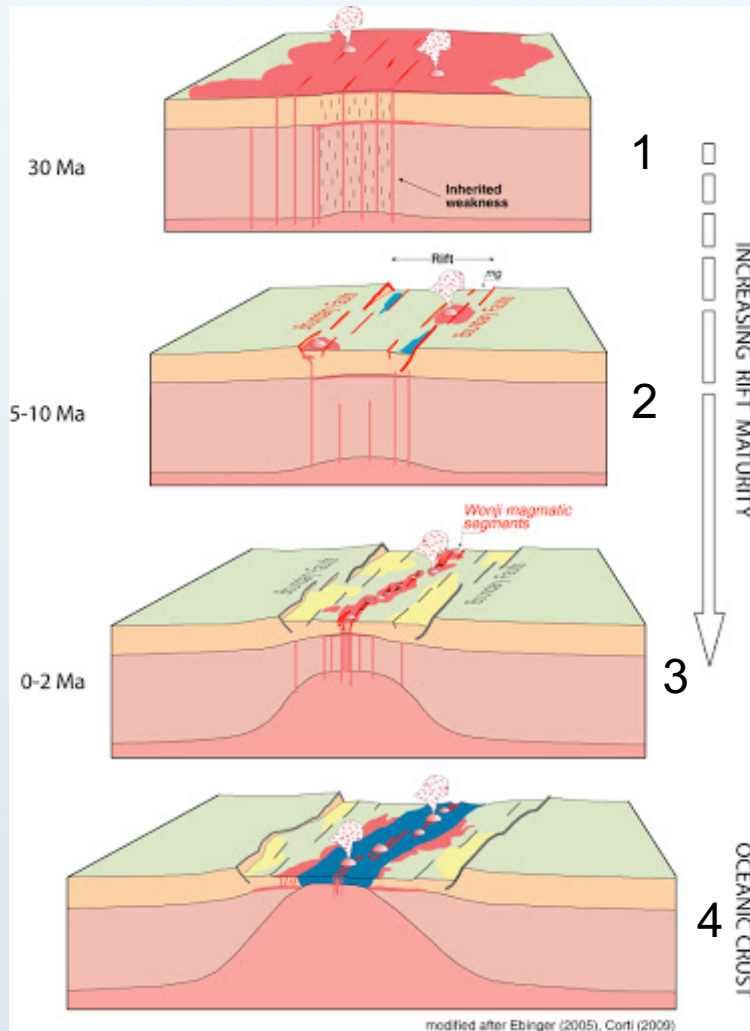


In genere la produzione dei CFB è la fase che precede la formazione di *rift* continentali, i quali evolvendosi portano alla lacerazione completa della litosfera continentale con conseguente formazione di un nuovo bacino oceanico



Importanza della distribuzione del “flood volcanism” nel decifrare l’evoluzione della deriva continentale

Sistemi di *rifting*



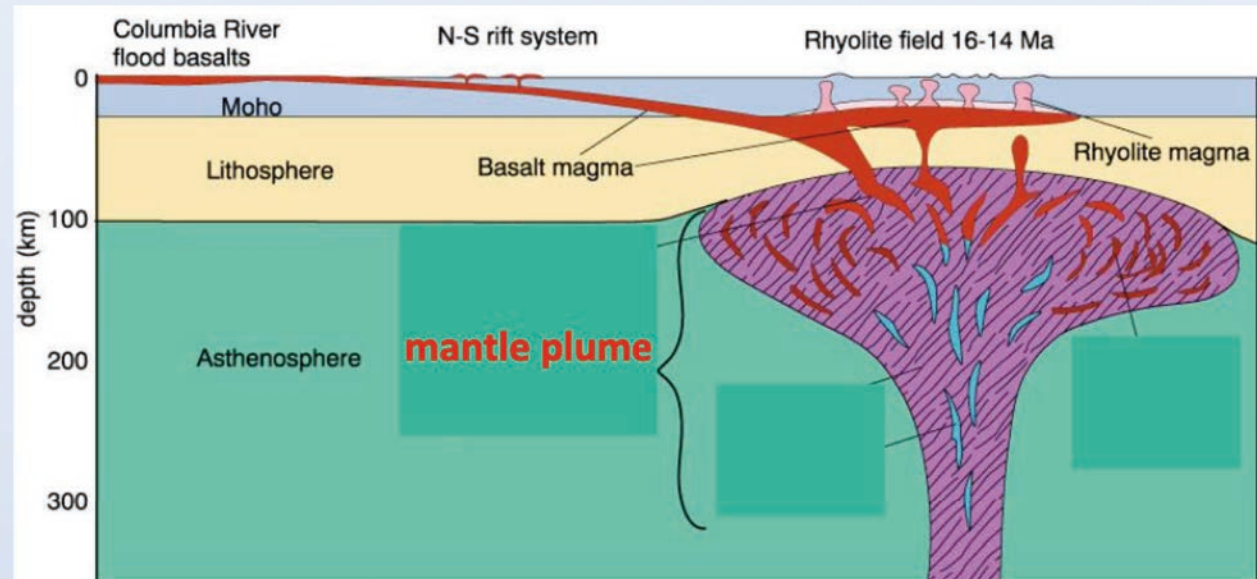
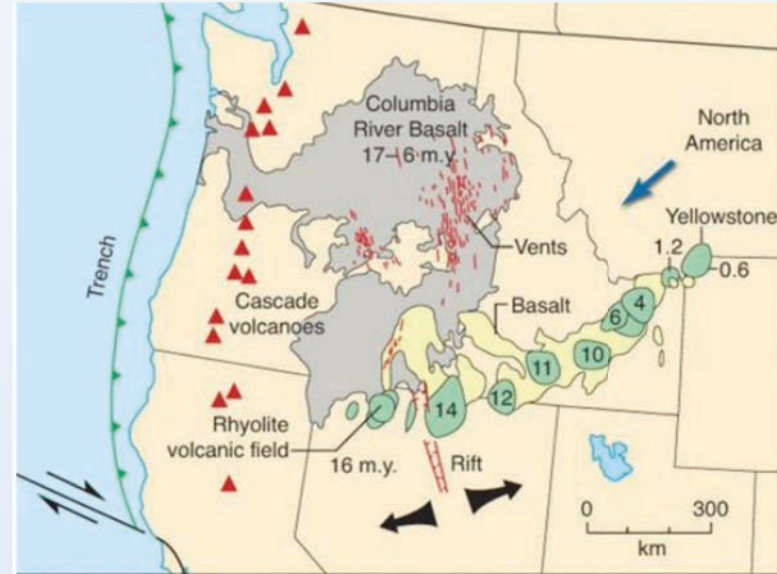
Sistemi di Rift in Africa orientale con giunzione tripla: due rift oceanici (Mar Rosso e Golfo di Aden) che corrispondono alla fase 4 dello schema e il rift continentale Etiopico, che corrisponde alle fase 2/3

- 1: Inizio fratturazione e risalita di magmi di mantello
- 2, 3) inizio assottigliamento crostale;
- 4) crosta continentale lacerata e inizio della formazione di crosta oceanica

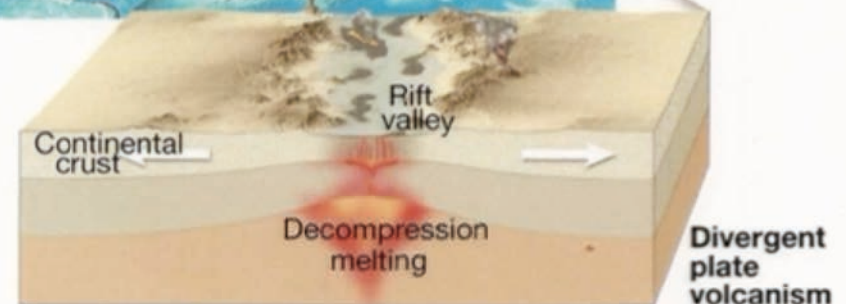
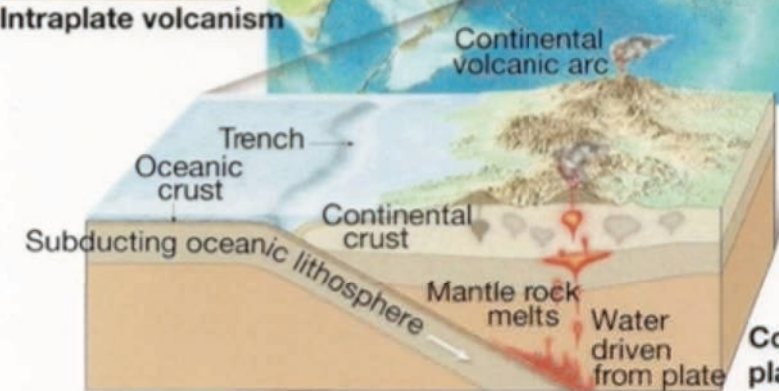
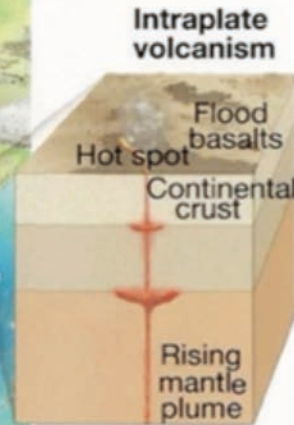
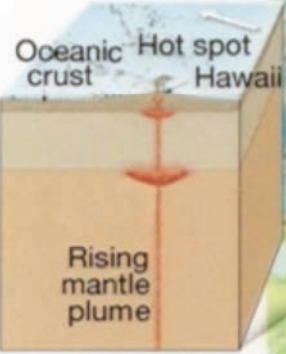
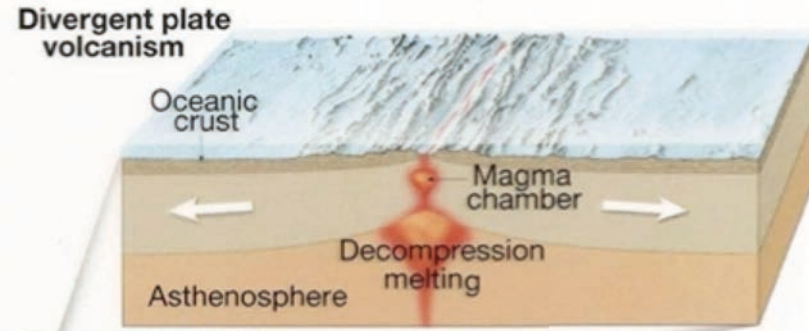
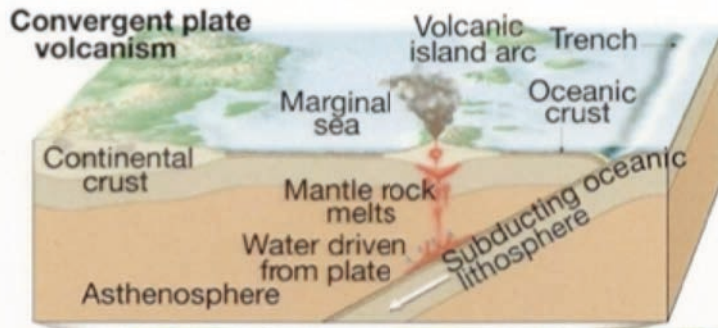
Sistemi di *rifting*

In alcuni casi, gli hot-spot/mantle plume producono oltre a vulcanismo basico (basalti, CFB) anche uno acido riolitico (dipende da vari fattori: velocità dell'assottigliamento crostale, spessore, stato termico e composizione della crosta....)

La testa del plume si espande alla base della litosfera. I magmi basaltici prodotti per fusione del mantello in parte fuoriescono, in parte ristagnano alla base della crosta, la riscaldano fino a farla fondere generando magmi acidi riolitici con ~ 70 wt% SiO₂ (magmatismo bimodale basico- acido).



Quadro riassuntivo



Quadro riassuntivo

