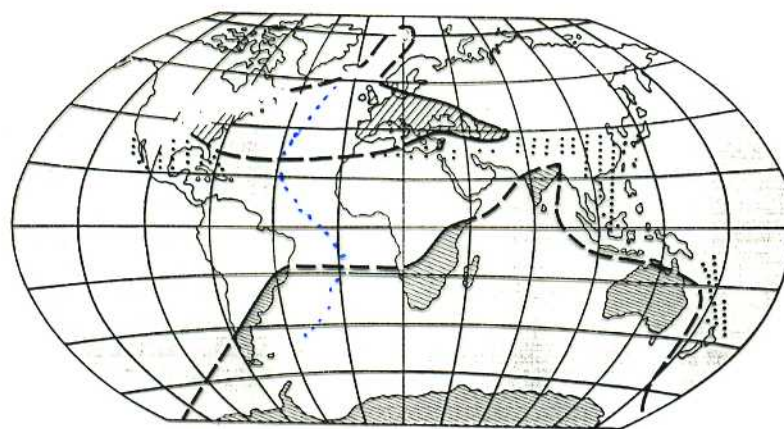




Cenni sulla tettonica a zolle



 Tropical Laurasian
flora
with many species
and areas of identical
reef-forming corals
followed later by
tropical coal forests

 Polar Gondwanan
flora
with few species of
eurydesma fauna

 Tethys marine
foraminifera

Fig. 3.10 Present distributions of Pangaea flora and fauna (redrawn from Tarling & Tarling, 1971, in *Continental Drift*, with permission from Unwin Hyman Ltd).

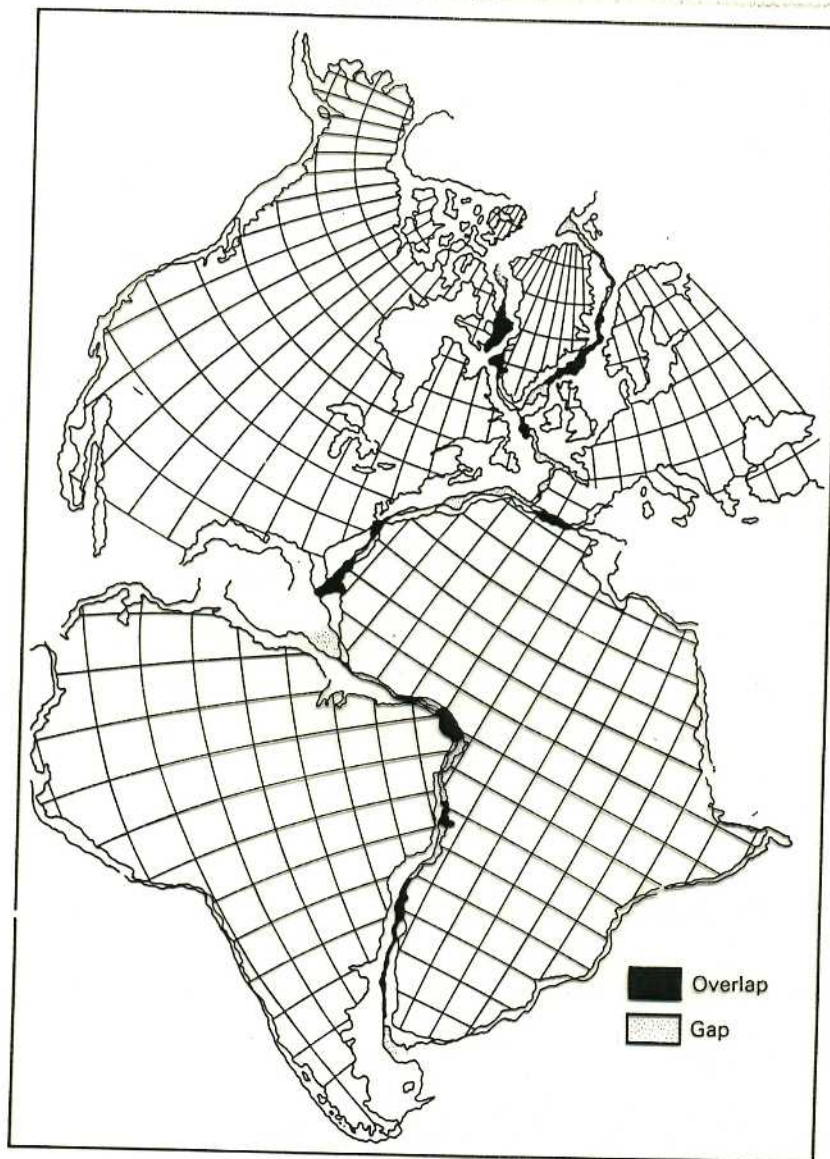


Fig. 3.2 Fit of the continents around the Atlantic Ocean, obtained by matching the 500 fathom (927 m) isobath (redrawn from Bullard *et al.*, 1965, with permission from the Royal Society).

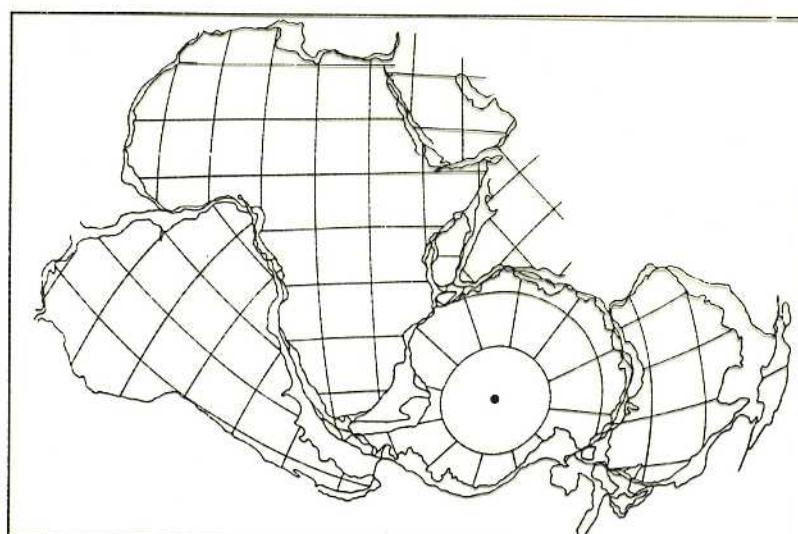
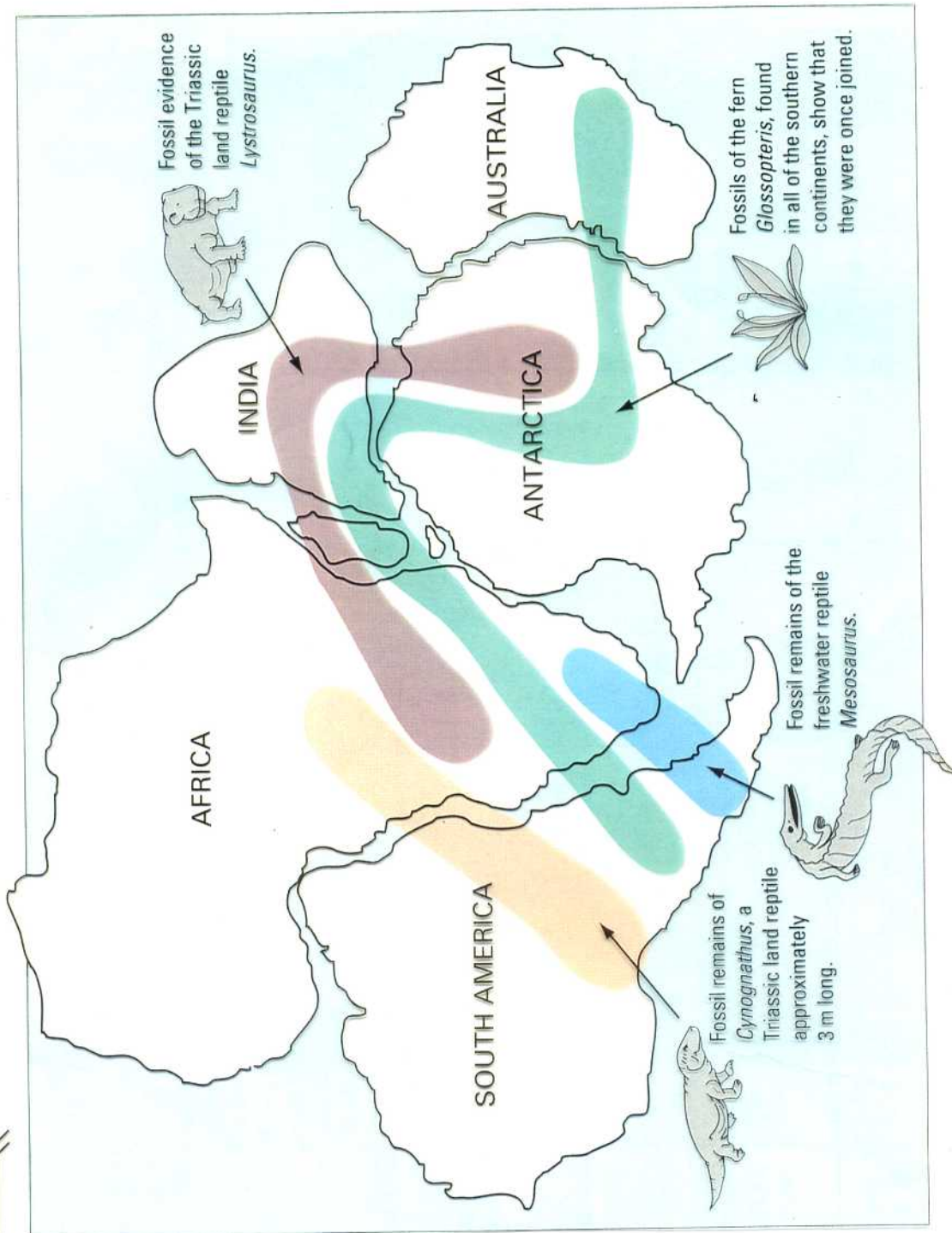


Fig. 3.3 Fit of the southern continents and India (redrawn from Smith & Hallam, 1970, with permission from *Nature*, 225, 139–44. Copyright © 1970 Macmillan Magazines, Ltd).



As noted by Snider-Pellegrini and Wegener, the locations of certain fossil plants and animals on present-day, widely separated continents would form definite patterns (shown by the bands of colors), if the continents are rejoined.

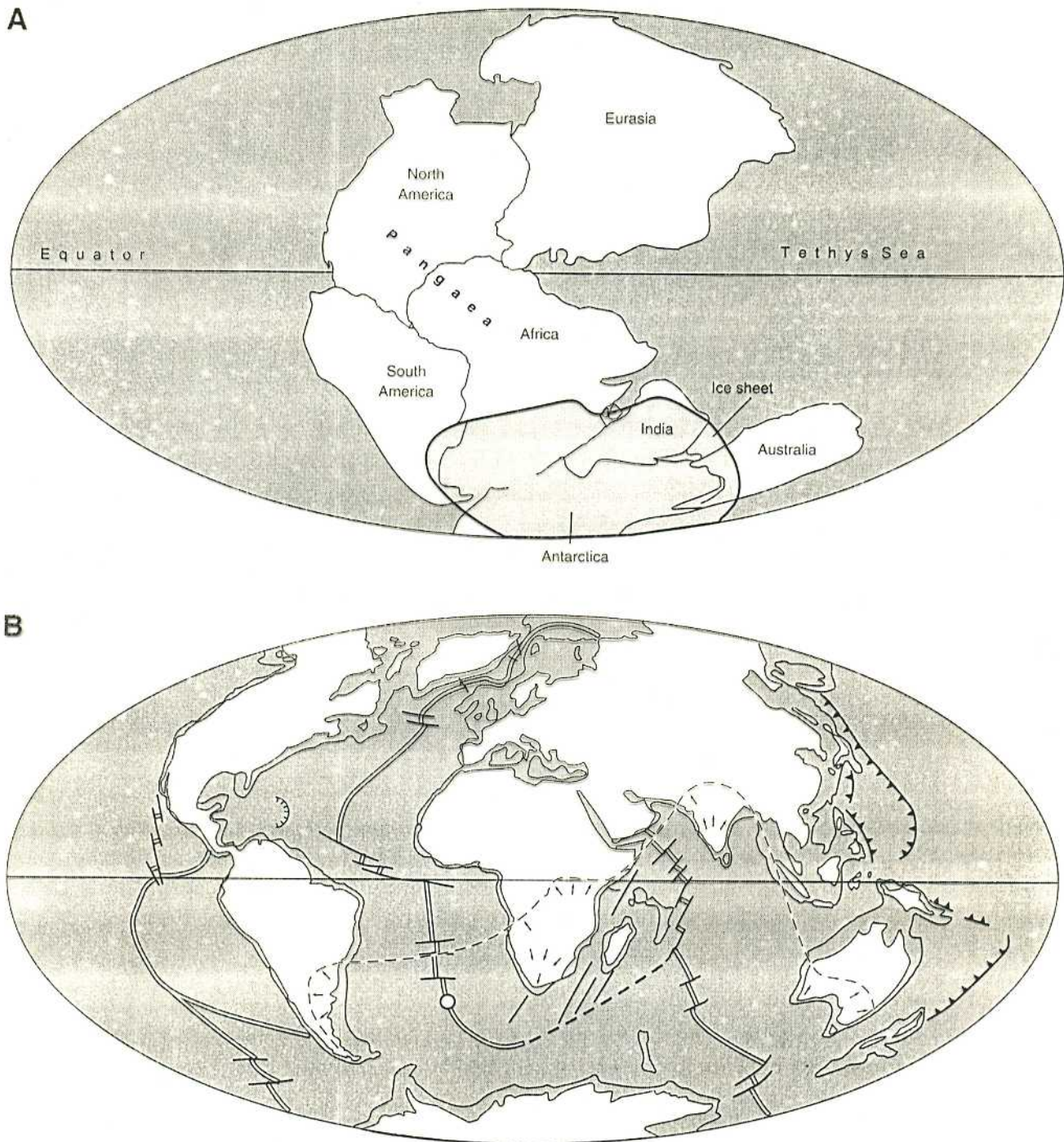
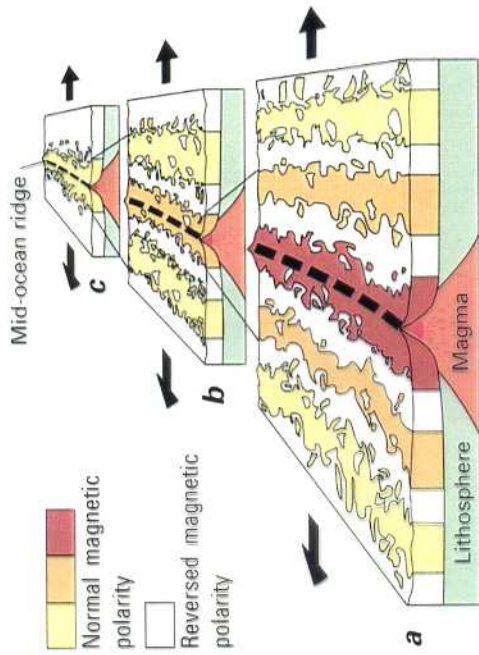
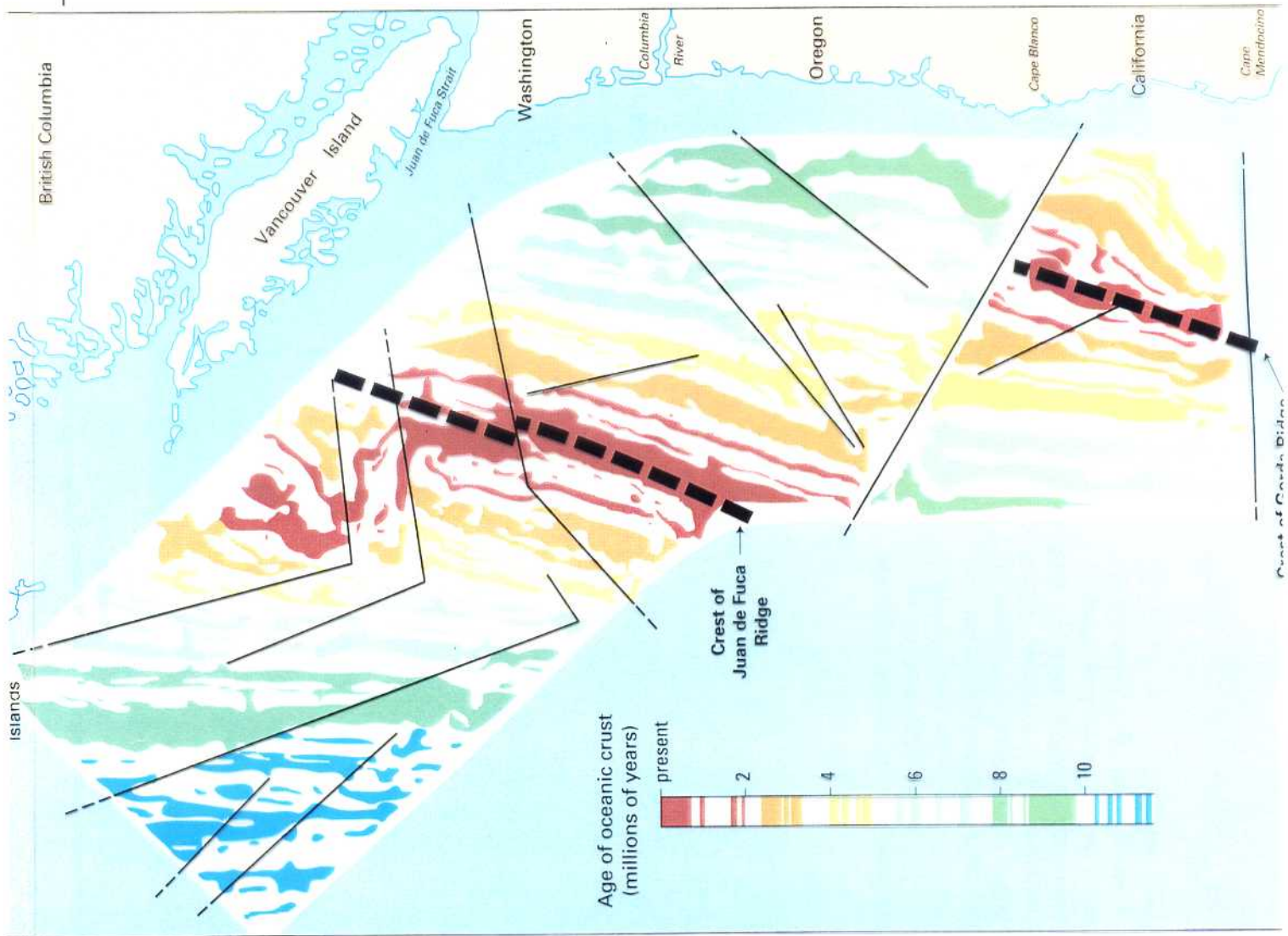


FIGURE 1.4

(A) Pangaea at 200 Ma and (B) present position of continents. Notice that the polar glaciation in (A) left evidence in five continents (B). The arrows show direction of ice movement and only make sense if the continents are moved back to their position 200 Ma.
 (After Skinner and Porter, 1989. *The Dynamic Earth*. John Wiley & Sons: New York)

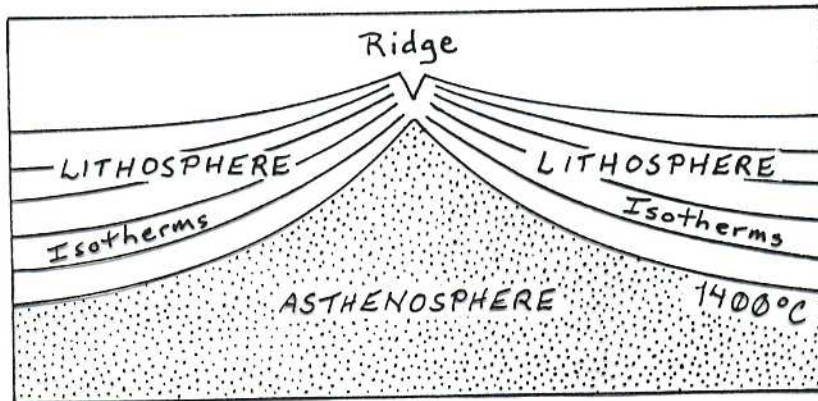
CARATTERISTICHE DELLE DORSALI OCEANICHE

- * Catene montuose di altezza di qualche km sopra le piane abissali (prof. 4-6 km)
- * Presenta in cima alla catena di una valle mediana (rift) larga solo ~ 10 km, ricoperta di lava senza sedimenti
- * Inasprimento dei sedimenti lungo i fianchi della catena
- * Verificarsi di terremoti di piccola o media entità lungo la cima delle dorsali
- * Flusso di calore enormemente alto in cima alle dorsali
- * Campo gravitazionale minore di quanto ci si aspetti sulla massa della catena.

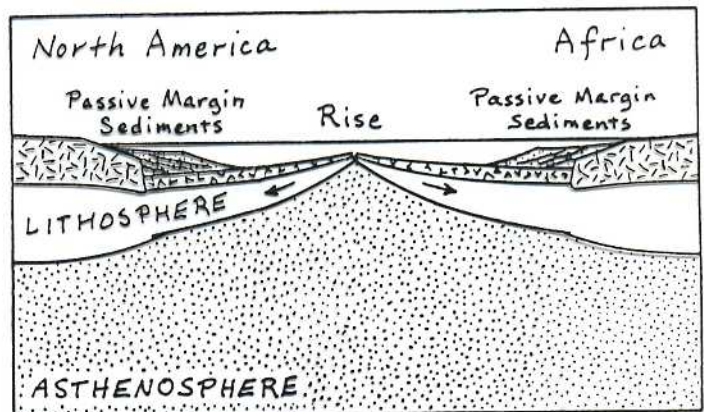
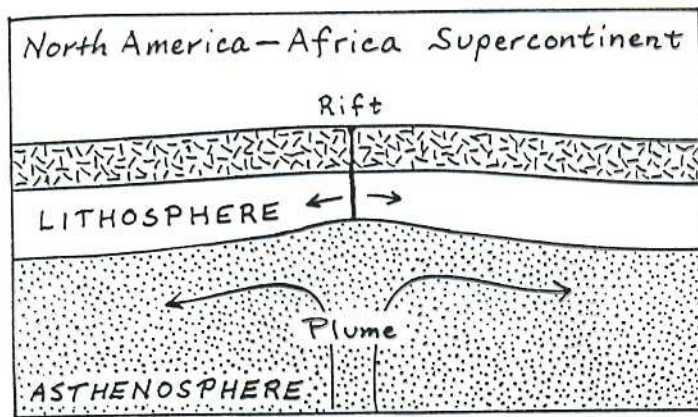


Left: The center part of the figure—representing the deep ocean floor with the sea magically removed—shows the magnetic striping (see text) mapped by oceanographic surveys offshore of the Pacific Northwest. Thin black lines show transform faults (discussed later) that offset the striping. Above: A theoretical model of the formation of magnetic striping. New oceanic crust forming continuously at the crest of the mid-ocean ridge cools and becomes increasingly older as it moves away from the ridge crest with seafloor spreading (see text): **a**, the spreading ridge about 5 million years ago; **b**, about 2 to 3 million years ago; and **c**, present-day.

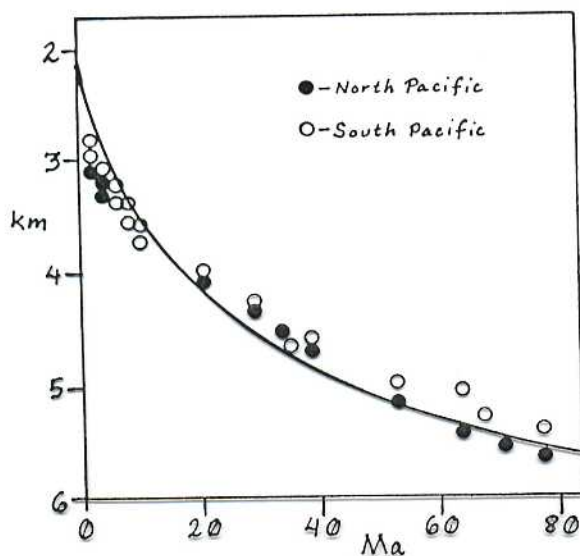
DORSALI OCEANICHE



Inspessimento e subsidenza



Formazione dell'oceano Atlantico

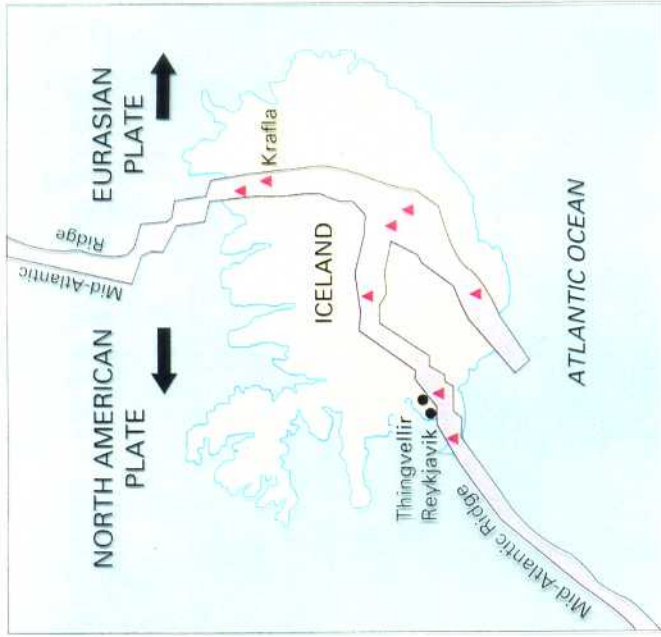


$$Z = C\sqrt{T}$$

1 m
300
Ma

Profondità media di fondali oceanici in funzione della loro età

The Mid-Atlantic Ridge, which splits nearly the entire Atlantic Ocean north to south, is probably the best-known and most-studied example of a divergent-plate boundary. (Illustration adapted from the map This Dynamic Planet.)

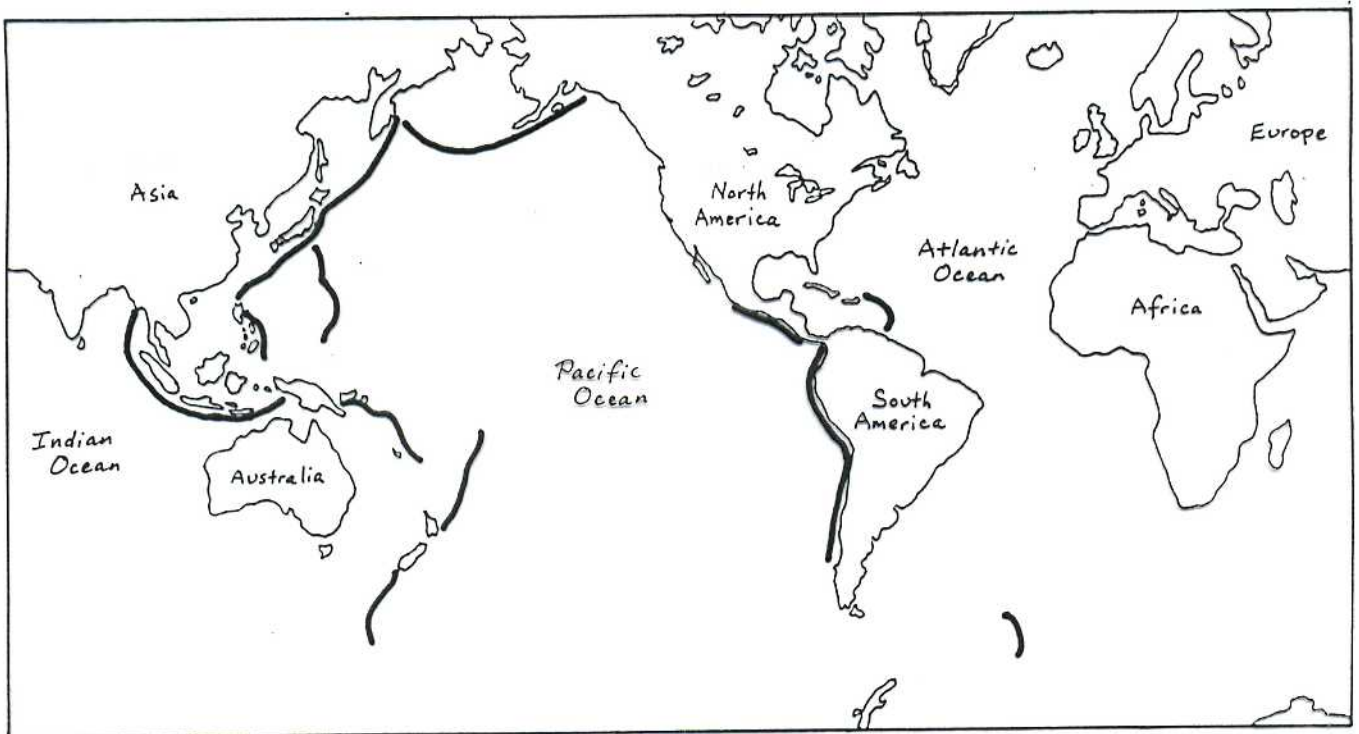


Map showing the Mid-Atlantic Ridge splitting Iceland and separating the North American and Eurasian Plates. The map also shows Reykjavik, the capital of Iceland, the Thingvellir area, and the locations of some of Iceland's active volcanoes (▲), including Krafla.

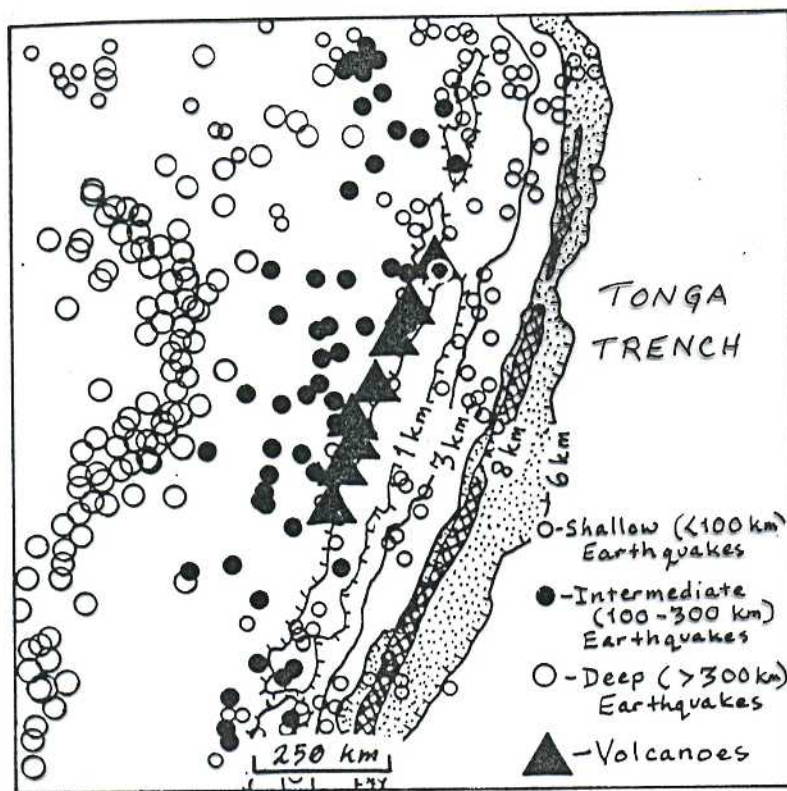
CARATTERISTICHE DELLE FOSSE OCEANICHE

- * Depressioni strette e lunghissime dei fondali. Sono i punti più profondi della superficie terrestre
- * ha maggior parte dei terremoti profondi (che si verificano a profondità > 100 km) sono localizzati in fasce parallele alle fosse.
- * Una fascia di vulcani attivi si trova quasi sempre dalla stessa parte della fossa come la fascia dei terremoti profondi. Tale vulcanesimo ha una mineralogia e composizione chimica diversa dagli altri vulcani, detta andesitica.
- * Il campo gravitazionale osservato risulta minore di quanto ci si aspetti in base alle masse di acqua e rocce attorno alla fossa.

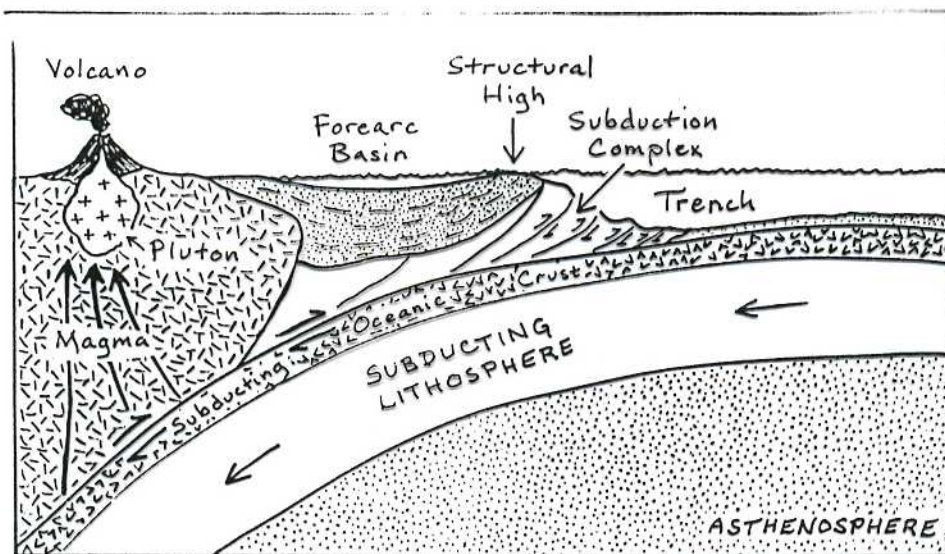
FOSSE OCEANICHE.



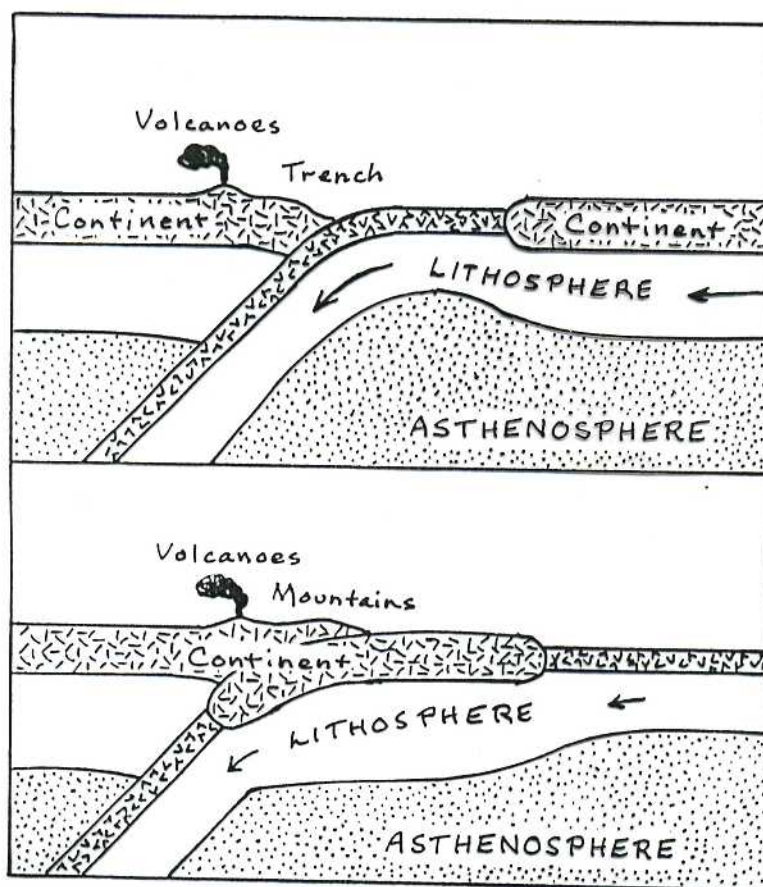
Distribuzione



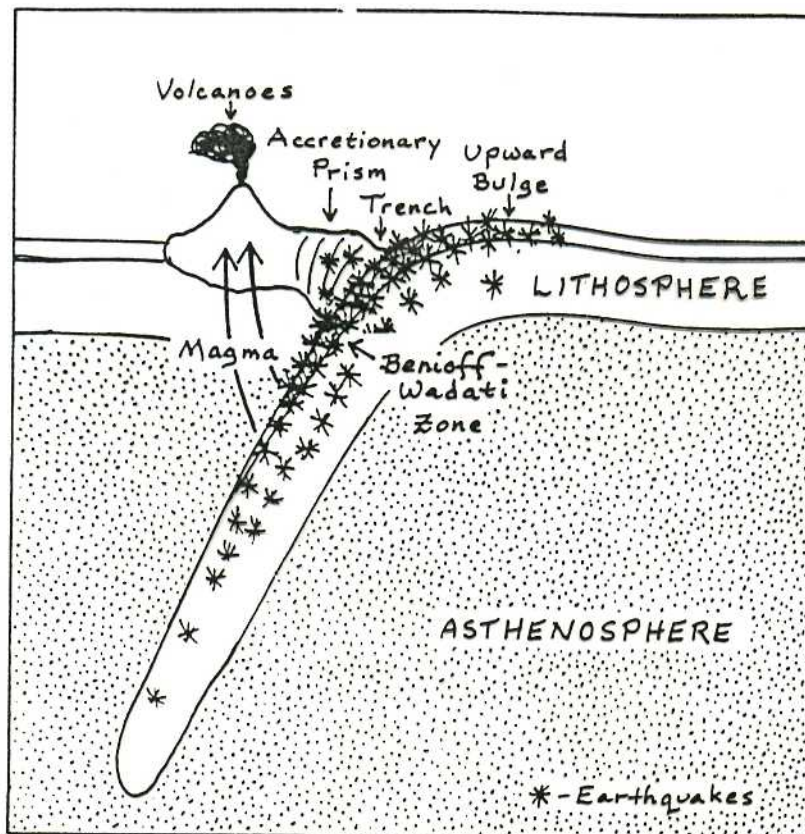
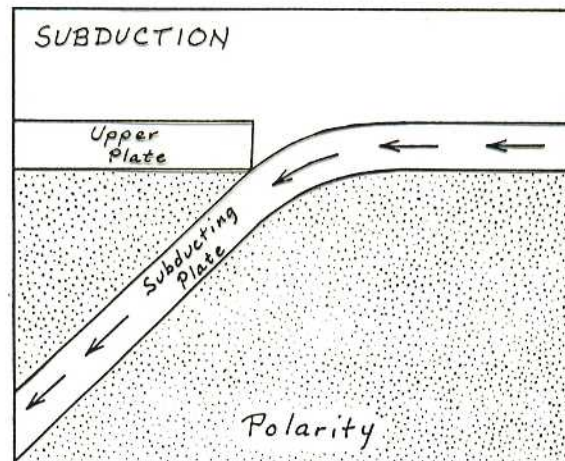
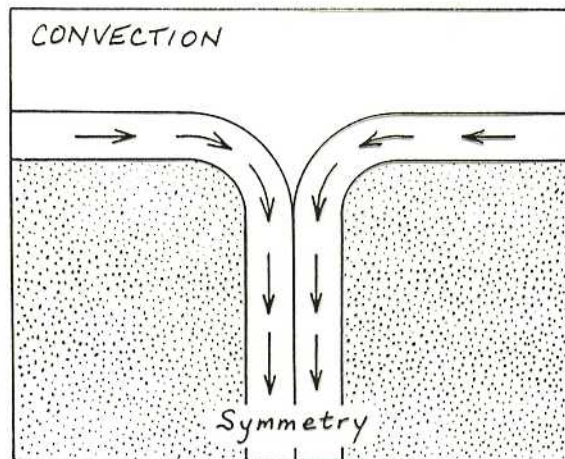
Fossa delle Tonga



Subduzione litosfera oceanica



Subduzione litosfera continentale



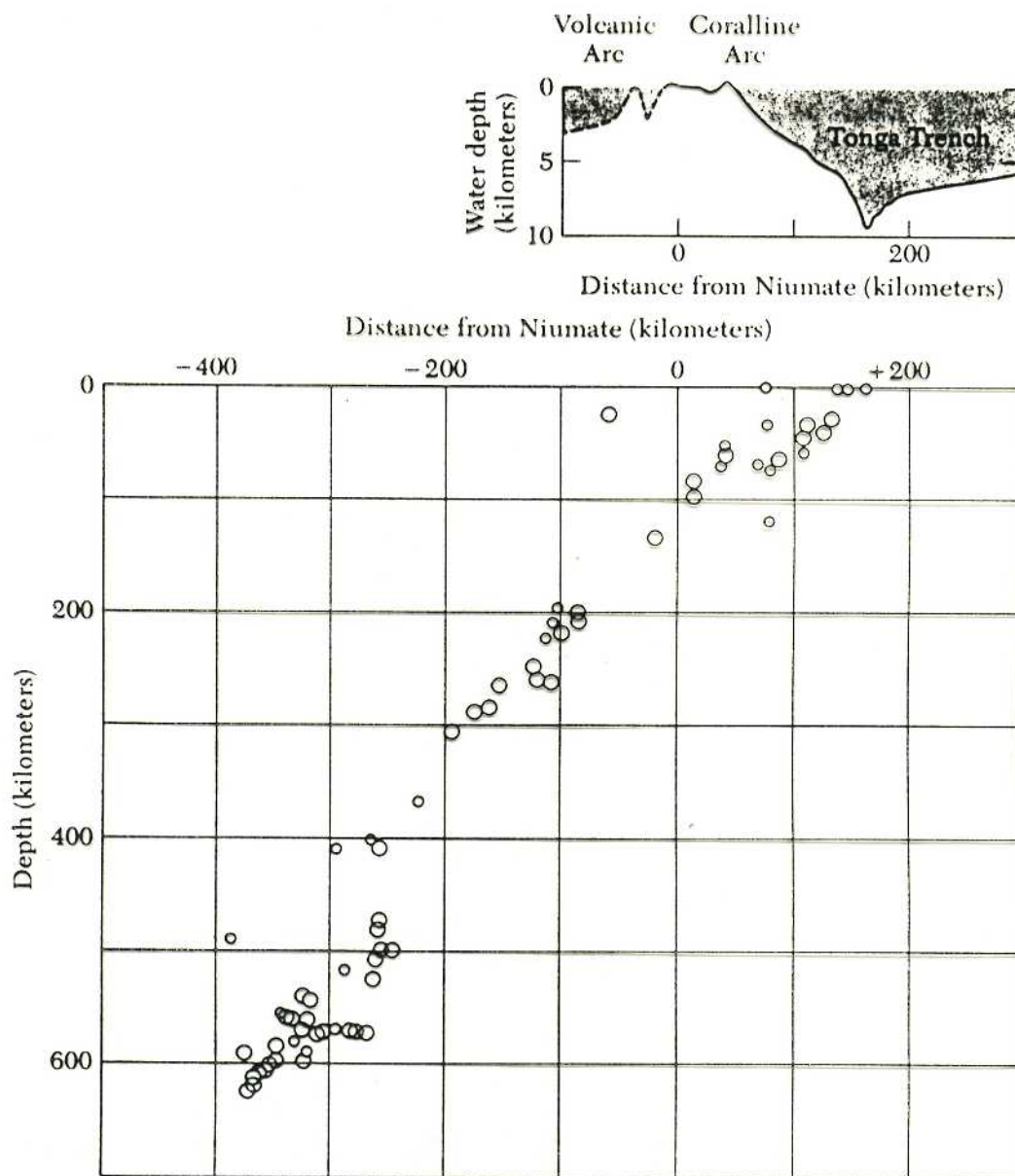


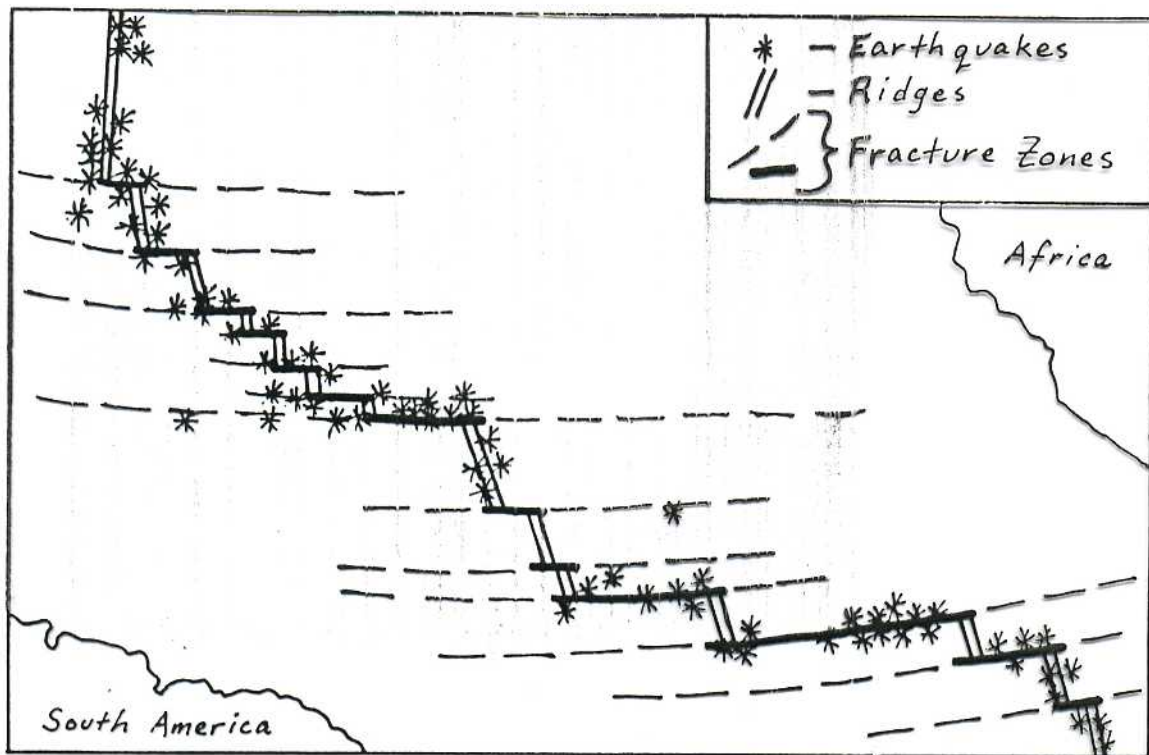
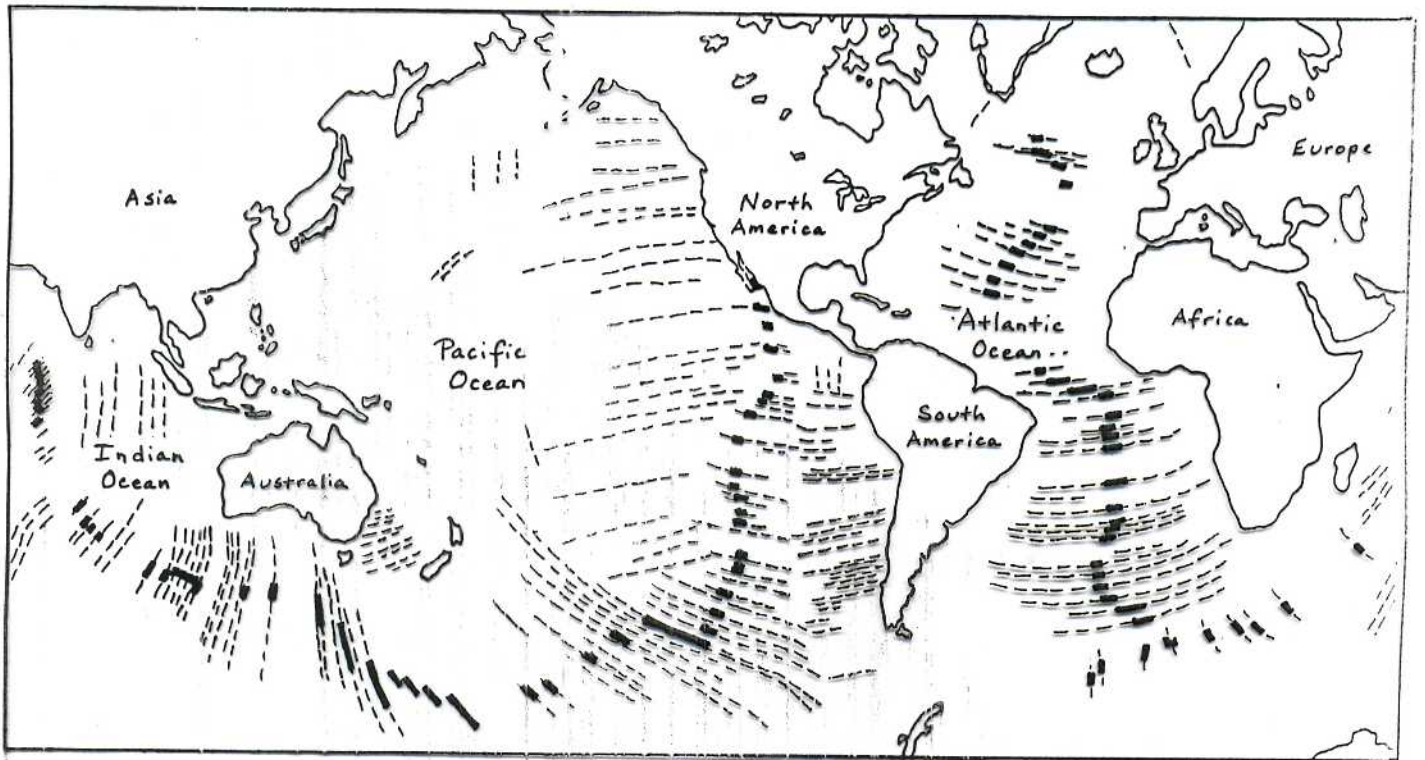
FIGURE 3

Foci of earthquakes in 1965 occurring under the Tonga arc in the southwest Pacific. The vertical section shows that most earthquake centers cluster along a narrow zone starting under the trench and dipping under it at an angle of about 45° to depths of more than 600 kilometers. [Courtesy of B. Isacks, J. Oliver, L. R. Sykes, and J. *Geophys. Res.*]

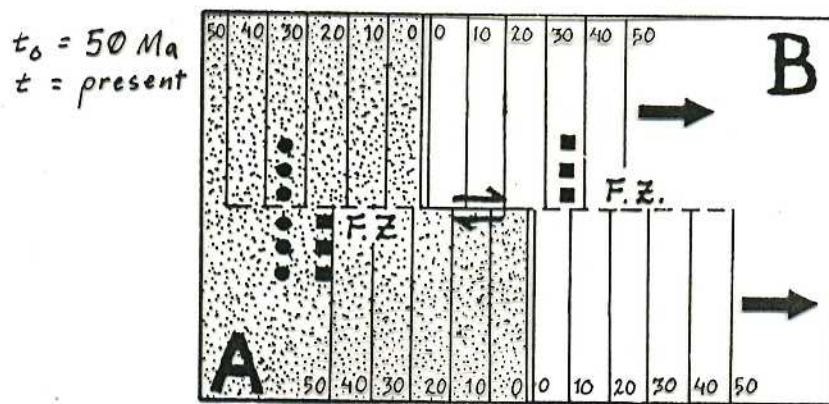
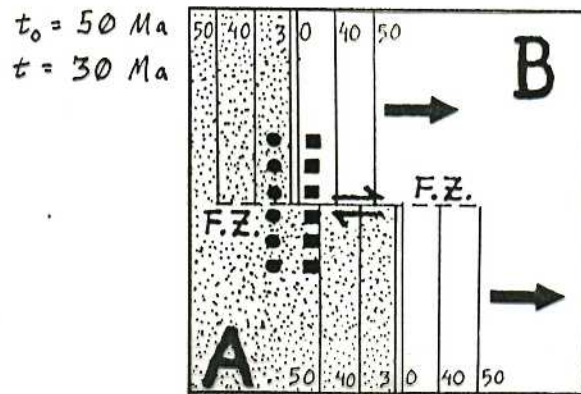
CARATTERISTICHE DELLE ZONE DI FRATTURA

- * Strette (60km) e lunghissime catene montuose che intersecano le dorsali e le piane abissali
- * la profondità del fondale oceanico cambia se si attraversa una zona di frattura
- * Dislocano (anche per distanze molto grandi) le dorsali oceaniche e le isocline magnetiche.
- * Anche se hanno molte caratteristiche delle faglie trascorrenti, la sismicità su di esse è concentrata essenzialmente nella parte che si trova tra due segmenti di dorsale oceanica dislocati.
- * Le zone di frattura si estendono negli oceani, talvolta fino al margine continentale, che però non risulta dislocato.

ZONE DI FRATTURA



Formazione delle zone di frattura



SURVEY MARKERS EMPLACED 30 Ma

F.Z.

FRACTURE ZONE (inactive fault)



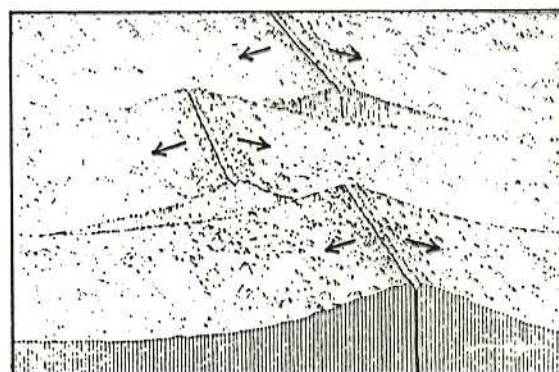
TRANSFORM (active fault)

40 | 30

ISOCHRONS (showing age in Ma)



motion of plate B relative to plate A.



REOLOGIA LITOSFERA-ASTENOSFERA

La litosfera è formata dallo strato superiore rigido del mantello e dalla sovrastante crosta rigida con uno spessore medio di circa 80 km. Sotto di essa si trova la astenosfera, duttile e facilmente deformabile, spessa circa 200 km.

La causa principale delle diverse proprietà reologiche (di deformazione) dei due strati - in cui si basa essenzialmente la teoria della tettonica a zolle - è la temperatura. Essa aumenta con la profondità e a 80 km raggiunge circa 1400°C , vicino alla temperatura di fusione delle rocce del mantello, dove le pressioni in gioco.

Le rocce composte da un singolo minerale fondono perdendo la loro rigidità nel giro di pochi gradi. Quelle composte da vari minerali diventano più tenere in un arco di temperature maggiore.

Il mantello - composto da un insieme di minerali con varie temperature di fusione - non è completamente fuso a nessuna profondità. Alla profondità del margine litosfera-astenosfera la temperatura è vicina a quella di fusione dei minerali che fondono a temperature più basse. I loro cristalli o fondono (fusione parziale) o diventano duttili, rendendo la astenosfera facilmente deformabile.

Il confine tra litosfera ed astenosfera è pertanto definito dall'isoterma di 1400°C . In una Terra statica il confine sarebbe orizzontale, nella nostra Terra dinamica essa riflette i processi tettonici in atto.

ESPANSIONE FONDALE OCEANICI

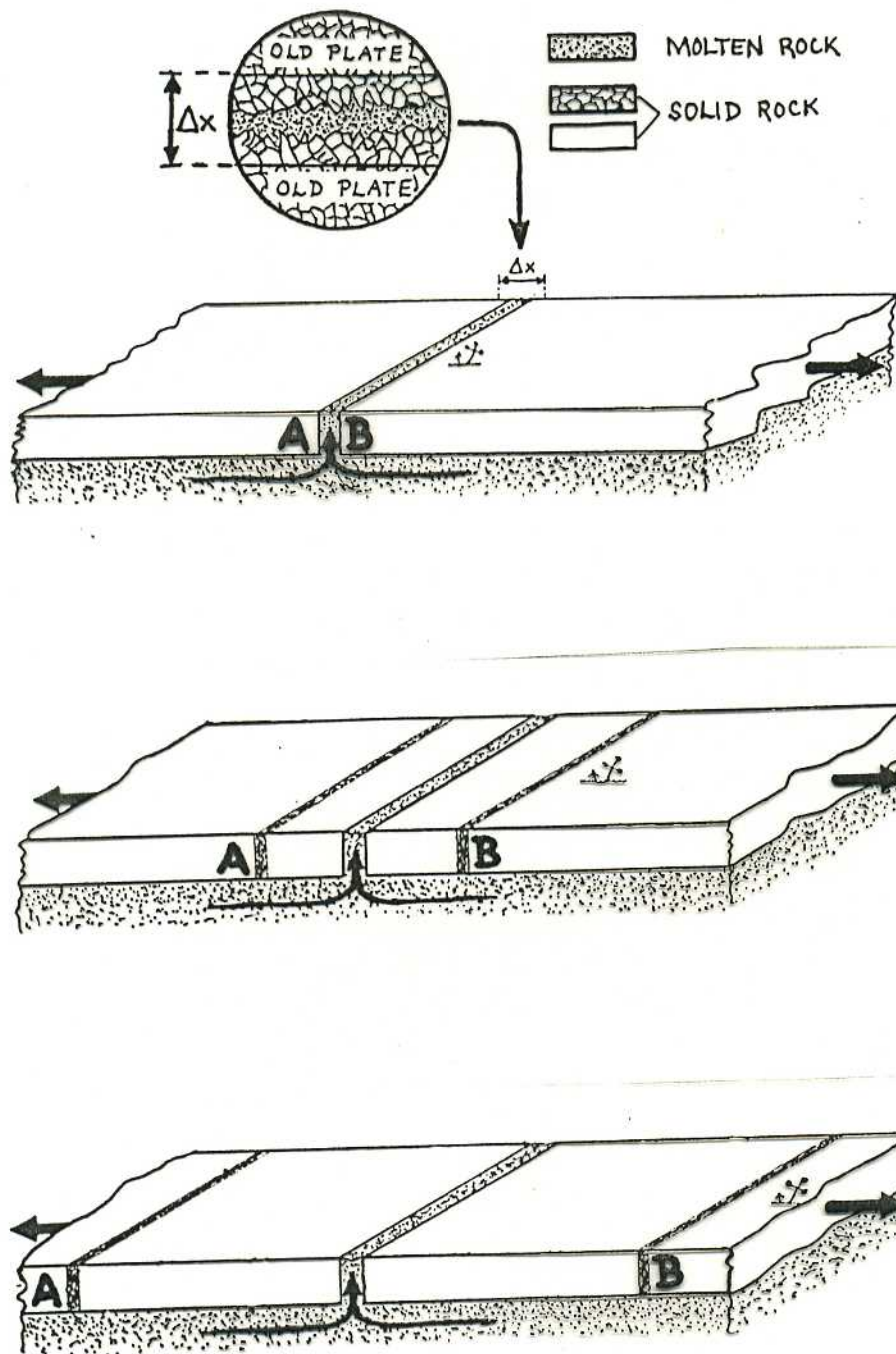
Definiamo con il termine **isocrona** la superficie o linea che congiunge le materiali formatesi ad un (stesso) determinato istante di tempo nel passato. (Es. gli anelli degli alberi...).

Nella tettonica a zolle esistono parti di fondale oceanico che hanno lo stesso verso di magnetizzazione, il quale si differenzia dal verso opposto di parti di fondale adiacente. Tali parti - forma di strisce - sono delle isocronie ed il cronometro che le determina è il campo magnetico terrestre. Esso è un cronometro binario, che ammette solo due stati stabili: il normale e l'invertito.

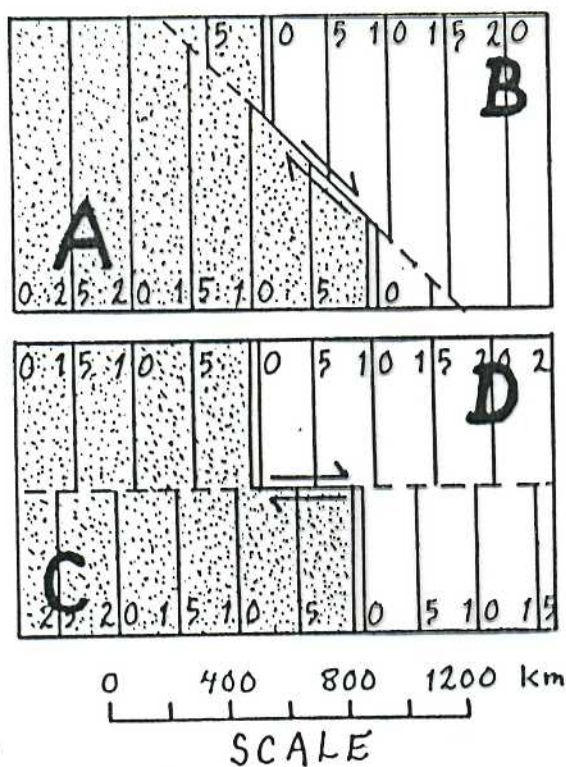
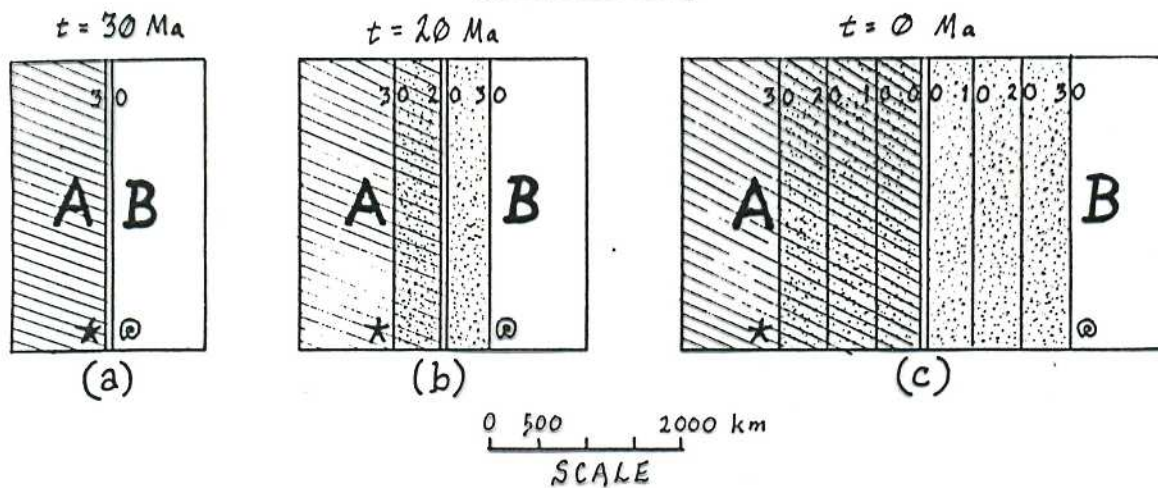
Le isocronie vicine ad una dorsale sono **simmetriche** rispetto alla dorsale e **parallele** ad essa. La ragione di ciò è illustrata nella figura schematica successiva che - pur non essendo completamente realistica - è qualitativamente corretta nelle assunzioni e nei risultati.

FORMAZIONE DI UNA DORSALE

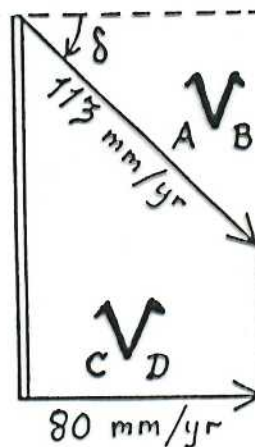
Box 1-5. Symmetrical Ridge Formation.



$t_0 = 30 \text{ Ma}$



RELATIVE
VELOCITIES



VELOCITÀ DI ESPANSIONE DEI FONDALI

Dalle osservazioni delle isocronie si possono dedurre le velocità di espansione dei fondali oceanici.

Notiamo che nella figura successiva (in alto) le isocronie di 10 Ma sono separate di 1000 km. Poiché 10 Ma fa' erano congiunte in corrispondenza della dorsale, nel tempo $\Delta t = 10 \text{ Ma}$ hanno "percorso" una distanza $\Delta x = 1000 \text{ km}$. Pertanto

$$v_B = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{1000 \text{ km}}{10 \text{ Ma}} = \frac{10^6 \text{ m}}{10 \cdot 10^6 \text{ a}} = 100 \text{ mm/a}$$

La velocità è corretta solo se le zolle si muovono perpendicolarmente alla dorsale. Nel caso contrario bisogna tenere conto dell'angolo δ (vedi figura successiva in basso) tra la perpendicolare alle isocronie e la direzione del moto relativo tra le zolle:

$$v_D = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{400 \text{ km}}{5 \text{ Ma}} = 80 \text{ mm/a}$$

$$v_B = \frac{v}{\cos \delta} = 113 \text{ mm/a}$$

Le isocronie permettono inoltre di determinare la posizione delle zolle ai vari istanti di tempo nel passato. Per non generare confusione, si deve assumere:

- ① Nel fare ricostruzioni per il passato le isocronie sono "etichettate" con l'età odierna.
- ② Etichettiamo con t_0 il tempo di formazione della dorsale, con t il tempo in cui è "scattata" l'immagine della dorsale.

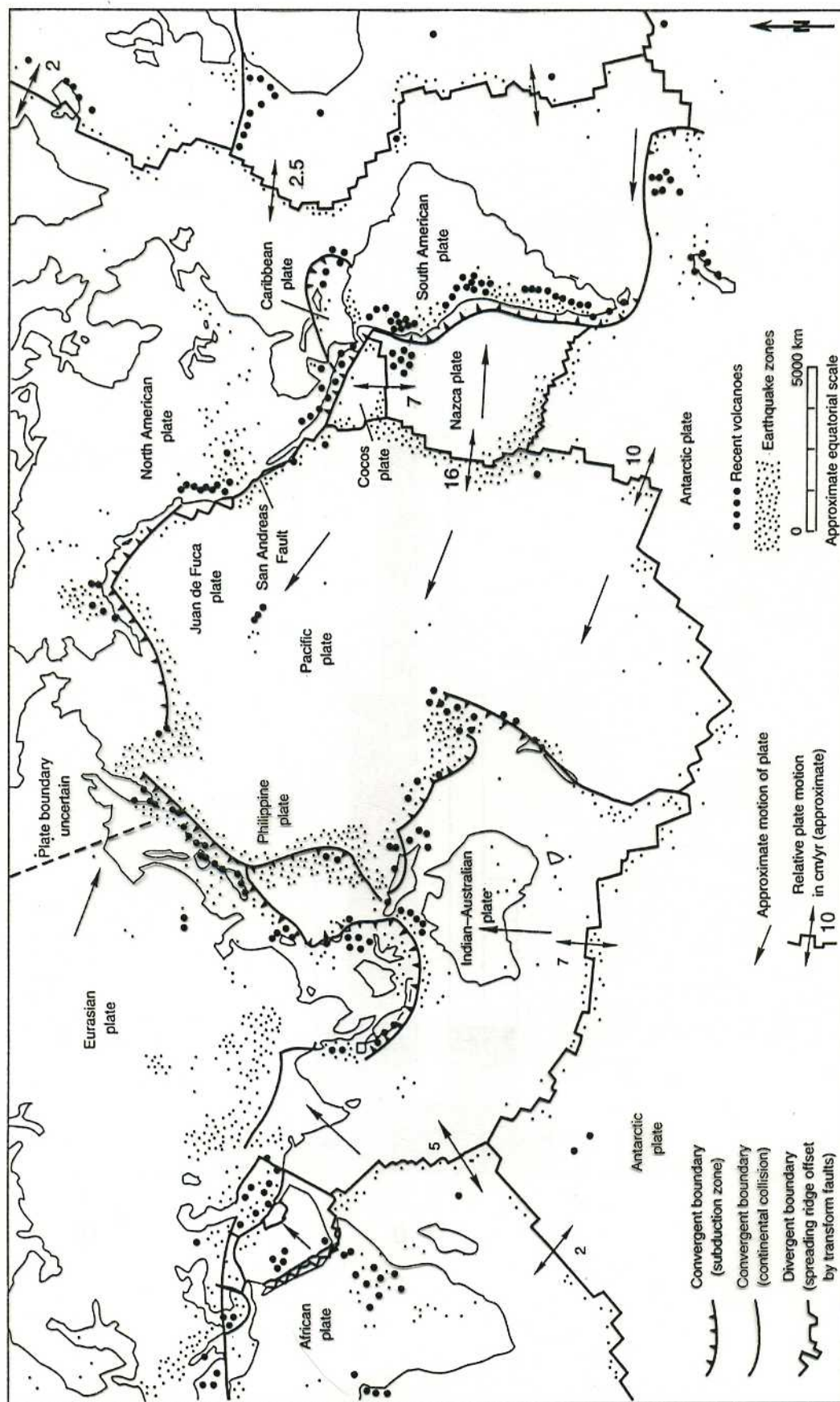


FIGURE 1.2

Lithospheric plates forming the Earth's outer layer. Three types of plate junctions are shown: spreading ridges, forming divergent boundaries; subduction zones, forming convergent plate boundaries; and, more rarely, transform plate boundaries, such as the San Andreas fault in California, where one plate is sliding by another.

(After Bolt, 1988 [9]. Rates after Minster and Jordan, 1988. *Journal of Geophysical Research*, 83: 5331-5354)

TETTONICA A ZOLLE

Il guscio più esterno della Terra, freddo e meccanicamente forte, comprendente la crosta ed una parte del mantello superiore viene detto **litosfera** (~100 km di spessore).

Esso galleggia sull' **astenosfera**, regione meccanicamente debole, che per le alte temperature e pressioni ha un comportamento plastico (scorre su tempi geologici).

Il concetto alla base della **tettonica a zolle** è che la litosfera è composta da un piccolo numero di **zolle** quasi rigide che si muovono sull' astenosfera.

La maggior parte della deformazione derivante dal moto avviene ai **margini**. La mappa della sismicità delinea chiaramente tali margini.

La teoria della tettonica a zolle descrive le interazioni delle zolle e le conseguenze di tali interazioni.

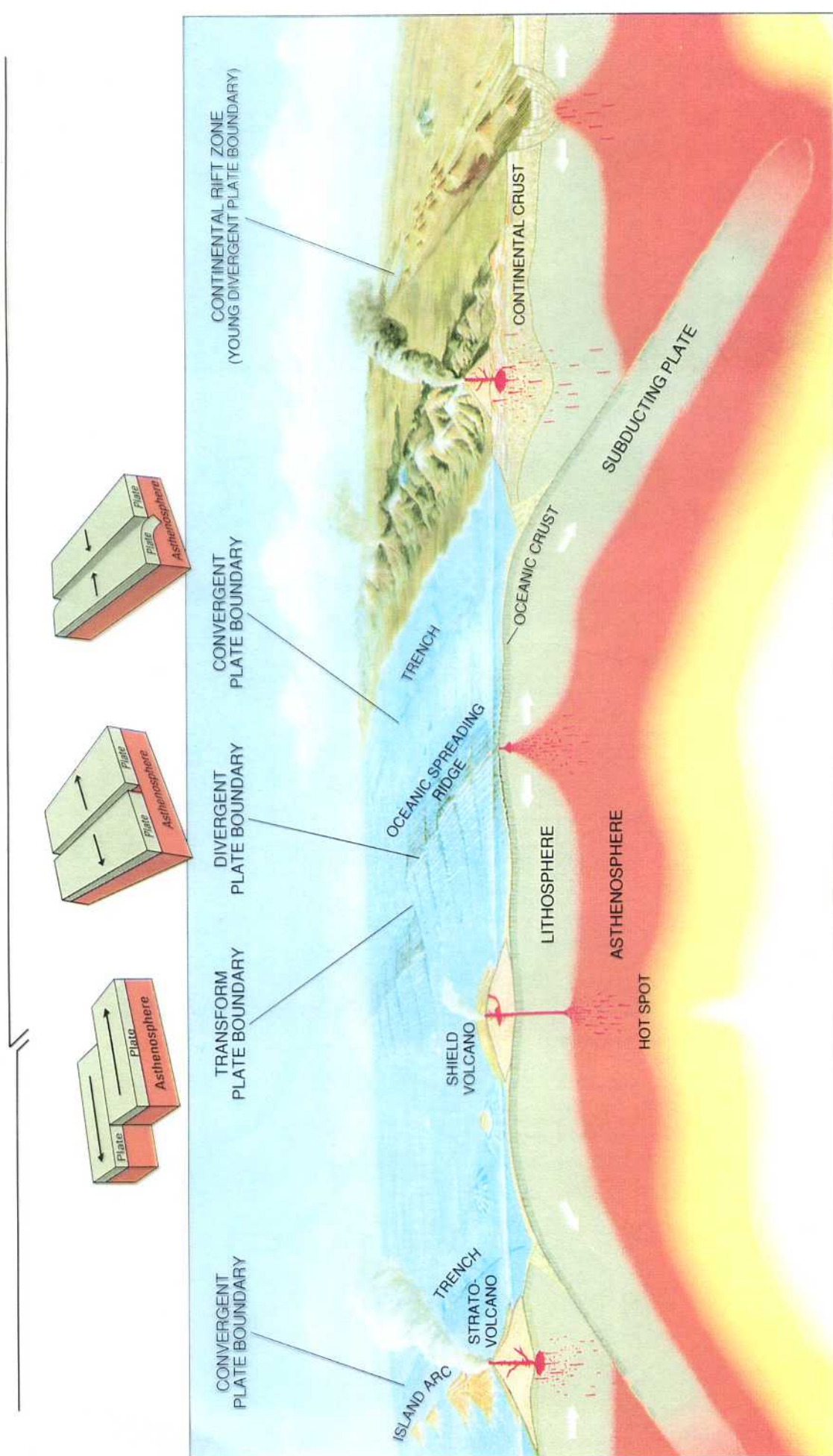
Essa si basa sulle seguenti **ipotesi di base**:

- ① litosfera nuova viene generata mediante il processo di espansione dei fondali oceanici - lungo le dorsali oceaniche
- ② la nuova litosfera oceanica fa parte di una zolla rigida (che può includere anche continenti)
- ③ la area della superficie terrestre rimane costante; ciò implica la distruzione di zolle da qualche parte.
- ④ le zolle litosferiche sono capaci di trasmettere gli sforzi a grandi distanze; il loro moto relativo si manifesta lungo i margini delle zolle.

I margini delle zolle sono di tre tipi:

- ① Margini **divergenti** (di accrezione, costruttivi)
lungo i quali le zolle si allontanano una dall'altra. lungo essi viene creata litosfera nuova. Lo rappresenta una **dorsale oceanica**.
- ② Margini **convergenti** (di consumo, distruttivi)
lungo i quali le zolle si avvicinano una all'altra. lungo essi la litosfera di una zolla scende nel mantello e viene distrutta. Li rappresentano le **fosse oceaniche** con le zone di **subduzione**.
- ③ Margini **conservativi** in cui la litosfera non è né creata né distrutta e lungo i quali le zolle si muovono lateralmente una rispetto all'altra. Essi sono rappresentati dalle **faglie trasformi** (destroorse o sinistroorse).

Sebbene le zolle siano formate da materiale continentale ed oceanico in genere, di solito è solamente la parte oceanica ad essere creata e distrutta. La cosa è ovvia per la creazione lungo le dorsali, non così per la subduzione. La spiegazione è data dalla bassa densità ($2.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) del materiale continentale rispetto a quello di mantello ($3.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$). In una collisione continentale il materiale leggero rimane in superficie (generando montagne), mentre la litosfera oceanica più densa va in subduzione.



Artist's cross section illustrating the main types of plate boundaries (see text); East African Rift Zone is a good example of a continental rift zone. (Cross section by José F. Vigil from This Dynamic Planet—a wall map produced jointly by the U.S. Geological Survey, the Smithsonian Institution, and the U.S. Naval Research Laboratory.)

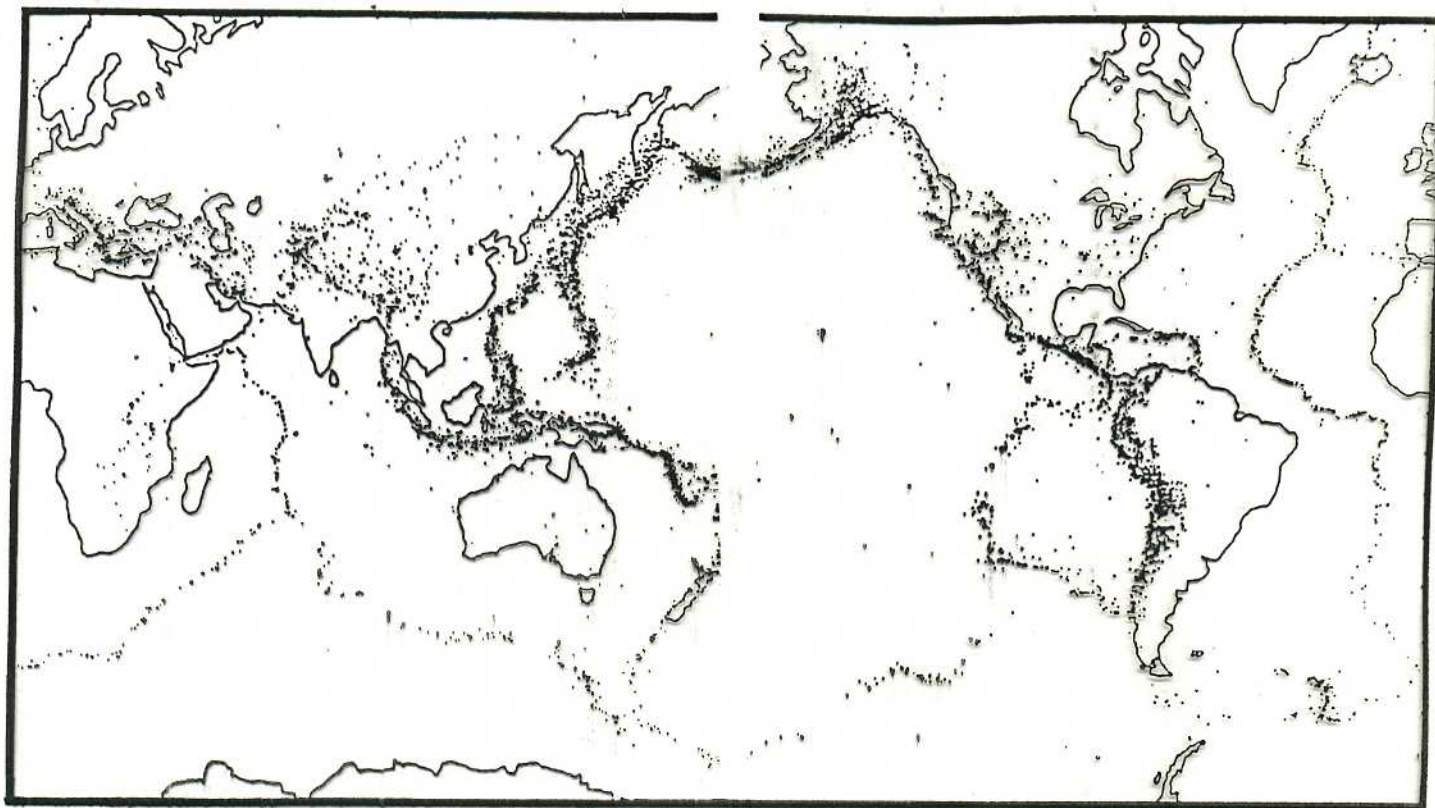


Figure 2

MAP OF THE WORLD ON AN EQUAL AREA PROJECTION

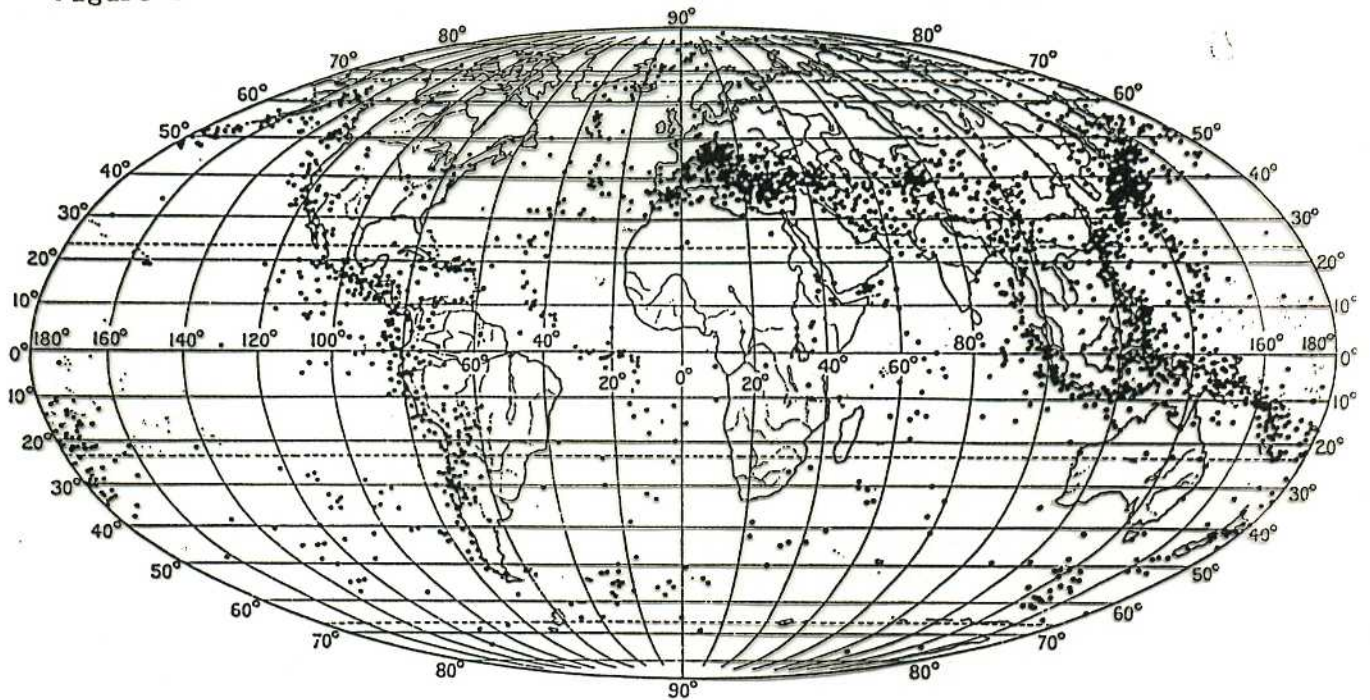
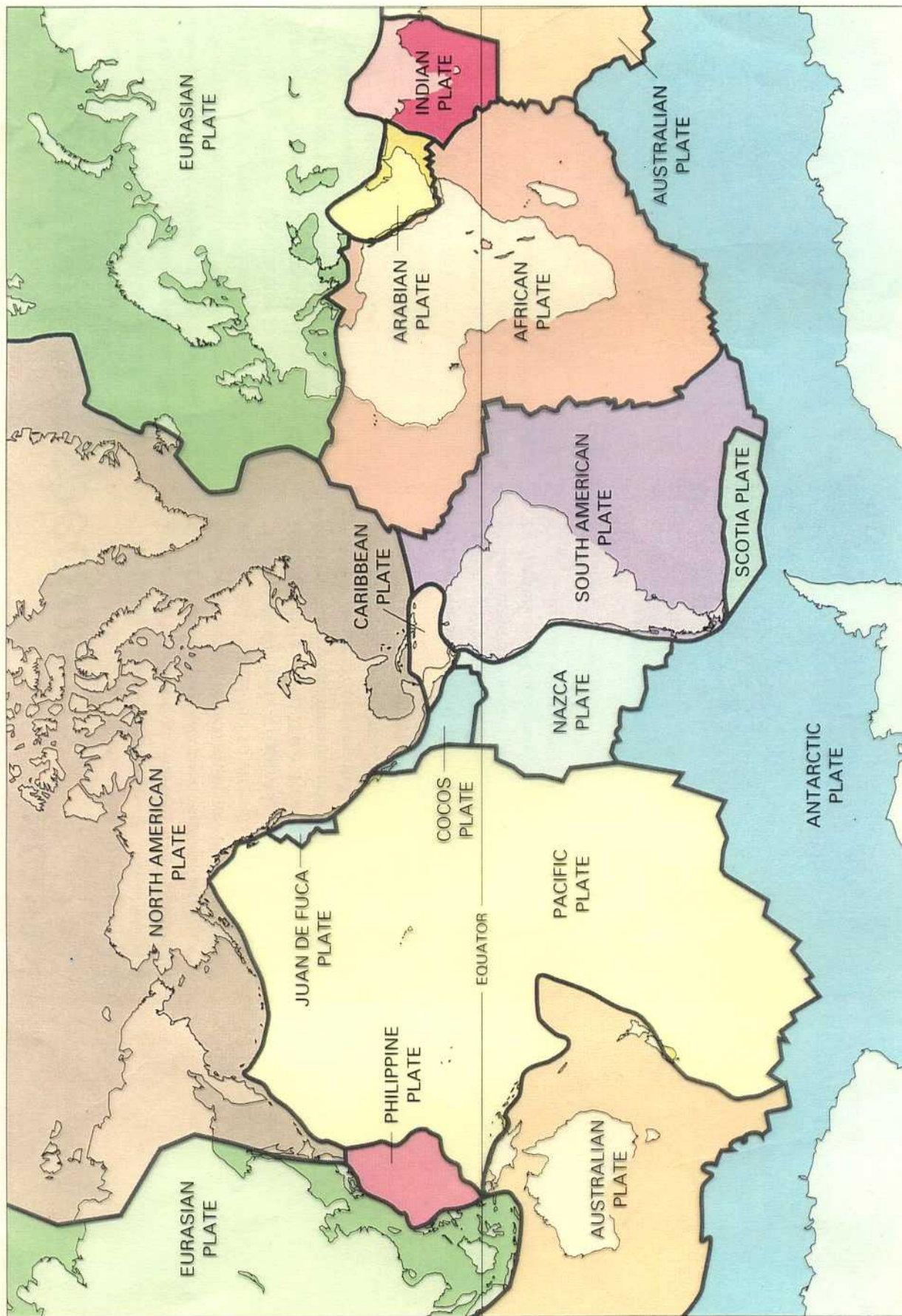


FIG. 35.—Geographical distribution of earthquakes recorded from 1913 to 1930 (Miss E. F. Bellamy)



The layer of the Earth we live on is broken into a dozen or so rigid slabs (called tectonic plates by geologists) that are moving relative to one another.